



UNAP

**Facultad de
Ciencias Forestales**

ESCUELA DE INGENIERÍA EN ECOLOGÍA DE BOSQUES TROPICALES

TESIS

**MODELOS ALOMETRICOS PARA ESTIMAR ALTURA Y VOLUMEN DEL BOSQUE
DE TERRAZA MEDIA Y ESPECIES MAS IMPORTANTES DE LA CARRETERA
IQUITOS NAUTA, PERÚ**

Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal

Autor

LUIS ENRIQUE MORI PANDURO

Iquitos - Perú

2014

DEDICATORIA

A Dios:

Porque gracias a la inmensa fortaleza que tengo pude darme fuerzas para seguir adelante con mis estudios y la presente investigación, y así poder culminarlos para satisfacción de mis seres queridos.

AGRADECIMIENTO

Finalizado este trabajo, como muestra de mi más sincero agradecimiento a las instituciones y a las siguientes personas:

A la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana por medio de la Facultad de Ciencias Forestales y personal docente que laboran en él, ya que gracias a sus enseñanzas académicas recibidas en mi formación profesional me condujeron en la senda de la investigación.

A mi familia por el apoyo moral y económico siempre dado.

A mis promociones con quienes formamos un gran equipo para la instalación de las parcelas y para la colecta de datos, y demás personas que siempre me apoyaron de una u otra forma para la realización y culminación del presente trabajo.

INDICE

N°	Descripción	Pág.
<hr/>		
	Dedicatoria.....	
	Agradecimiento.....	
	Lista de cuadros.....	iii
	Lista de figuras.....	iv
	Resumen.....	v
	I. INTRODUCCIÓN	1
	II. EI PROBLEMA	3
	2.1. Descripción del problema.....	3
	2.2. Definición del problema.....	4
	III. HIPÓTESIS	5
	3.1. Hipótesis general	5
	3.2. Hipótesis alterna	5
	3.3. Hipótesis nula.....	5
	IV. OBJETIVOS	6
	4.1 Objetivo general	6
	4.2 Objetivos específicos	6
	V. VARIABLES	7
	5.1. Identificación de variables, indicadores e índices.....	7
	5.2. Operacionalidad de las variables	7
	VI. MARCO TEÓRICO	8
	VII. MARCO CONCEPTUAL.....	24
	VIII. MATERIALES Y MÉTODO.....	27
	8.1. Lugar de ejecución	27
	8.2. Método	28
	8.2.1. Tipo y nivel de investigación.....	28
	8.2.2. Diseño estadístico	28
	8.2.3. Análisis estadístico	28
	8.2.4. Procedimiento.....	28
	a) Abundancia	28

b) Frecuencia.....	29
c) Dominancia.....	29
d) Cálculo del área basal.....	30
e) Número de árboles.....	30
f) Volumen.....	30
g) Modelo de la estructura diamétrica por tipo de bosque.....	31
h) Modelo de la estructura diamétrica por especie.....	31
i) Distribuciones diamétricas.....	32
8.3. Técnicas de instrumentos de recolección de datos.....	32
8.4. Técnica de presentación de resultados.....	32
IX. RESULTADOS.....	33
9.1. Parámetros estadísticos de la altura de los árboles para el bosque de terraza media y al nivel micro estratificado.....	33
9.2. Diagrama de dispersión de la altura de los árboles para el bosque de terraza media y al nivel micro estratificado del bosque de la carretera Iquitos Nauta.....	34
9.3. Modelos alométricos de la altura de los árboles para el bosque de terrazza media y al nivel micro estratificado de la carretera Iquitos Nauta.....	37
9.4. Modelos alométricos para estimar el volumen de los árboles para el bosque de terraza media y al nivel micro estratificado.....	42
9.5. Modelos alométricos para estimar el volumen de las especies más importantes determinados por el IVI.....	44
X. DISCUSIÓN.....	47
XI. CONCLUSIONES.....	51
XII. RECOMENDACIONES.....	53
XIII. BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXO.....	64

LISTA DE CUADROS

N°	Descripción	Pág.
1.	Variables, indicadores e índices para el estudio	7
2.	Parámetros de las relaciones alométricas por tres tipos de bosques.....	19
3.	Valores de la altura promedio de árboles, desviación estándar, número de árboles evaluados y coeficientes de variación. 33	33
4.	Prueba de t para la igualdad de medias de la altura entre tipos de bosques	33
5.	Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque primario	38
6.	Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque secundario.....	38
7.	Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque de terraza media (global)	39
8.	Resumen del modelo alométrico ajustada a una ecuación del logarítmico $\text{altura}=\text{Constante}+\ln(\text{DAP})$	40
9.	Alturas observadas y estimadas con el modelo alométrico $\text{altura total}=\text{Constante}+\ln(\text{DAP})$	41
10.	Estadígrafos de la altura observada y estimada con el modelo alométrico $\text{altura total}=\text{Constante}+\ln(\text{DAP})$	42
11.	Modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque de terraza media (global)	43
12.	Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque de terraza media (global)	44
13.	Resumen del Índice de Valor de importancia (IVI) para las cinco especies más importantes por tipo de bosque	44
14.	Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque de terraza media (global)	45

LISTA DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
1.	Mapa de ubicación del área de estudio	27
2.	Diagrama de barras para la altura promedio de árboles entre tipos de bosques por clase diamétrica	34
3.	Diagrama de dispersión de las alturas en función del DAP para un bosque primario y secundario	34
4.	Diagrama de dispersión de las alturas en función del DAP para un bosque de terraza media	35
5.	Diagrama de dispersión y modelos alométricos de las alturas en función del DAP para un bosque primario	35
6.	Diagrama de dispersión y modelos alométricos de las alturas en función del DAP para un bosque secundario.....	36
7.	Diagrama de dispersión y modelos alométricos de las alturas en función del DAP para un bosque de terraza media	36
8.	Diagrama de dispersión y ecuación logarítmica del modelo alométrico de las alturas en función del DAP para un bosque primario	38
9.	Diagrama de dispersión y ecuación logarítmica del modelo alométrico de las alturas en función del DAP para un bosque secundario.....	39
10.	Diagrama de dispersión y ecuación logarítmica del modelo alométrico de las alturas en función del DAP para un bosque de terraza media	40
11.	Diagrama de dispersión y modelo alométrico para el volumen de madera en función del DAP para un bosque de terraza media.....	43
12.	Diagrama de dispersión y modelo alométrico para el volumen de madera en función del DAP para cuatro especies más importantes del bosque primario	46
13.	Diagrama de dispersión y modelo alométrico para el volumen de madera en función del DAP para cuatro especies más importantes del bosque secundario.....	46

RESUMEN

Se realizó un inventario en el bosque secundario del Km 28 de la carretera Iquitos-Nauta, con el objetivo de estimar la altura y volumen del bosque de terraza media y especies más importantes a través de modelos alométricos. Se probaron diferentes modelos matemáticos del tipo curvilíneo y no lineal.

La altura promedio de los árboles para el bosque primario fue $14,9 \pm 5,2$ m, para el secundario $12,9 \pm 4,6$ m y para el bosque de terraza media fue $14,4 \pm 5$. El modelo de regresión que describe la relación entre las variables pronosticadas altura y DAP se ajustó a un modelo de regresión Logarítmica. El modelo alométrico para la estimación de la altura de los árboles del bosque primario oscila en $14,9 \pm 1$ m, para el bosque secundario $12,9 \pm 1$ m y para el bosque de terraza media es $HT = -10,427 + 8,555 \cdot \ln(DAP)$. El modelo de regresión cuadrática que describe la relación entre el volumen y DAP para el bosque de terraza media es $\text{volumen} = 0,0276 - 0,0151 \cdot DAP + 0,0015 \cdot DAP^2$ que explica un 96,8% de la variabilidad en volumen. La ecuación del modelo ajustado para las cuatro especies más importantes del bosque primario según el IVI es $\text{volumen} = -0,2067 + 0,0036 \cdot DAP + 0,0013 \cdot DAP^2$, que explica un 96,49% de la variabilidad en volumen. Para el bosque secundario el $\text{volumen} = 0,0965 - 0,0192 \cdot DAP + 0,0015 \cdot DAP^2$, que explica un 95,56% de la variabilidad en volumen. Mientras que para el bosque de terraza media el $\text{volumen} = 0,0276 - 0,0151 \cdot DAP + 0,0015 \cdot DAP^2$ que explica un 96,8% de la variabilidad en volumen.

Palabras claves: Modelos alométricos, altura, volumen, bosque, especies.

I. INTRODUCCIÓN

Según la FAO (2011), en el documento sobre la situación de los bosques del mundo, indica que los bosques son la fuente de la vida, al proveer materia prima, servicios ambientales como la conservación de la biodiversidad, captura de carbono, conservación de cuencas, paisaje entre otros, y servicios ecosistémicos. Sin embargo la experiencia ha demostrado que la inclusión de nuevas variables a ser evaluados para satisfacer la demanda de información conlleva el aumento de costos, por ello es fundamental el análisis de las relaciones entre diferentes dimensiones de la planta en los estudios de crecimiento en diámetro y altura; en especial, el principio de crecimiento alométrico determina el crecimiento de una parte del organismo en relación con el organismo entero o alguna parte del mismo (Gayon, 2000).

La medición del diámetro se realiza fácilmente y con mucha precisión y exactitud por lo que se utiliza para estimar la altura, volumen, frecuencia de árboles, biomasa, carbono, entre otros. En diversos estudios sobre silvicultura, ecología del bosque y fisiología de árboles se han utilizado una variedad de instrumentos de medición que a menudo difieren en exactitud, precisión, costo o simplicidad operacional (López *et al.* 2006).

El modelo matemático está constituido por relaciones matemáticas (ecuaciones y desigualdades) establecidas en términos de variables, que representa la esencia del problema que se pretende solucionar. Un modelo siempre debe ser menos complejo que el problema real, es una aproximación abstracta de la realidad con consideraciones y simplificaciones que hacen más manejable el problema y permiten evaluar eficientemente las alternativas de solución (http://www.investigacion-operaciones.com/Metodologia_IO.htm). Por esta razón,

el estudio de los modelos alométricos para estimar la altura, volumen y número de árboles basados en el diámetro del tronco a la altura del pecho para cada tipo de bosques y especies es vital para los planes de manejo y la recuperación de áreas degradadas, de ahí su valor ambiental y ecológico de la investigación.

Por otro lado, su valor económico del proyecto radica en que los modelos alométricos ayudan a estimar el diámetro de los árboles forestales, valiéndose de la correlación existente entre las variables que directamente son medibles en los inventarios forestales como el diámetro a la altura del pecho y la altura comercial o total, con el que se disminuye grandemente los costos del inventario (Watzlawich, *et al.* 2001). Desde el punto de vista teórico se aportará información sobre el comportamiento de la población y quedará descrito el modelo presente que permita en el futuro constituir la base de las correcciones ante la degradación antrópica que va en aumento. Por otro lado, se contribuirá con ecuaciones alométricas para ser contrastadas con los de otros tipos de bosques.

Finalmente, las ecuaciones alométricas tienen un valor práctico, puesto que relacionan al DAP con otros atributos, tales como biomasa, volumen de carbono y área foliar, que son muy importantes y usados frecuentemente en investigaciones ecológicas. Los modelos alométricos tienen mucha aplicación en el campo forestal, porque presentan mucha flexibilidad en su uso; las variables más usadas son: el diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro a la altura del tocón (dat), altura comercial (hc), altura total (ht) y combinaciones de ellas Prado *et al.* (1987); Garcinuño (1995) y Ganoso *et al.* (2002) citado por Álvarez (2008).

II. EL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema.

Los estudios sobre la estructura de los bosques naturales son fundamentales en las investigaciones silviculturales, porque permiten deducciones importantes sobre el origen, características ecológicas, dinamismo y las tendencias del desarrollo de las comunidades forestales, y también porque pueden suministrar datos de interés sobre los aspectos de las condiciones de hábitat y su influencia formativa de los árboles del trópico.

Para tal fin se usan modelos alométricos, las mismas que están relacionados a través de dos procesos: la abstracción y la interpretación; para ello se debe encontrar cuales son los elementos más importantes del problema y cuáles son los accesorios. Para saber si un elemento es o no importante se debe ver su efecto relativo en la evolución del sistema. En cuanto a la interpretación, debemos de entenderla como la manera en que los parámetros y variables, y su comportamiento pueden estar relacionados con características del sistema real que queremos modelar (Segura *et al.* 2008).

La Amazonía y especialmente los bosques de la carretera Iquitos Nauta constituyen un ecosistema especial para el manejo y conservación, pero los inventarios forestales e inventarios florísticos son muy caros; por lo que la colección de datos demora, y la demora aumenta con el incremento del número de variables a registrar, y hoy con el empleo de imágenes de satélite se puede ahorrar mucho tiempo para estimar la biomasa, el diámetro, altura total y volumen de madera. Por tal razón, la estimación de estos parámetros presentan limitaciones debido a las distintas condiciones que rigen el crecimiento de los

árboles entre las cuales se incluyen la genética, las sub poblaciones locales, el clima y los suelos; factores que son determinantes en el desarrollo de las plantas de ahí la importancia de la generación y eficiencia de modelos alométricos (Alvarez, 2008).

En la actualidad es muy escaso la información sobre los modelos alométricos para estimar la altura de los árboles, la frecuencia de árboles por clase diamétrica, el volumen de madera en base a los diámetros sin intervención de la altura, por tal razón en el presente estudio se pretende llenar los vacíos a través de la información de los modelos alométricos, para facilitar la estimación del volumen de madera y contar con modelos idealizados del bosque ante el avance de la degradación de los mismos.

2.2. Definición del problema.

¿Cuáles serán los modelos alométricos para estimar la altura y volumen del bosque de terraza media y especies más importantes de la carretera Iquitos Nauta?

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general.

Existen modelos alométricos para estimar altura y volumen del bosque de terraza media y especies más importantes de la carretera Iquitos Nauta.

3.2. Hipótesis alterna.

Los modelos alométricos para estimar altura y volumen basados en el diámetro del tronco a la altura del pecho del bosque de terraza media y especies más importantes difieren en sus estimativas para el bosque primario y secundario de la carretera Iquitos Nauta.

3.3. Hipótesis nula.

Los modelos alométricos para estimar altura y volumen basados en el diámetro del tronco a la altura del pecho del bosque de terraza media y especies más importantes no difieren en sus estimativas para el bosque primario y secundario de la carretera Iquitos Nauta.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general.

Determinar los modelos alométricos para estimar altura y volumen del bosque de terraza media y especies más importantes de la carretera Iquitos Nauta

4.2. Objetivos específicos.

- a) Determinar los parámetros estadísticos de la altura de los árboles para el bosque de terraza media y al nivel micro estratificado como bosque primario y secundario de la carretera Iquitos Nauta, y contrastarlo estadísticamente.
- b) Generar los diagramas de dispersión de la altura de los árboles para el bosque de terraza media y al nivel micro estratificado como bosque primario y secundario de la carretera Iquitos Nauta.
- c) Determinar los modelos alométricos de la altura de los árboles para el bosque de terraza media y al nivel micro estratificado como bosque primario y secundario de la carretera Iquitos Nauta.
- d) Determinar el modelo alométrico del volumen para el bosque de terraza media de la carretera Iquitos Nauta.
- e) Determinar mediante métodos de correlación curvilínea y no lineal los modelos alométricos para estimar el volumen de las especies más importantes determinados por el IVI.

V. VARIABLES

5.1. Identificación de variables, indicadores e índices.

La variable modelos alométricos presenta como indicador a los modelos lineales y no lineales y su índice es el coeficiente de determinación y el error estándar, mientras que para la variable número de árboles tiene como indicador los árboles por hectárea y como índice el número de individuos por hectárea. Asimismo la variable volumen muestra su indicador al volumen del fuste y su índice es metros cúbicos por hectárea; asimismo, la variable altura exhibe como indicador a la altura de las especies y su índice está representado en metros y finalmente la variable diámetro presenta a la clase diamétrica como su indicador cuyo índice es el centímetro.

5.2. Operacionalidad de las variables.

En el cuadro 1 se presenta la operacionalidad de las variables que se tuvo en cuenta en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Cuadro 1. Variables, indicadores e índices para el estudio.

Variables	Indicadores	Índices
Modelos alométricos	Modelos lineales Modelos no lineales	R^2 , S_{xy}
Número de árboles	Árboles por hectárea	Ind/ha
Volumen	Volumen del fuste	m^3/ha
Altura	Altura de las especies	m
Diámetro	Clase diamétrica (DAP)	cm

VI. MARCO TEÓRICO

El inventario forestal no solo es un registro cualitativo y cuantitativo de los árboles, sino que se amplía a todos los elementos que conforman el bosque, según el cual está compuesto por el capital vuelo, suelo y demás elementos o individuos que se desarrollan y viven en la masa forestal; también afirma que las unidades pequeñas son más aptas para bosques homogéneos porque el área varía considerablemente de acuerdo al tipo de bosque, de esta forma las muestras pueden ser desde unidades tan pequeñas como 100 m² o tan grandes como 1000 m² (Malleux, 1982). Así mismo un inventario forestal debe incluir una descripción general de la zona forestal y de las características legales para el aprovechamiento del área, así como cálculos de las existencias maderables según las especies forestales (número de árboles por categorías diamétricas, disponibilidad volumétrica, entre otras), y cálculos de los incrementos de las mermas, principalmente debidas a perdidas por el estado fitosanitario y defectos físicos del árbol; además hay que tener en cuenta que los inventarios deben incluir ambas cosas, ya que cualquier estimación de las cantidades de madera de un bosque tiene poco significado si no se considera en relación con la zona donde los árboles están plantados (Husch, 1971).

El inventario es un instrumento de planificación, pues ofrece datos estadísticos seguros en lo referente a la cuantificación y distribución de los individuos vegetales, como también la caracterización de la población vegetal y la evaluación de la diversidad biológica Robles (1978); Péllico Neto y Brena (1997) y Prodan (1997), citado por Moscovich *et al.* (2003). Para Orozco y Brumér (2002), es un procedimiento útil para obtener información necesaria para la toma de decisiones

sobre el manejo y aprovechamiento forestal. Mientras que para Israel (2004), citado por Loja (2010), consiste en extraer información, es decir es para saber cómo aprovecharlo, es como una radiografía del bosque, un resumen de su situación en un tiempo dado. El propósito del inventario es la preparación de un plan de aprovechamiento forestal, poniendo énfasis en recolectar información exacta (con el mínimo error) y al más bajo costo posible sobre: topografía detallada del terreno, cálculo del área efectiva de aprovechamiento, de las zonas de protección, localización de rutas de transporte, e información sobre ubicación, cantidad, tamaño y calidad de los productos que se quiere aprovechar (CATIE, 2002, citado por Torres, 2010).

El inventario forestal es un procedimiento útil para obtener información necesaria para la toma de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal. El término “inventario forestal” ha sido utilizado en el pasado como sinónimo de “procedimiento para la estimación de recursos leñosos (principalmente maderables comerciales) contenidos en un bosque” (Orozco y Brumér, 2002).

Israel (2004), indica que un inventario forestal consiste en extraer información es decir trata de relevar una serie de cualidades de los árboles y el ambiente en determinados puntos del bosque (llamados parcelas) considerados representativos según los objetivos del inventario; el mismo autor, menciona que constituye la parte fundamental de la planificación de la ordenación forestal con fines de aprovechamiento y manejo sostenible, ya que permiten determinar de manera cualitativa y cuantitativa el potencial del recurso forestal. En términos cualitativos, el inventario permite conocer la variación de la masa forestal en los diferentes estratos o ecosistemas, así como determinar la variación florística del bosque y las características intrínsecas de las especies registradas (forma del

fuste y de la copa, por ejemplo). En términos cuantitativos, el inventario determina el número de especies por unidad de área y las variables dasométricas, como diámetro a la altura del pecho (dap), altura comercial y altura total de los individuos inventariados. Una vez procesada la información de campo, es posible determinar el área basal y el volumen comercial estimado por unidad de área.

Las variables dasométricas como la altura, el diámetro normal o el volumen, como una función de la edad del árbol, es una relación que sigue un patrón que puede ser representada por una curva logística, que a su vez es descrita por una ecuación (Davis y Johnson, 1987 y Ramírez y Zepeda, 1994).

La validación del modelo es el proceso de contrastar las predicciones propuestas por el modelo con los datos experimentales. Es evidente que si existen grandes diferencias entre estos valores debemos de rechazar el modelo propuesto. (Segura, *et al.* 2008).

En general, el diámetro siempre va a ser un buen estimador de la altura, aunque debe ser matizado por la influencia de los tratamientos selvícolas que ha recibido ya que, en principio, el crecimiento en altura se ve poco afectado por la densidad (Cañadas, *et al.* 1999).

La alometría es una herramienta que permite relacionar características físicas o biológicas de las especies forestales para predecir su comportamiento en el futuro. Esta técnica permite obtener parámetros de interés para investigadores y planificadores de sistemas de aprovechamiento intensivo de los recursos naturales (King, 1996 citado por López, *et al.* 2003).

Para el manejo del bosque, se requiere además de ecuaciones de crecimiento simples como el volumen, modelos para predecir tamaños; por ejemplo, la altura y

el volumen pueden ser expresados como funciones alométricas del diámetro, y su distribución en tamaños, puede ser estimada con la distribución Weibull (Vanclay, 1994).

Un modelo de crecimiento se considera efectivo si está expresado en función de variables predictoras fáciles de medir, con un coeficiente de determinación relativamente alto, por arriba de 0,8. Mientras menor número de variables predictoras estén implicadas en un modelo, más apropiado es para ser usado; con muchas variables predictoras, el modelo se vuelve muy sensible a las relaciones entre ellas, especialmente, si algunas de esas variables están altamente correlacionadas (Alder, 1980).

Las mejores variables independientes para predecir el crecimiento, ya sea en volumen, altura, diámetro o área basal, deben ser seleccionadas mediante un análisis estadístico objetivo, a través del cual se determine que estas variables estén relacionadas individualmente y en forma conjunta con la variable dependiente de interés (Klepac, 1983).

Un bosque no es simplemente una cantidad de madera si no una asociación de plantas vivas que puede y debe tratarse como una riqueza renovable (Loja, 2010).

Los bosques primarios son bosques vírgenes o formaciones vegetales poco alteradas por disturbios naturales o antropogénicos. De acuerdo a la variedad ambiental existe una amplia gama de tipos de bosque con diferente estructura y vegetación. En zonas tropicales la riqueza en especies es alta y el mismo tipo de bosque puede tener cientos de especies arbóreas. La abundancia de la mayoría de especies es baja y la mezcla de especies es intensiva, no sólo en el área (horizontalmente) sino también en los estratos (verticalmente) (Budowski, 1985).

En general, los bosques jóvenes tienen una estructura más simple y son mucho más pobres en especies que los bosques primarios del mismo medio ambiente. Tanto la composición y la estructura de un bosque secundario cambian con el paso del tiempo (Finegan, 1992).

Los modelos matemáticos tienen muchas ventajas sobre una descripción verbal del problema. Una ventaja obvia es que el modelo matemático describe un problema en forma mucho más concisa. Esto tiende a hacer que toda la estructura del problema sea más comprensible y ayude a revelar las relaciones importantes entre causa y efecto. De esta manera, indica con más claridad que datos adicionales son importantes para el análisis. También facilita simultáneamente el manejo del problema en su totalidad y el estudio de todas sus interrelaciones. Por último, un modelo matemático forma un puente para poder emplear técnicas matemáticas y computadoras de alto poder, para analizar el problema. Sin duda, existe una amplia disponibilidad de paquetes de software para muchos tipos de modelos matemáticos, para micro y minicomputadoras. http://www.investigacion-operaciones.com/Metodologia_IO.htm.

Los modelos pueden ser evaluados de acuerdo con los siguientes criterios: el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) y el error cuadrático medio de predicción (ECMP), entre otros. El coeficiente de determinación se interpreta como la proporción de la variabilidad total en Y explicable por la variación de la variable independiente o la proporción de la variabilidad total explicada por el modelo (Di Rienzo *et al.* 2001).

Por otro lado, la alometría es una herramienta que permite relacionar características físicas o fisiológicas de las especies forestales para predecir su

comportamiento en el futuro (King 1990, 1996; O' Brien, *et al.* 1995. y Leite, 1999). Esta técnica permite obtener parámetros de interés para investigadores y planificadores de sistemas de aprovechamiento intensivo de los recursos naturales.

Las curvas que se obtienen en función al DAP son importantes, en tal sentido Marmillod (1982), manifiesta que las curvas calculadas para diferentes tamaños de DAP, proporciona no solo información florística estructural acerca del rodal, sino que conducen a fijar, desde el punto de vista silvícola, la superficie de levantamiento mínimo necesario para los análisis de estructura.

Además de considerar la estructura horizontal y vertical del bosque, también es importante analizar la estructura diamétrica (Hidalgo (1982). La distribución diamétrica del bosque ofrece una idea de cómo están representados en el bosque las diferentes especies según clases diamétricas.

El estudio estructural se ocupa de la agrupación y valoración sociológica de las especies dentro de la comunidad y de la distribución de las mismas según formas vitales (Loja, 2010). Se entiende la estructura de la vegetación como el patrón espacial de distribución de las plantas (Barkman, 1979), y la caracterización de una agrupación vegetal de especies leñosas se llega a través de la definición de su ordenamiento vertical y horizontal (Rangel y Velásquez, 1997). Lamprecht (1964), indica que los datos estructurales (abundancia, dominancia y frecuencia) revelan aspectos esenciales en la composición florística del bosque, pero siempre son solamente enfoques parciales que en forma aislada, no suministran la información requerida sobre la estructura de la vegetación en conjunto, agrega que, para el análisis de la vegetación, es importante encontrar un valor que

permita una visión más amplia de la estructura de las especies, lo que caracteriza la importancia de cada especie en el conglomerado total del suelo.

Lamprecht (1962), asegura que una distribución diamétrica regular, es decir mayor número de individuos en las clases inferiores, es la mayor garantía para la existencia y sobrevivencia de las especies; por el contrario, cuando ocurre una distribución diamétrica irregular, las especies tenderán a desaparecer con el tiempo. Finol (1974), afirma que la distribución diamétrica regular garantiza la sobrevivencia de una especie forestal, así como su aprovechamiento racional según las normas del rendimiento sostenido. Por su parte Marmillod (1982), asegura que la distribución diamétrica depende marcadamente de la superficie de levantamiento.

La caracterización de la vegetación y su clasificación como diferentes comunidades vegetales se basa en la composición florística y características estructurales tales como diversidad, altura, frecuencia, dominancia, abundancia y área basal de las especies constituyentes.

Para el estudio de la vegetación Tello (1995), menciona tres criterios, los cuales están basados en las características o aspectos fisonómicos, florísticos y estructurales. Para proyectar y desarrollar planes de manejo silvicultural en los bosques tropicales, es necesario conocer, la composición y estructura de los diferentes tipos de vegetación, que permita precisar el efecto de los principales factores ambientales sobre la organización del rodal, el estado de equilibrio poblacional de la comunidad y detectar actividades antropogénicas realizadas en el bosque (Malleux, 1982). La estructura y composición de los bosques se ve afectada por la ocurrencia de disturbios de origen natural o antropogénico. La ocurrencia de disturbios frecuentes determina el predominio de especies

colonizadoras, mientras que en áreas más estables el dosel del bosque está dominado por especies tolerantes a la sombra (Whitmore, 1989 citado por Pinazo, *et al.* 2003).

La caracterización local de la vegetación representa el primer paso hacia el entendimiento de la estructura y dinámica de un bosque, lo que a su vez es fundamental para comprender los diferentes aspectos ecológicos, incluyendo el manejo exitoso de los bosques tropicales (Bawa y McDade, 1994 citado por Cascante, *et al.* 1991).

Los datos estructurales (abundancia, dominancia y frecuencia) revelan aspectos esenciales en la composición florística del bosque, pero son solamente enfoques parciales, los cuales una vez separados nos dan la información requerida sobre la estructura florística de la vegetación. Para el análisis de la vegetación es importante encontrar un valor que permita dar una mejor visión de la estructura de las especies o que caracterice la importancia de cada especie en el conglomerado total de la población (Lamprecht, 1964).

UNESCO (1980), manifiesta que la estructura del bosque son cambios fenológicos incluidos en función del microclima y de las modificaciones que en tal microclima inducen las condiciones fisiográficas y edáficas; a su vez, la estructura forestal determina las condiciones microclimáticas. Para Barkman (1979), citado por Quirós, *et al.* (2003), la estructura de la vegetación es el patrón espacial de distribución de las plantas. Hainsdijk y Miranda (1963), citado por Burga (1993), señala que la floresta tropical es mixtura de pequeños y grandes árboles con una gran variedad de diámetros, semejante a los que se observan en países templados de desigual edad, donde todavía la variación de amplitud de diámetro es menor.

Hawley y Smith (1972), consideran que el crecimiento en diámetro de los árboles es más variable que en altura.

Bruce y Schumacher (1965), citado por Burga (1993), usan el DAP en el sistema métrico decimal, el DAP es 1,3 m de altura desde el suelo, lo que equivale aproximadamente a 4 pies, 3 pulgadas; sugieren tomar por lo menos dos mediciones, preferiblemente en puntos diametralmente opuestos que se promedian. Loetsch (1973), propone que el DAP es un parámetro esencialmente variable y tiene la ventaja de ser el parámetro más fácil de medir. También manifiesta que el incremento en diámetro a diferentes alturas del tronco no es igual y que el área basal es el componente de mayor influencia sobre el volumen.

Husch (1963) y Harrison (1951), citado por Burga (1993), menciona que los diámetros y áreas basales pueden estar más cercamente relacionados a la densidad que a la edad; la altura puede estar más relacionada con la calidad de sitio que a su edad, asimismo expresan que la medición del diámetro es una de las medidas forestales más importantes para la organización de planes de ordenación y administración.

Pandolfi (1974), expresa que la floresta tropical es heterogénea. Existe gran número de especies forestales por unidad de área. Para Hawley y Smith (1972), en las masas irregulares al envejecer en cada uno de los pequeños grupos uniformes disminuye el número de árboles, al principio rápidamente y luego más despacio, puede llegar el momento en que, de un grupo inicial de un centenar de individuos, no sobrevivirá más que uno. Bruce y Schumacher (1965), citado por Burga (1993), señala que si un bosque no es absolutamente de la misma edad, en su fase de plantitas hay miles de aquellos por ha, a medida que los arbolitos

van aumentando de tamaño compiten unas con otras cada vez con mayor intensidad para conseguir luz y humedad hasta que llega el momento en que los individuos más débiles mueren suprimidos por sus vecinos más robustos. De la lucha continúa durante toda la vida; el resultado es que el número de árboles por ha disminuye muchísimo hasta que en la madurez queda a menudo menos del 1% de los árboles que había al comienzo. FAO (1974), explica que una floresta irregular equilibrada tendría tantos árboles en cada clase de diámetro como una floresta regular (o normal) equilibrada, compuesto por rodales uniformes, cubriendo un área igual y que contuviera las mismas clases de edad.

Según Bruce y Schumacher (1965), citado por Burga (1993), manifiesta que la distribución de frecuencia, es una distribución tabular que muestra la frecuencia con que ocurre cualquier evento por clase de tamaño. Malleux y Montenegro (1971), explican que en rodales disetáneos la típica distribución de árboles y sus clases diamétricas se encuentra un alto número de árboles pequeños, con decrecimiento de la frecuencia a medida que el tamaño aumenta. Hawley y Smith (1972), expresan que en una masa irregular, la curva resultante de la distribución de diámetros en una masa completa tendrá forma de "J". Husch (1963), indica que en bosques disetáneos la distribución diamétrica típica es un gran número de árboles de diámetros pequeños, decreciendo el número de árboles conforme aumenta la clase diamétrica. La FAO (1974), señala que los gráficos de distribución de frecuencias por clases diamétricas, representan un cierto instante en la historia de la floresta, no sabemos nada sobre la distribución de diámetros durante años atrás, podemos decir que esta distribución de diámetros será mantenida por largo tiempo, mientras que la floresta no sufra la interferencia del hombre.

Prodan (1968), citado por Burga (1993), propone que a causa de la diversidad de tipos de curvas y pruebas, que existen en la distribución diamétrica, propone que para encontrar sus soluciones ensayar el ajuste por polinomios ortogonales. Ojeda (1974), sugiere que en la distribución de frecuencias a nivel específico en bosques tropicales, es imprescindible fijar la curva de distribución de frecuencias de cada clase. Las curvas que tipifican a un bosque tropical las expresa acertadamente Malleux (1982), siendo las siguientes: alto número de especies forestales por unidad de superficie, alto coeficiente de variabilidad, la curva de distribución de frecuencias de clases diamétricas de los árboles es de tipo exponencial y el bosque de difícil accesibilidad, existiendo numerosos tipos de bosques de acuerdo a factores fisiográficos, edáficos y florísticos.

Sobre la distribución de frecuencias en clases diamétricas, Vega (1968), citado por Burga (1993), manifiesta que la normalidad de la distribución diamétrica en un bosque mixto primario (incoetáneo) indica la existencia de una relación constante entre el número de árboles y las clases diamétricas arregladas sucesivamente, es decir, el número de individuos de las clases diamétricas inferiores decrece en una progresión geométrica conforme aumentan las clases de tamaño.

Los bosques tropicales presentan una composición fuertemente mixta, con una gran cantidad de especies por unidad de superficie (hasta más de 1000 por hectárea), varía de un lugar a otro del bosque, lo cual está ligado a las diferencias del patrón o tipo de distribución de las especies arbóreas individuales, relacionadas a su vez a las condiciones del medio (principalmente el suelo) y a las características inherentes a las especies (Gómez, 1972). Heinsdijk y Miranda (1963), señalan que el bosque tropical es una mezcla de pequeños y grandes árboles con una gran variedad de diámetros (DAP) semejante a los que se

observan en países templados de desigual edad, donde todavía la variación del diámetro es menor. Hawley y Smith (1980), consideran que el crecimiento en diámetro de los árboles es más variable que la altura.

Recientemente se han terminado los estudios de relaciones alométricas de Villacorta (2011) para la cuenca media del río Arabela y está en fase de ejecución el proyecto de Luño (2011), para el estudio alométrico de los bosques del VRAE, porque es una aplicación importante es la estimación de la altura del árbol a partir de su diámetro medido a la altura de pecho (DAP), a una altura estándar de 1,37m. El DAP explica mucha de las variaciones en altura (Zeide y Vanderschaaf, 2002), y como resultado, la relación alométrica DAP-altura ha sido utilizada como uno de los factores en el estudio de la dinámica de crecimiento del bosque. Esta relación ha sido también empleada para demostrar que el diámetro se incrementa a una tasa más rápida que la altura durante el crecimiento, como lo predicho por los modelos biomecánicos (Henry y Aarssen, 1999). Las ecuaciones alométricas que relacionan al DAP con otros atributos, tales como biomasa, volumen de carbono y área foliar, son una importante y frecuente herramienta usada en investigaciones ecológicas (Martin *et al.* 1998).

La distribución diamétrica por tipo de bosque se ajustó al modelo de distribución de tipo exponencial, es decir mayor concentración de árboles en las clases diamétricas inferiores, tal como se observa en el cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros de las relaciones alométricas por tres tipos de bosques.

Tipo de bosque	Ecuación	Parámetros estimados		r	R ²
		Constante	b1		
Terraza media	Exponencial	536,187	- 0,051	0,931	0,867
Terraza alta	Exponencial	1084,317	- 0,049	0,944	0,892
Colina baja	Exponencial	1100,253	- 0,042	0,923	0,852

Fuente: Villacorta (2011).

Mientras que Fontes (1999), estudiando la existencia de patrones alométricos en cinco especies arbóreas pioneras tropicales, encontró dos patrones distintos: uno relacionado con un mayor crecimiento de la altura, asegurando un espacio en el dosel, y el otro más ligado al crecimiento del diámetro y de la copa, ocupando mayor espacio horizontal. En tanto Alves y Santos (2002), encontraron que no es posible predecir las relaciones alométricas sólo por el tamaño de los árboles adultos y su posición en el dosel. Esto es porque dicha variación pudiera estar relacionada con cambios del tamaño dependientes de respuestas diferentes a la disponibilidad de luz y rasgos demográficos. Una característica interesante de las poblaciones de plantas es que los intervalos individuales de tamaño son muy amplios como resultado de la competencia asimétrica por la luz (Weiner *et al.* 2001) o por la distribución poco uniforme de otros recursos. Acompañando al gradiente del recurso luz en el ambiente, las plantas han desarrollado dos estrategias biológicas extremas básicas conocidas como esciofitismo o tolerancia a la sombra, y heliofitismo o intolerancia a la sombra (Whitmore, 1991).

En bosques con alta diversidad de especies, estos modelos pueden ser simplificados por agrupamiento de especies estableciendo criterios adecuados. Aunque esta simplificación reduce el contenido de información, revela los patrones generales y facilita las predicciones acerca del desarrollo del bosque (Swaine y Whitmore, 1988).

Se obtuvieron relaciones alométricas diámetro-altura para 34 especies de árboles de la Reserva Forestal Imataca con alto valor de importancia, para ser incorporadas al modelo de base individual FACET para simular el establecimiento, crecimiento y mortalidad de árboles en la Reserva. Las alometrías varían para los distintos grupos funcionales, revelando relaciones alométricas asociadas a las

características de tolerancia a luz y altura máxima de las especies. Este resultado permitió generar prototipos por grupo ecológico que pueden ser usados para revelar patrones generales de crecimiento y facilitar las predicciones acerca del desarrollo del bosque (Delgado, *et al.* 2005).

En el Perú Villacorta (2011), encontró que el coeficiente de determinación R^2 al nivel de especies varió entre 0,5 y 1,00, las especies seleccionadas en base a la mayor contribución del índice de valor de importancia. Alvarez (2008), recomienda por su simplicidad los modelos alométricos con una sola variable independiente (dap), debido a que es la medición más exacta que se tiene de los inventarios de plantaciones forestales y es la variable más fácil de medir. En la mayoría de los trabajos realizados en zonas tropicales se ha encontrado que la variable independiente que mejor explica la biomasa de un árbol es el diámetro a la altura del pecho; asimismo, uno de los modelos más utilizados en los estudios de biomasa para relacionar la biomasa de un árbol o la biomasa de uno de sus componentes, con alguna variable de fácil medición es el modelo alométrico (Overman *et al.* 1994 y Enquist *et al.* 1988 citados por Alvarez (2008); Villacorta 2011, Tello 2008).

Thompson (1917) y Huxley (1932), en trabajos recientes han demostrado el poder del análisis alométrico para interpretar variaciones en las plantas (Niklas, 1994; Niklas y Enquist, 2002). Su uso en la biología vegetal ha consistido primariamente en el desarrollo de relaciones correlativas entre variables vinculadas al tamaño para aplicaciones en la agricultura, funcionamiento de ecosistemas y manejo de bosques (Niklas y Enquist, 2002).

Una aplicación importante es la estimación de la altura del árbol a partir de su diámetro medido a la altura de pecho (DAP), a una altura estándar de 1,37m. El

DAP explica mucha de las variaciones en altura (Zeide y Vanderschaaf, 2002), y como resultado, la relación alométrica DAP-altura ha sido utilizada como uno de los factores en el estudio de la dinámica de crecimiento del bosque. Esta relación ha sido también empleada para demostrar que el diámetro se incrementa a una tasa más rápida que la altura durante el crecimiento, como lo predicho por los modelos biomecánicos (Henry y Aarssen, 1999).

En bosques con alta diversidad de especies, estos modelos pueden ser simplificados por agrupamiento de especies estableciendo criterios adecuados. Aunque esta simplificación reduce el contenido de información, revela los patrones generales y facilita las predicciones acerca del desarrollo del bosque (Swaine y Whitmore, 1988). Por ejemplo, con los modelos ZELIG, FACET se han establecido grupos funcionales de acuerdo a los requerimientos de claro (dependencia de la luz) y capacidad de creación de claros (altura máxima) de las especies (Acevedo, 1980). Además, es de gran interés, tanto científico como aplicado, extrapolar la dinámica a escala de parcela a la escala de paisaje, que exige ejecutar la simulación para condiciones ambientales heterogéneas. Los modelos de transición permiten simplificar la simulación de la dinámica forestal a esta escala, definiendo cada estado de transición por medio de un tipo de cobertura definido como una combinación de especies (o de grupos funcionales) dominantes y estado sucesional, como se ha hecho en varias aplicaciones del modelo MOSAIC (Acevedo *et al.* 1995; Delgado, 2000 y Abbott-Wood, 2002).

Ojeda (1974), reporta resultados de un inventario realizado en Von Humboldt, en el cual el ajuste de las curvas es muy bajo en la prueba de "t", es decir hay diferencia significativa, en la prueba de "X²" chi-cuadrado da una diferencia de

altamente significativa, en la prueba de correlación “r” es relativamente bajo y la distribución diamétrica no es la misma en todas las masas.

Pelagio (1975), en un estudio de la distribución de frecuencias por clases diamétricas de 26 grupos de especies forestales del bosque nacional Alexander Von Humboldt, determinó que la curva exponencial de distribución de frecuencias por clases diamétricas se ajusta excelentemente en 88,46% de las especies estudiadas. Por su parte Ojeda (1974), encontró que la fórmula exponencial de distribución de frecuencias por clases diamétricas propuesta por Meyer se ajusta perfectamente a las especies forestales materia de estudio, lo cual se sustenta en la estrecha correlación de los datos observados y calculados. Así mismo Villanueva (1984), en un inventario forestal de los bosques de San Juan del Ojeal en el río Amazonas muestra que la distribución diamétrica de árboles se ajustó a una distribución de tipo exponencial. Asimismo, manifiesta que la estructura diamétrica total del bosque de terraza, varillal y aluvial, muestra que más del 90% de los individuos se concentran en la clase diamétrica para DAP inferior a 10 cm. También hace referencia que la distribución diamétrica total y por especie de árboles, se ajustó a un modelo de distribución de tipo exponencial, es decir mayor concentración de árboles en las clases diamétricas inferiores.

En un inventario forestal con fines de valorización en la carretera Iquitos-Nauta, Pérez (2001), encontró la presencia de 191 árboles, donde la mayor cantidad de individuos se encuentran presentes en las clases diamétricas inferiores y las proyecciones de las curvas de distribución de individuos por clase diamétrica muestran una curva de tipo exponencial. Así mismo, indica que la distribución volumétrica muestra una proyección irregular, alcanzando el máximo volumen en las clases inferiores por la presencia de gran cantidad de individuos.

VII. MARCO CONCEPTUAL

Modelo. Es la representación abstracta de algún aspecto de la realidad (Regalado *et al.* 2005).

Modelo alométrico. Son ecuaciones matemáticas que permiten realizar estimaciones en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro a la altura del pecho (dap) y/o la altura total (Loetsch *et al.* 1973; Caillez, 1980; Husch *et al.* 1982 y Parresol, 1990), citado por Segura y Andrade (2008).

Bosques. Es toda aquella superficie de tierra en donde se hallan creciendo asociaciones vegetales, predominando árboles de diferentes tamaños que han sido explotados o no, capaces de producir madera u otros productos (<http://jemarcano.tripod.com/tipos/index.html>).

Árboles. Son plantas leñosas perennes que tienen un fuste y una copa bien diferenciada, otra de sus características es que se ramifica aproximadamente a partir de los tres metros de altura (Lindorf *et al.* 1991).

Inventario forestal. Se define como el conjunto de procedimientos destinado a proveer información cualitativa y cuantitativa de un bosque (Wabo, 2003). Mientras que Husch (1963), indica que es un método de descripción cualitativa de los árboles forestales de una determinada área y de las características del área sobre el cual se desarrolla el bosque; por su parte Malleux (1982), manifiesta que es un sistema de recolección y registro cuali-cuantitativo de los elementos que conforman el bosque, de acuerdo a un objetivo previsto y en base a métodos apropiados y confiables. Para Moscovich *et al.* (2003), el inventario es un instrumento de planificación, pues ofrece datos estadísticos seguros en lo

referente a la cuantificación y distribución de los individuos vegetales, como también la caracterización de la población vegetal y la evaluación de la diversidad biológica. Para Malleux y Montenegro (1971), es la tabulación confiable y satisfactoria de información de los árboles, relativa en una determinada área de bosque de acuerdo a un fin previsto.

Biodiversidad. Se define como la diversidad del mundo vivo, se manifiesta en varios niveles: genes intraespecíficos (diversidad genética), especies (diversidad interespecífica) y ecosistemas (diversidad ecológica) (Leveque 1994, citado por Macedo, 2010).

Diversidad. Se define como el número y repartición de estirpes vivientes en una superficie o área geográfica dada (Tyler, 1992).

La diversidad del ecosistema. Puede definirse como la diversidad genética, la diversidad de las especies, la diversidad de los hábitats y la diversidad de los procesos funcionales que mantienen sistemas complejos (Molles, 2006).

La diversidad de especies. Es la combinación del número de especies y su abundancia relativa (Molles, 2006). Un segundo concepto de la diversidad de especies es el de heterogeneidad (Molles, 2006).

Muestreo. Se conceptualiza como elegir y obtener muestras representativas de las características de los integrantes de una población. También se define como la herramienta de la investigación científica. La muestra se entiende como una parte representativa de la población y muestrear viene a ser la toma de muestras de un elemento o de un conjunto de elementos para realizar estudios o análisis sobre ellos (Seck, 2005, citado por Macedo, 2010).

Estructura de la vegetación. Se entiende al agregado cuantitativo de unidades funcionales; es decir, la ocupación espacial de los componentes de una masa vegetal (Dancereau 1961, citado por Burga, 1993).

Estructura. Es la distribución de árboles en clases diamétricas Richards (1936), citado por Burga (1993). Para Brunig (1970), es la distribución de los individuos en tipos biológicos o en estratos y también se define como la distribución en clases de edad. Para Franco *et al.* (1995) citado por Loja (2010), la estructura de la vegetación es el arreglo espacial de las especies y la abundancia de cada una de ellas.

Abundancia. Es el número de individuos de una especie dentro de una asociación vegetal, mientras que la dominancia se expresa como valor relativo de la sumatoria de las áreas basales; así mismo la frecuencia mide su dispersión dentro de la comunidad vegetal y el índice de valor de importancia muestra la importancia ecológica relativa de cada especie (Malleux, 1982).

Frecuencia. Mide la regularidad de la distribución horizontal de cada especie sobre el terreno, para determinar la frecuencia se divide el área total en un número conveniente de parcelas de igual tamaño entre sí, donde se controla la presencia de las especies en cada una de ellas (Tello, 1995).

Clase diamétrica. Son intervalos establecidos para la medida de diámetros normales. También se refiere a árboles, rollos, entre otros, incluidos en dichos intervalos (Tovar, 2000).

VIII. MATERIALES Y MÉTODO

8.1. Lugar de ejecución.

El bosque se encuentra en la margen derecha de la carretera Iquitos Nauta, específicamente en el kilómetro 28, que comprende parte del territorio de la provincia de Maynas y de Loreto. Es una zona con gran diversidad ecológica y geográfica, consta con altitudes que van desde los 110 hasta los 140 msnm. El área de estudio presenta fisiografía de bosque húmedo tropical con terrazas altas hasta colinas bajas ligeramente disectadas (Figura 1).

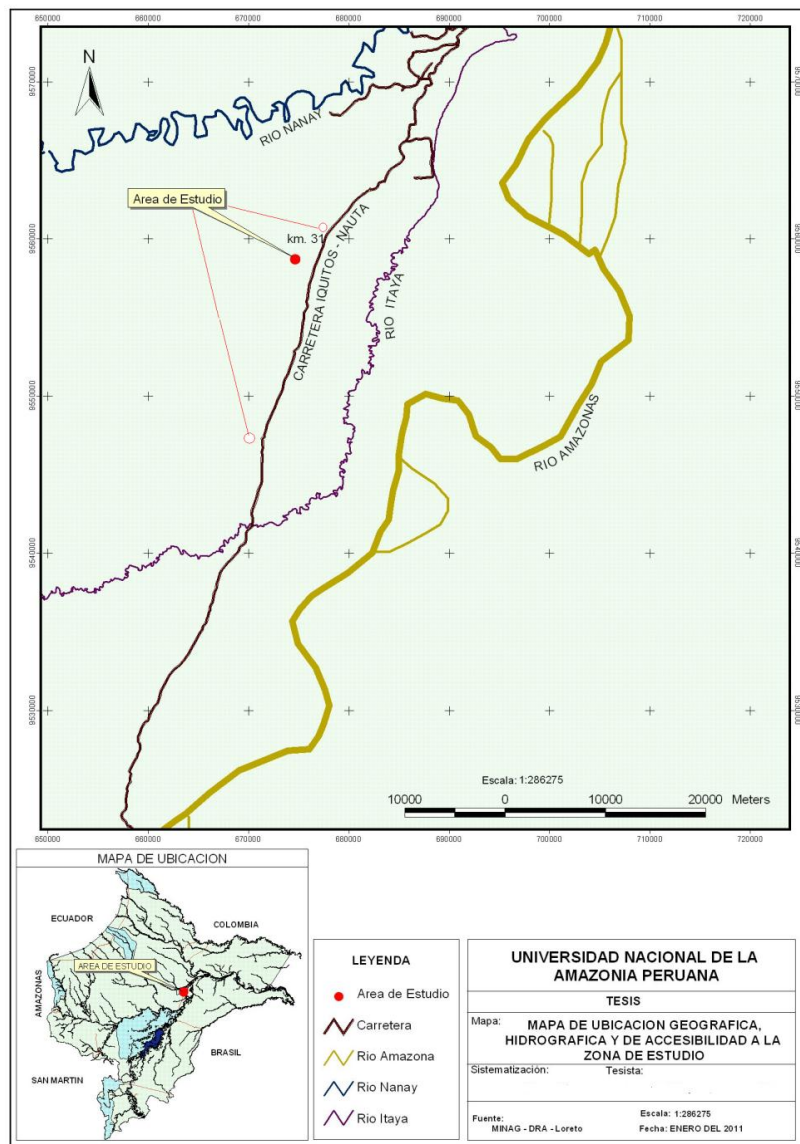


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

8.2. Método.

8.2.1. Tipo y nivel de investigación.

El tipo de investigación es básica y de acuerdo a la naturaleza de la investigación por su nivel corresponde a un estudio correlacional-inferencial.

8.2.2. Diseño estadístico.

Por el diseño es correlacional - inferencial, donde se evaluaron varios modelos alométricos para el número de árboles, altura, área basal y volumen de árboles por estructura diamétrica por tipo de bosque y especies.

8.2.3. Análisis estadístico.

Para determinar el o los modelos alométricos que mejor estimen la altura, área basal, volumen y número de árboles basados en el diámetro del tronco a la altura del pecho para cada tipo de bosques y especies de la carretera Iquitos Nauta se probaron diferentes modelos matemáticos del tipo curvilíneo y no lineal, de donde se escogieron el que mejor se ajusta a la estructura ideal del bosque, basados en su más alto coeficientes de correlación (r), y determinación (R^2), el menor error estandar S_{xy} y el análisis de varianza (ANVA) significativo, así como por mejor bondad de ajuste.

8.2.4. Procedimiento.

En el presente trabajo de investigación se ha utilizado la base de datos del inventario forestal realizado en el kilómetro 28 de la carretera Iquitos- Nauta de la Facultad de Ciencias Forestales.

a) La abundancia se define como el número de individuos de una especie cuando este valor está relacionado a la unidad de muestreo, también proporciona una estimación de la densidad. El valor relativo de la abundancia se calcula de la siguiente manera:

$$Ar = (Ai/\Sigma A) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Ar = Abundancia relativa de la especie i

Ai = Número de individuos por hectárea de la especie i

ΣA = Sumatoria total de individuos de todas las especies en la parcela

b) La frecuencia de las especies mide su dispersión dentro la comunidad vegetal.

El cálculo se basa en el número de subdivisiones del área en que presentan individuos de una especie. Para calcularla se registra la presencia o ausencia (ocurrencia) de cada especie en cada subparcela y la frecuencia absoluta de una especie se expresa como el número de subparcelas en los cuales ocurre. La frecuencia relativa se refiere al porcentaje de la suma de todas las ocurrencias de una especie respecto a la sumatoria de las ocurrencias de todas las especies de la misma comunidad o parcela. Se calcula de la siguiente manera:

$$Fr = (Fi/\Sigma F) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

Fr = Frecuencia relativa de la especie i

Fi = Número de ocurrencias de la especie por ha

ΣF = Sumatoria total de ocurrencias en la parcela

c) La dominancia es la sección determinada en la superficie del suelo por el haz de proyección horizontal del cuerpo de la planta, lo que equivale al análisis de la proyección horizontal de las copas de los árboles. Sin embargo, en el bosque tropical resulta difícil determinar dichos valores por la complejidad de la estructura, especialmente los distintos doseles dispuestos uno encima de otro y la entremezcla de las copas unas con otras. Por tanto, se utiliza el área basal de los

fustes de los árboles en sustitución de la proyección de las copas, calculado en base a las mediciones del diámetro a la altura del pecho (DAP) de los fustes. La dominancia se expresa como valor relativo de la sumatoria de las áreas basales y se expresa de la siguiente manera:

$$Dr = (AB_i / \Sigma AB) \times 100 \quad (3)$$

Donde:

Dr = Dominancia relativa de la especie i

AB_i = Sumatoria de las áreas basales de la especie i

ΣAB = Sumatoria de las áreas basales de todas las especies en la parcela

d) Cálculo del área basal.

$$AB = \pi/4 \times (Dap)^2 \text{ y/o } 0,7854 \times (Dap)^2 \quad (4)$$

e) Número de árboles.

La distribución del número de árboles se efectúa tomando como base el diámetro a la altura del pecho (Dap) en clases diamétricas de 10 cm por categorías.

f) Volumen.

El volumen será calculado teniendo en cuenta el diámetro (DAP), altura comercial y un coeficiente de forma de 0,65 por especie.

$$Vc = AB \times Hc \times Ff \quad (5)$$

Donde:

Vc = Volumen (m³/ha)

AB = Área basal (m²/ha)

Ff = Factor de forma por especie

g) Modelo de la estructura diamétrica por tipo de bosque.

Obtenido la distribución de frecuencias por clases diamétricas, se correlacionó en un eje de coordenadas el diámetro normal (X) con las frecuencias del número de árboles observados por clase diamétrica (Y) por tipo de bosque con sus respectivas pruebas estadísticas del coeficiente de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), error estandar Sxy y el análisis de varianza (ANVA).

h) Modelo de la estructura diamétrica por especie.

El procedimiento es el mismo que el anterior con la diferencia que solo se correlacionaron las 5 especies más abundantes por tipo de bosque con sus respectivas pruebas estadísticas.

Para la toma de decisiones, se ha optado por la ecuación alométrica que presentó el mayor R^2 , en el caso de empate, el criterio que se tomó en cuenta fue aquel que presentó menor error estándar, de mantenerse el empate se eligió por el modelo que mostró la mejor distribución de residuos, de persistir el empate se asumió aquella ecuación que fue más fácil de trabajar. Los cálculos se realizaron utilizando el software SPSS 15.

Modelos matemáticos que se probaron para determinar el modelo de la estructura diamétrica por tipo de bosque y por especie:

Nº	MODELO MATEMÁTICO	ECUACIONES
1	LINEAL	$Y = b_0 + (b_1 \times t)$
2	LOGARITMICA	$Y = b_0 + (b_1 \times \ln(t))$
3	INVERSA	$Y = b_0 + (b_1 / t)$
4	CUADRATICA	$Y = b_0 + (b_1 \times t) + (b_2 \times t^2)$
5	CUBICA	$Y = b_0 + (b_1 \times t) + (b_2 \times t^2) + (b_3 \times t^3)$
6	COMPUESTA	$Y = b_0 \times (b_1^t)$
7	POTENCIAL	$Y = b_0 \times (t^{b_1})$
8	S	$Y = e^{(b_0 + (b_1 / t))}$
9	CRECIMIENTO	$Y = e^{(b_0 + (b_1 \times t))}$
10	EXPONENCIAL	$Y = b_0 \times (e^{(b_1 \times t)})$
11	LOGISTICA	$Y = 1 / (1/u + b_0 \times (b_1^t))$

i) Distribuciones diamétricas.

De acuerdo a recomendaciones internacionales sobre normalización Rollet (1974), citado por Cardenas (1986), para permitir comparaciones con resultados de otros levantamientos, se ha fijado en el presente trabajo un intervalo de clase igual a 10 cm.

8.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La técnica de recolección de datos se efectuó a través del inventario forestal, para tal efecto se utilizó formatos de campo adaptados para el estudio, en donde se registraron datos dasométricos de cada árbol.

8.4. Técnica de presentación de resultados.

La presentación de los resultados finales se plasma en cuadros y figuras. En los cuadros se expone los estadígrafos, prueba de t de Student, resumen del modelo y estimaciones de los parámetros, alturas observadas y estimadas y el índice de valor de importancia; mientras que en las figuras se muestra el diagrama de barras para la altura promedio de árboles, diagramas de dispersión de alturas, modelos alométricos y ecuación logarítmica.

IX. RESULTADOS

9.1. Parámetros estadísticos de la altura de los árboles para el bosque de terraza media y al nivel micro estratificado del bosque.

El cuadro 3 muestra que la altura promedio de los árboles en el bosque primario fue de $14,9 \pm 5,2$ m con un coeficiente de variación del 34,8% y se han evaluado 1802 árboles, para el bosque secundario fue de $12,9 \pm 4,6$ m con un coeficiente de variación del 35,8% y se han evaluado 602 árboles; mientras en forma global la altura promedio para este tipo de bosque fue de $14,4 \pm 5,1$ m con un coeficiente de variación del 35,6% en 2404 árboles con $DAP \geq 10$ cm.

Cuadro 3. Valores de la altura promedio de árboles, desviación estándar, número de árboles evaluados y coeficientes de variación.

Estadígrafos	Bosque		
	Primario	Secundario	Global
Altura promedio	14,9	12,9	14,4
Desviación estándar	5,2	4,6	5,1
N	1802	602	2404
CV%	34,8	35,8	35,6

Cuadro 4. Prueba de t para la igualdad de medias de la altura entre tipos de bosques.

t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia
8,460	2402	,000	2,01667	,23836

El cuadro 4 muestra la prueba t de Student para las diferencias de los promedios de altura entre el bosque primario ($ht=14,9$ m) y secundario ($ht=12,9$) correspondiente a varianzas iguales tal como lo demuestra la prueba de Levene (Flevene=11,40, *p* significancia (α)=0,001). La prueba de t Student muestra que la

altura promedio de las poblaciones de árboles del bosque primario y secundario es estadísticamente diferente. La figura 2 muestra que la diferencia de altura entre tipos de bosques se produce a partir de los 90 cm de DAP, donde se han registrado árboles para el bosque primario y no para el bosque secundario.

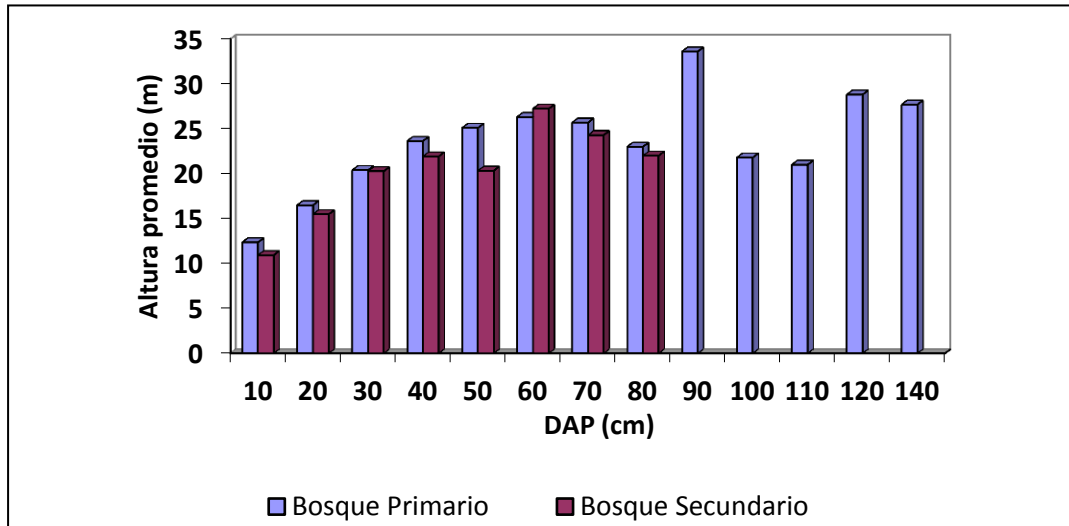


Figura 2. Diagrama de barras para la altura promedio de árboles entre tipos de bosques por clase diamétrica.

9.2. Diagramas de dispersión de la altura de los árboles para el bosque de terraza y al nivel micro estratificado del bosque de la carretera Iquitos Nauta.

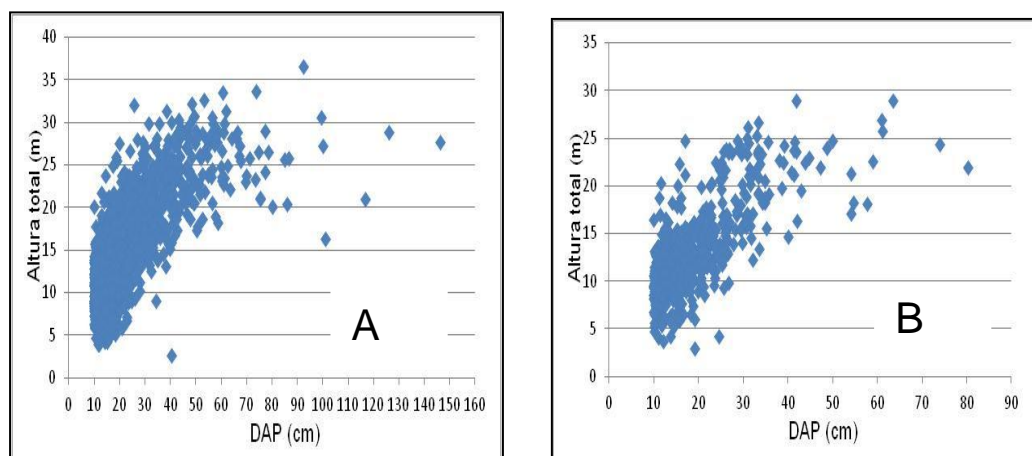


Figura 3. Diagrama de dispersión de las altura en función del DAP para un bosque primario y secundario.

Por la nube de puntos de los diagramas de dispersión de la altura en función del DAP presentadas en las figura 3 muestran que tanto para el bosque primario (A), bosque secundario (B) y el bosque de terraza media (Figura 4) los patrones de dispersión son similares.

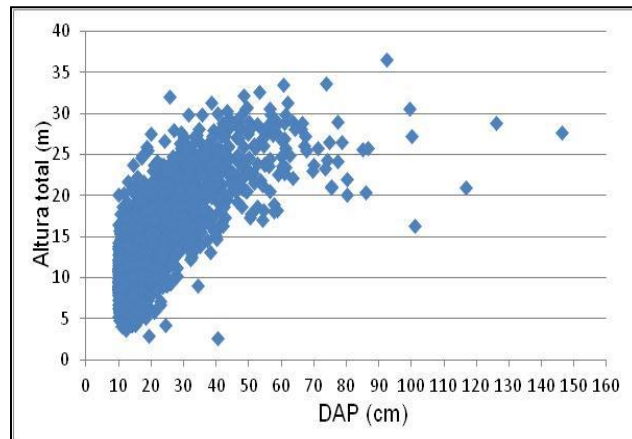


Figura 4. Diagrama de dispersión de las alturas en función del DAP para un bosque de terraza media.

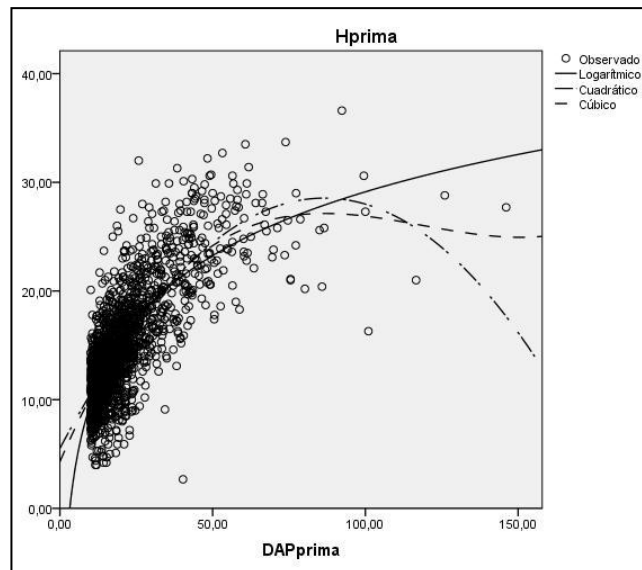


Figura 5. Diagrama de dispersión y modelos alométricos de las alturas en función del DAP para un bosque primario.

En las figuras 5, 6 y 7 se muestra los diagramas de dispersión de la altura y DAP incluyendo las mejores ecuaciones de regresión curvilínea que ajustan la altura y el dap de los árboles, como la logarítmica, la cuadrática y el modelo cúbico.

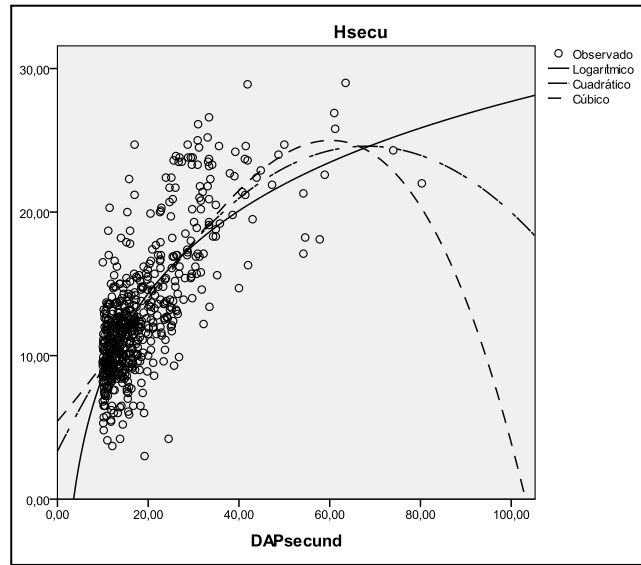


Figura 6. Diagrama de dispersión y modelos alométricos de las alturas en función del DAP para un bosque secundario.

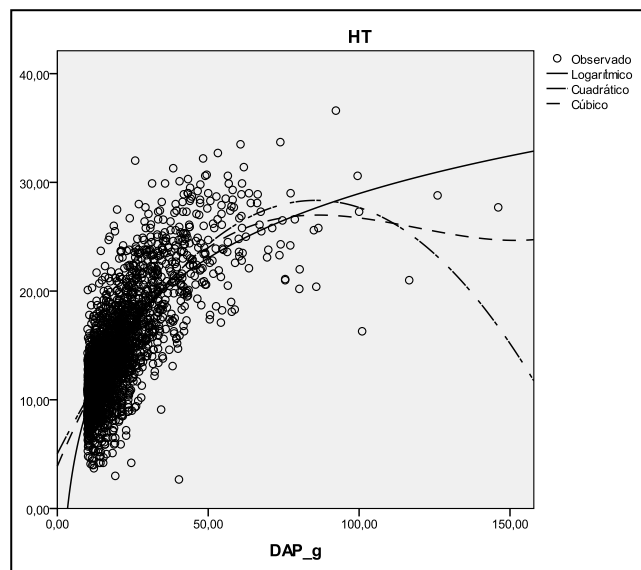


Figura 7. Diagrama de dispersión y modelos alométricos de las alturas en función del DAP para un bosque de terraza media.

En estas figuras se observa que el modelo cuadrático y el modelo cúbico muestran el mayor coeficiente de determinación (R^2), pero descarta estas ecuaciones por su tendencia que no describe el comportamiento natural de la especie. Pues el modelo cuadrático puede ser un buen predictor hasta los 90 cm, después las alturas disminuyen, esto no es el comportamiento de los árboles en la

naturaleza, tampoco es el cúbico por lo que se ha escogido como predictor válido el modelo logarítmico.

9.3. Modelos alométricos de la altura de los árboles para el bosque de terraza media y al nivel micro estratificado de la carretera Iquitos Nauta.

El cuadro 5 muestra los resultados de ajustar tres modelos de regresión para describir la relación entre las variables pronosticadas altura y DAP. La salida del SPSS 18 muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión logarítmica, cuadrática y cúbica para describir la relación entre altura y la variable independiente (DAP). Por las consideraciones técnicas y biológicas, la ecuación del modelo ajustado para el bosque primario es $\text{altura} = -9,937 + 8,483 \cdot \ln(\text{DAP})$ cuyo modelo alométrico se observa en la figura 8. Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,05, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R^2 indica que el modelo explica un 59,8% de la variabilidad en altura.

El Cuadro 6, muestra los resultados de ajustar tres modelos de regresión para describir la relación entre las variables pronosticadas altura y DAP. La salida del SPSS 18 muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión logarítmica, cuadrática y cúbica para describir la relación entre altura y la variable independiente (DAP). Por las consideraciones técnicas y biológicas, la ecuación del modelo ajustado para el bosque secundario es $\text{altura} = -10,584 + 8,315 \cdot \ln(\text{DAP})$ cuyo modelo alométrico se observa en la figura 9. Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,05, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R^2 indica que el modelo explica un 54,5% de la variabilidad en altura.

Cuadro 5. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque primario.

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Logarítmica	,592	2606,49	1	1800	,000	-9,937	8,483		
Cuadrático	,602	1358,25	2	1799	,000	5,516	,532	-,003	
Cúbico	,605	917,485	3	1798	,000	4,292	,652	-,006	1,666E-5

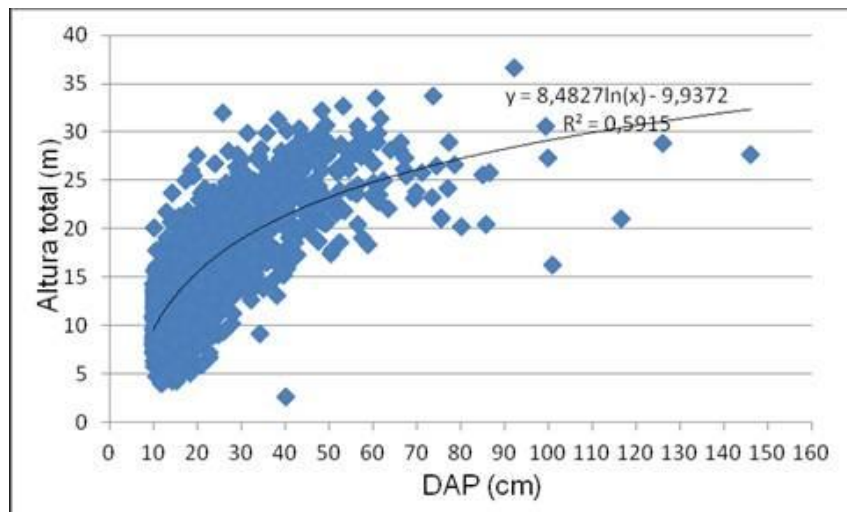


Figura 8. Diagrama de dispersión y ecuación logarítmica del modelo alométrico de las alturas en función del DAP para un bosque primario.

Cuadro 6. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque secundario.

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Logarítmica	,545	718,773	1	600	,000	-10,584	8,315		
Cuadrático	,564	386,673	2	599	,000	3,338	,623	-,005	
Cúbico	,567	261,114	3	598	,000	5,434	,364	,004	-7,892E-5

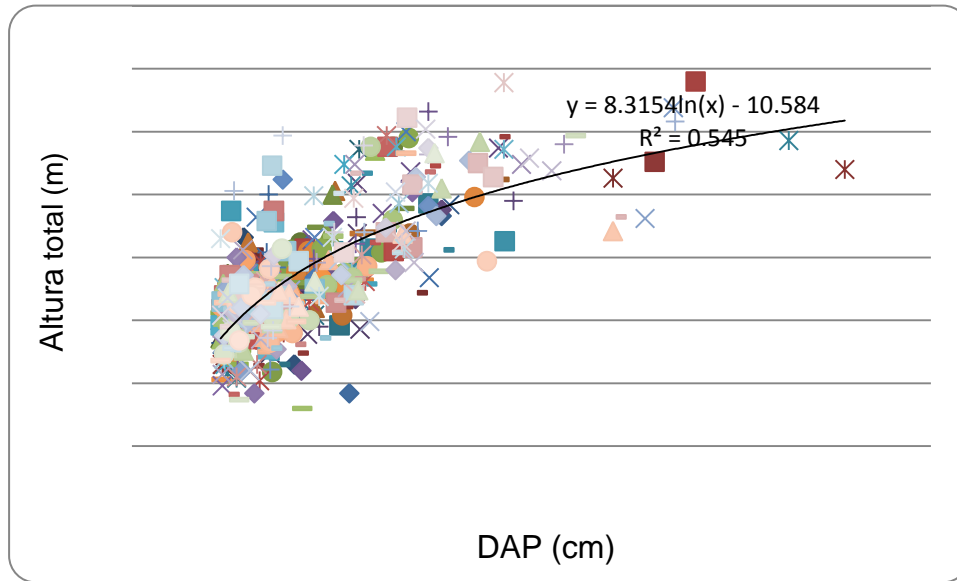


Figura 9. Diagrama de dispersión y ecuación logarítmica del modelo alométrico de las alturas en función del DAP para un bosque secundario.

Cuadro 7. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque de terraza media (global).

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Logarítmica	,585	3385,517	1	2402	,000	-10,427	8,555		
Cuadrático	,596	1767,572	2	2401	,000	5,040	,544	-,003	
Cúbico	,598	1192,314	3	2400	,000	3,889	,660	-,006	1,677E-5

El cuadro 7 muestra los resultados de ajustar tres modelos de regresión para describir la relación entre las variables pronosticadas altura y DAP. La salida del SPSS 18 muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión logarítmica, cuadrática y cúbica para describir la relación entre altura y la variable independiente (DAP). Por las consideración técnicas y biológicas, la ecuación del modelo ajustado para el bosque de terraza media es altura = -10,427 + 8,555*ln(DAP) cuyo modelo alométrico se observa en la figura 10. Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,05, existe relación estadísticamente

significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R^2 indica que el modelo explica un 58,5% de la variabilidad en altura.

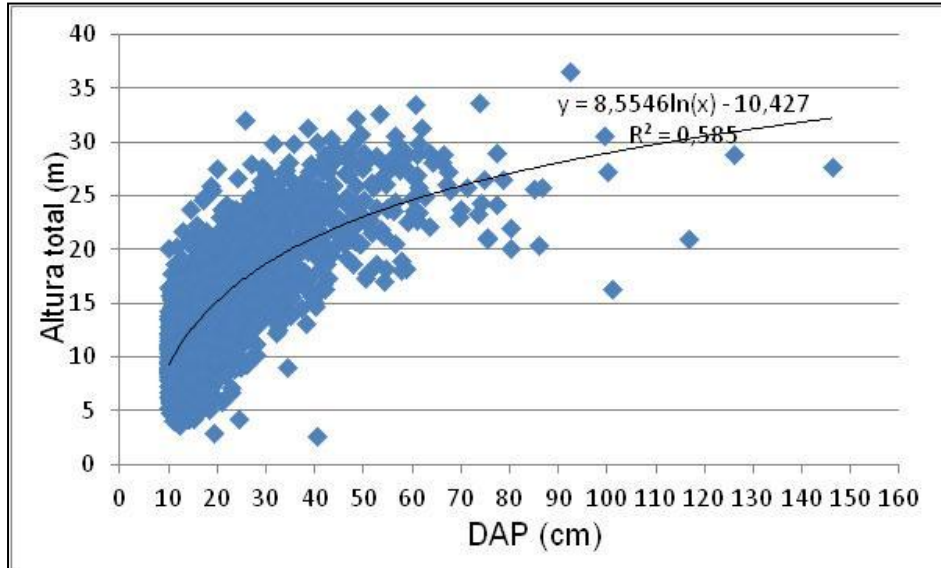


Figura 10. Diagrama de dispersión y ecuación logarítmica del modelo alométrico de las alturas en función del DAP para un bosque de terraza media.

Cuadro 8. Resumen del modelo alométrico ajustada a una ecuación del logarítmico altura=Constante+ln(DAP).

Bosque	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros	
	R^2	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
Primario	,592	2606,49	1	1800	,000	-9,937	8,483
Secundario	,545	718,773	1	600	,000	-10,584	8,315
Terraza media	,585	3385,52	1	2402	,000	-10,427	8,555

El cuadro 8 muestra los resultados de ajustar el modelo de regresión para describir la relación entre las variables pronosticadas altura y DAP, cuya salida del SPSS 18 corresponde al ajuste a un modelo de regresión logarítmica. El coeficiente de determinación para los tres escenarios planteados (primario, secundario o global), el valor del coeficiente varía entre 0,546 y 0,592. El p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,05, por lo que existe relación estadísticamente

significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R^2 indica que el modelo explica entre 54,6 a 59,2% de la variabilidad en altura. También se observa que el valor del coeficiente de regresión (b_1) varía muy poco entre los modelos (8,315 a 8,555).

Cuadro 9. Alturas observadas y estimadas con el modelo alométrico altura total=Constante+ln(DAP).

DAP	Altura total							
	Bosque primario				Bosque secundario			
	Primario	HT=-9,937+8,483ln(DAP)	HT=-10,584+8,315ln(DAP)	HT=-10,427+8,555ln(DAP)	Secundario	HT=-9,937+8,483ln(DAP)	HT=-10,584+8,315ln(DAP)	HT=-10,427+8,555ln(DAP)
10	12,4	12,4	11,3	12,1	10,9	12,1	11,0	11,8
20	16,5	16,9	15,7	16,6	15,5	17,1	15,9	16,8
30	20,4	20,0	18,8	19,8	20,3	19,7	18,5	19,5
40	23,6	22,2	20,9	22,0	21,9	21,9	20,7	21,7
50	25,1	23,9	22,6	23,7	20,3	24,0	22,7	23,8
60	26,3	25,3	23,9	25,1	27,2	25,1	23,7	24,9
70	25,7	26,7	25,3	26,5	24,3	26,6	25,2	26,4
80	23,0	27,7	26,3	27,5	22,0	27,3	25,9	27,1
90	33,6	28,8	27,4	28,6				
100	21,8	29,2	27,7	29,0				
110	21,0	30,4	29,0	30,3				
120	28,8	31,1	29,6	30,9				
140	27,7	32,3	30,9	32,2				
Promedio	14,9	14,9	13,8	14,7	12,9	14,0	12,9	13,8

En el cuadro 9 se observa que la altura promedio de los árboles del bosque primario fue de 14,9 m, la cual puede oscilar en $14,9 \pm 1$ m que corresponde al margen de error aceptado en inventarios forestales, por lo que las tres ecuaciones de los modelos alométricos pueden ser usados para estimar la altura de los

árboles, similar ocurre en la estimación de la altura de los árboles del bosque secundario ($12,9\pm 1m$), sin embargo el modelo global estimado para todo el bosque de terraza media sería el mejor $HT=-10,427+8,555*\ln(DAP)$, el ajuste más fuerte se ha producido a partir de la clase diamétrica de 50 cm, aumentando la altura. Producto de la estimación usando cualquiera de los modelos alométricos el coeficiente de variabilidad de la altura que estuvo alrededor de 35% disminuyó grandemente (Cuadro 10), cuyo impacto se refleja en el volumen de los árboles.

Cuadro 10. Estadígrafos de la altura observada y estimada con el modelo alométrico altura total=Constante+ln(DAP).

Estadígrafo	Altura bosque primario				Altura bosque secundario			
	Campo	M_p	M_s	M_g	Campo	M_p	M_s	M_g
Promedio	14,93	14,93	13,79	14,65	12,92	14,04	12,91	13,75
S	5,20	4,00	3,92	4,03	4,63	3,49	3,42	3,52
N	1802	1802	1802	1802	602	602	602	602
CV(%)	34,83	26,78	28,42	27,52	35,84	24,84	26,46	25,57

Campo=Altura evaluada en el campo

M_p= Altura estimada con el modelo alométrico $HT=-9,937+8,483*\ln(DAP)$

M_s= Altura estimada con el modelo alométrico $HT=-10,584+8,315*\ln(DAP)$

M_g= Altura estimada con el modelo alométrico $HT=-10,427+8,555*\ln(DAP)$

9.4. Modelos alométricos para estimar el volumen de los árboles para el bosque de terraza media y al nivel micro estratificado.

El cuadro 11 muestra los resultados de ajustar modelos de regresión para describir la relación entre las variables pronosticadas del volumen y DAP. La salida del SPSS 18 muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión cuadrática para describir la relación entre volumen y la variable independiente (DAP). La ecuación del modelo ajustado para el bosque de terraza media es $\text{volumen} = 0,0276-0,0151*DAP+0,0015*DAP^2$ cuyo modelo alométrico se observa en la figura 11. Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,05, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R^2 indica que el modelo explica un 96,8% de la

variabilidad en volumen, con un error típico de estimación para los residuos de 0,254 m³.

Cuadro 11. Modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque de terraza media (global).

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros		
	R ²	F	gl1	gl2	Sig.	b0	b1	b2
Cuadrático	0,968	35979,94	2	2401	,000	,028	-,015	,001

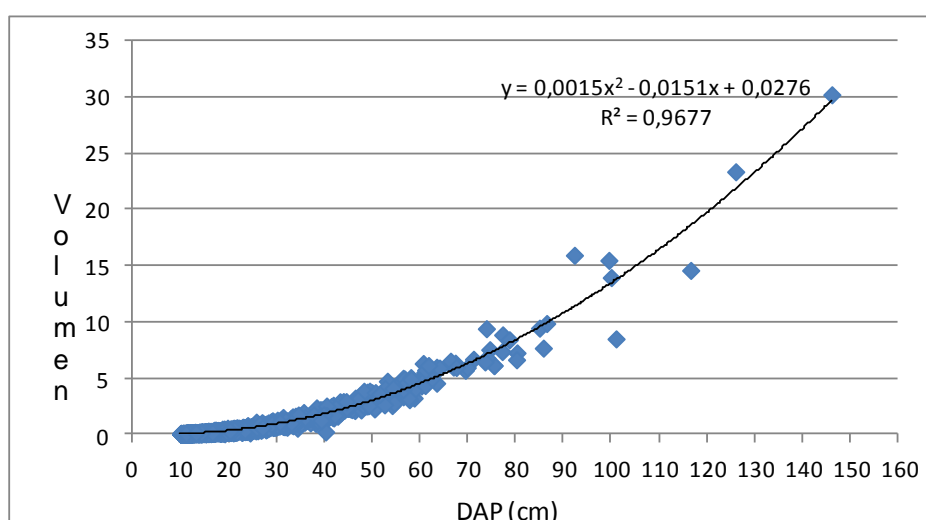


Figura 11. Diagrama de dispersión y modelo alométrico para el volumen de madera en función del DAP para un bosque de terraza media.

El impacto del ajuste de altura en el volumen se observa en el cuadro 12 donde el volumen real del bosque (Vha) calculado en 312 m³/ha, es similar al volumen estimado (312,9 m³/ha) usando alturas estimadas con el modelo alométrico (V g) cuya ecuación es $HT = -10,427 + 8,555 \cdot \ln(DAP)$ y también es similar cuando al volumen estimado (314,5 m³/ha) usando la ecuación del volumen (Vf(D)), volumen = $0,0276 - 0,0151 \cdot DAP + 0,0015 \cdot DAP^2$, aun cuando esta ecuación se use para estimar el volumen de madera a niveles de estratificación del bosque más detallada (bosque primario, bosque secundario).

Cuadro 12. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque de terraza media (global).

DAP	Bosque terraza media					Bosque primario				Bosque secundario			
	Vha	V_P	V_s	V_g	Vf(D)	Vha	V_P	V_s	V_g	Vha	V_P	V_s	V_g
10	44,4	46,4	42,4	45,3	42,0	44,1	44,9	41,1	43,8	45,5	51,5	47,0	50,2
20	54,2	56,1	52,2	55,2	59,2	54,5	55,5	51,7	54,7	53,1	57,8	53,9	57,0
30	49,9	48,9	45,9	48,3	51,7	50,5	49,6	46,6	49,0	47,7	46,5	43,6	45,9
40	51,2	48,3	45,5	47,8	49,9	58,6	54,9	51,7	54,4	26,1	26,1	24,6	25,9
50	32,1	31,6	29,8	31,3	31,8	36,3	34,6	32,7	34,3	18,1	21,6	20,4	21,4
60	27,7	26,6	25,2	26,4	26,1	31,4	30,3	28,7	30,0	15,5	14,2	13,5	14,1
70	16,4	17,1	16,2	17,0	16,4	19,3	20,1	19,1	20,0	6,6	7,2	6,8	7,1
80	9,1	11,0	10,4	10,9	10,3	9,7	11,6	11,0	11,6	7,0	8,7	8,2	8,6
90	7,0	6,0	5,7	6,0	5,5	9,1	7,8	7,4	7,8				
100	5,0	6,7	6,4	6,6	6,1	6,5	8,7	8,3	8,6				
110	3,2	4,7	4,5	4,7	4,1	4,2	6,1	5,8	6,1				
120	5,2	5,6	5,3	5,6	4,9	6,7	7,3	6,9	7,2				
140	6,7	7,8	7,5	7,8	6,6	8,7	10,2	9,7	10,1				
Total	312,0	316,7	297,0	312,9	314,5	339,6	341,5	320,6	337,6	219,7	233,5	217,9	230,2

9.5. Modelos alométricos para estimar el volumen de las especies más importantes determinados por el IVI.

Cuadro 13. Resumen del Índice de Valor de importancia (IVI) para las cinco especies más importantes por tipo de bosque.

Especie: Bosque secundario	N	G	Frecuencia	IVI	Orden
<i>Cecropia sciadophylla</i>	4,49	9,02	2,83	16,33	1
<i>Tapirira guianensis</i>	3,99	3,81	2,83	10,62	2
<i>Guatteria hyposericea</i>	2,16	4,00	1,82	7,98	3
<i>Astrocaryum murumuru</i>	2,66	1,64	1,82	6,11	4
<i>Ocotea longifolia</i>	2,99	1,98	1,01	5,98	5
Sub total	16,28	20,44	10,30	47,02	
Otras especies	83,72	79,56	89,70	252,98	
Total	100,00	100,00	100,00	300,00	
Especie: Bosque primario	N	G	Frecuencia	IVI	Orden
<i>Oenocarpus batahua</i>	3,50	2,69	2,33	8,52	1
<i>Virola pavonis</i>	2,28	2,57	1,75	6,60	2
<i>Micrandra spruceana</i>	1,72	2,99	1,49	6,21	3
<i>Taralea oppositifolia</i>	1,00	3,57	0,97	5,54	4
<i>Iryanthera juruensis</i>	2,22	1,16	1,69	5,06	5
Sub total	10,71	12,98	8,23	31,92	
Otras especies	89,29	87,02	91,77	268,08	
Total	100,00	100,00	100,00	300,00	

En el cuadro 13 se muestra cinco especies más importantes del bosque según su peso ecológico calculado con el método del índice de valor de importancia, la micro estratificación post campo permite diferenciar al bosque en primario y secundario. El secundario se caracteriza por la presencia de *cecropia*.

Cuadro 14. Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros para la variable dependiente altura, e independiente DAP del bosque de terraza media (global).

Bosque	R ²	b0	b1	b2
Primario	0,9649	-0,2067	0,0036	0,0013
Secundario	0,9556	0,0965	-0,0192	0,0015
Terraza media	0,9677	0,0276	-0,0151	0,0015

El cuadro 14 muestra los resultados de ajustar modelos de regresión para describir la relación entre las variables pronosticadas del volumen y DAP para las cuatro especies maderables más importantes según el IVI. La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión cuadrática para describir la relación entre volumen y la variable independiente (DAP). La ecuación del modelo ajustado para las cuatro especies más importantes del bosque primario es $\text{volumen} = -0,2067 + 0,0036 \cdot \text{DAP} + 0,0013 \cdot \text{DAP}^2$ cuyo modelo alométrico se observa en la figura 12. Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,05, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R² indica que el modelo explica un 96,49% de la variabilidad en volumen. Para el bosque secundario es $\text{volumen} = 0,0965 - 0,0192 \cdot \text{DAP} + 0,0015 \cdot \text{DAP}^2$ cuyo modelo alométrico se observa en la figura 13. El estadístico R² indica que el modelo explica un 95,56% de la variabilidad en volumen. Mientras que para el bosque de terraza media es $\text{volumen} = 0,0276 -$

$0,0151 \cdot \text{DAP} + 0,0015 \cdot \text{DAP}^2$ cuyo modelo alométrico se observa en la figura 11. El estadístico R^2 indica que el modelo explica un 96,8% de la variabilidad en volumen.

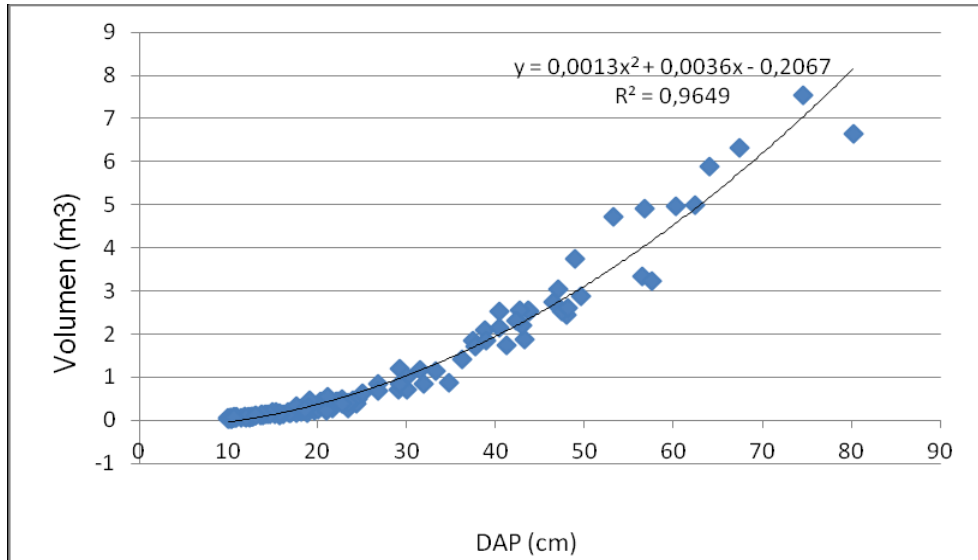


Figura 12. Diagrama de dispersión y modelo alométrico para el volumen de madera en función del DAP para cuatro especies más importantes del bosque primario.

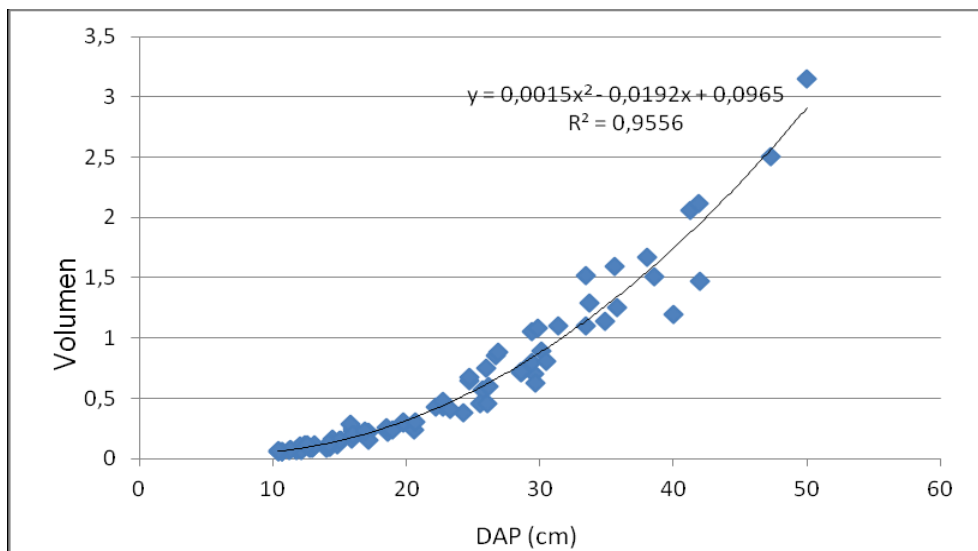


Figura 13. Diagrama de dispersión y modelo alométrico para el volumen de madera en función del DAP para cuatro especies más importantes del bosque secundario.

X. DISCUSIÓN

La altura promedio de los árboles mostrada en el cuadro 3 para el bosque primario de $14,9 \pm 5,2$ metros, para el bosque secundario de $12,9 \pm 4,6$ metros para el bosque de terraza media fue $14,4 \pm 5,1$; muestra variación de la altura entre árboles en un bosque, con la prueba de Levene se determinó que sus varianzas fueron similares ($F_{Levene}=11,40$, p significancia (α)=0,001). El contraste realizado con la prueba de t Student muestra que la altura promedio de las poblaciones de árboles del bosque primario y secundario es estadísticamente diferente, por lo que un bosque secundario a los 12 años no alcanza la altura de un bosque primario, principalmente porque en el bosque primario se registraron árboles con DAP superior a 90 cm, similar resultado encontró Vela (2012), trabajando en este bosque pero con menores unidades de muestreo. Estos resultados concuerdan con Alves y Santos (2002), cuando explican que dicha variación pudiera estar relacionada con cambios del tamaño dependientes de respuestas diferentes a la disponibilidad de luz y rasgos demográficos. Por otro lado, confirma que en las poblaciones de plantas es que los intervalos individuales de tamaño son muy amplios como resultado de la competencia asimétrica por la luz (Weiner *et al.* 2001) o por la distribución poco uniforme de otros recursos. Acompañando al gradiente del recurso luz en el ambiente, las plantas han desarrollado dos estrategias biológicas extremas básicas conocidas como esciofitismo o tolerancia a la sombra y heliofitismo o intolerancia a la sombra (Whitmore, 1991).

Por la nube de puntos de los diagramas de dispersión de la altura en función del DAP presentadas en la figura 3 A, B y figura 4, muestran patrones de dispersión similares, que se ajustan a un modelo alométrico del tipo $\text{altura} = \text{constante} + b_1 \cdot \ln(\text{DAP})$ que describe el comportamiento natural de la especie. El

DAP explica mucha de las variaciones en altura (Zeide y Vanderschaaf, 2002), y como resultado, la relación alométrica DAP-altura ha sido utilizada como uno de los factores en el estudio de la dinámica de crecimiento del bosque. Pero este estudio trabajado con hipsómetro laser muestra que es posible estimar la altura en función del DAP, en ese sentido discrepa con Alves y Santos (2002), quienes informaron que no es posible predecir las relaciones alométricas sólo por el tamaño de los árboles adultos y su posición en el dosel.

Por los resultados obtenidos con el SPSS 18 confirman que el modelo de regresión para describir la relación entre las variables pronosticadas altura y DAP, corresponde al ajuste a un modelo de regresión Logarítmica. El coeficiente de determinación para los tres escenarios planteados (primario, secundario, o global), el valor del coeficiente varía entre 0,546 y 0,592. El p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,05, por lo que existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R^2 indica que el modelo explica entre 54,6 a 59,2% de la variabilidad en altura. También se observa que el valor del coeficiente de regresión (b_1) varía muy poco entre los modelos (8,315 a 8,555).

La altura pronosticada con estos modelos para los árboles del bosque primario oscila en $14,9 \pm 1$ m que corresponde al margen de error aceptado en inventarios forestales por lo que las tres ecuaciones de los modelos alométricos pueden ser usados para estimar la altura de los árboles, similar ocurre en la estimación de la altura de los árboles del bosque secundario ($12,9 \pm 1$ m), sin embargo el modelo global estimado para todo el bosque de terraza media sería el mejor $HT = -10,427 + 8,555 * \ln(DAP)$, el ajuste más fuerte se ha producido a partir de la clase diamétrica de 50 cm, aumentando la altura. Producto de la estimación usando

cualquiera de los modelos alométricos el coeficiente de variabilidad de la altura que estuvo alrededor de 35% disminuyó grandemente (Cuadro 10), cuyo impacto se refleja en el volumen de los árboles. Por lo que se demuestra que aunque la altura de los árboles difieran al nivel de micro estratificación el modelo alométrico encontrado en este estudio es altamente eficiente; en ese sentido Delgado, *et al.* (2005), corrobora los resultados cuando afirman que las alometrías varían para los distintos grupos funcionales, revelando relaciones alométricas asociadas a las características de tolerancia a luz y altura máxima de las especies.

El ajuste a un modelo de regresión cuadrática (Cuadro 11) para describir la relación entre volumen y la variable DAP para el bosque de terraza media es $\text{volumen} = 0,0276 - 0,0151 * \text{DAP} + 0,0015 * \text{DAP}^2$. Este modelo explica un 96,8% de la variabilidad en volumen. El modelo de ecuación es muy simple, en ese sentido, mientras menor número de variables predictoras estén implicadas en un modelo, más apropiado es para ser usado; con muchas variables predictoras, el modelo se vuelve muy sensible a las relaciones entre ellas, especialmente, si algunas de esas variables están altamente correlacionadas (Alder, 1980) como ocurrió en este trabajo. Con lo que se confirma que un bosque no es simplemente una cantidad de madera si no una asociación de plantas vivas que puede y debe tratarse como una riqueza renovable (Loja, 2010). Por lo que la estimación de la altura es posible con el modelo alométrico usando como variable independiente el DAP del árbol, y porque según Loetsch (1973), el DAP es un parámetro esencialmente variable y tiene la ventaja de ser el parámetro más fácil de medir.

El impacto del ajuste de altura en el volumen se observa en el cuadro 12 donde el volumen real del bosque (V_{ha}) calculado en $312 \text{ m}^3/\text{ha}$, es similar al volumen estimado ($312,9 \text{ m}^3/\text{ha}$) usando alturas estimadas con el modelo alométrico (V_g)

cuya ecuación es $HT = -10,427 + 8,555 \cdot \ln(DAP)$ y también es similar cuando al volumen estimado ($314,5 \text{ m}^3/\text{ha}$) usando la ecuación del volumen ($V_f(D)$), $\text{volumen} = 0,0276 - 0,0151 \cdot DAP + 0,0015 \cdot DAP^2$, aun cuando esta ecuación se use para estimar el volumen de madera a niveles de estratificación del bosque más detallada (bosque primario, bosque secundario). Por esta razón, Husch (1963) y Harrison (1951), citado por Burga (1993), menciona que las alturas pueden estar más cercanamente relacionados al diámetro que es una de las medidas forestales más importantes para la organización de planes de ordenación y administración.

En cuanto a los modelos de regresión para describir la relación entre las variables pronosticadas del volumen y DAP para las cuatro especies maderables más importantes según el IVI. La ecuación del modelo ajustado para las cuatro especies más importantes del bosque primario es $\text{volumen} = -0,2067 + 0,0036 \cdot DAP + 0,0013 \cdot DAP^2$, que explica un 96,49% de la variabilidad en volumen. Para el bosque secundario es $\text{volumen} = 0,0965 - 0,0192 \cdot DAP + 0,0015 \cdot DAP^2$, que explica un 95,56% de la variabilidad en volumen. Mientras que para el bosque de terraza media es $\text{volumen} = 0,0276 - 0,0151 \cdot DAP + 0,0015 \cdot DAP^2$ que explica un 96,8% de la variabilidad en volumen. El DAP explica mucha de las variaciones en altura (Zeide y Vanderschaaf, 2002), y como resultado, la relación alométrica DAP-altura ha sido utilizada como uno de los factores en el estudio de la dinámica de crecimiento del bosque. Las ecuaciones alométricas que relacionan al DAP con otros atributos, como biomasa, volumen de carbono, entre otras son una importante y frecuente herramienta usada en investigaciones ecológicas (Martin *et al.* 1998).

XI. CONCLUSIONES

1. La altura promedio de los árboles para el bosque primario fue $14,9 \pm 5,2$ m, para el secundario $12,9 \pm 4,6$ m y para el bosque de terraza media fue $14,4 \pm 5,1$, estas alturas son estadísticamente diferentes.
2. Los diagramas de dispersión de la altura en función del DAP muestran patrones de dispersión similares, que se ajustan a un modelo alométrico del tipo logarítmico $\text{altura} = \text{constante} + b_1 \cdot \ln(\text{DAP})$ que describe el comportamiento natural de la especie.
3. El modelo de regresión para describir la relación entre las variables pronosticadas altura y DAP, corresponde al ajuste a un modelo de regresión Logarítmica. El coeficiente de determinación para los tres escenarios planteados (primario, secundario, o global), el valor del coeficiente varía entre 0,546 y 0,592. El estadístico R^2 indica que el modelo explica entre 54,6 a 59,2% de la variabilidad en altura.
4. La altura pronosticada con estos modelos para los árboles del bosque primario oscila en $14,9 \pm 1$ m que corresponde al margen de error aceptado en inventarios forestales.
5. El modelo alométrico para la estimación de la altura de los árboles del bosque primario oscila en $14,9 \pm 1$ m, para el bosque secundario es $12,9 \pm 1$ m, mientras que el modelo global estimado para todo el bosque de terraza media es $HT = -10,427 + 8,555 \cdot \ln(\text{DAP})$.
6. El ajuste a un modelo de regresión cuadrática para describir la relación entre volumen y la variable DAP para el bosque de terraza media el volumen =

$0,0276-0,0151*DAP+0,0015*DAP^2$ que explica un 96,8% de la variabilidad en volumen.

7. El impacto del ajuste de altura en el volumen real del bosque calculado es $312 \text{ m}^3/\text{ha}$, que es similar al volumen estimado ($312,9 \text{ m}^3/\text{ha}$) usando alturas estimadas con la ecuación $HT=-10,427+8,555*\ln(DAP)$ y también es análogo el volumen estimado ($314,5 \text{ m}^3/\text{ha}$) usando la ecuación $\text{volumen} = 0,0276-0,0151*DAP+0,0015*DAP^2$.

8. La ecuación del modelo ajustado para las cuatro especies más importantes del bosque primario según el IVI es $\text{volumen} = -0,2067+0,0036*DAP+0,0013*DAP^2$, que explica un 96,49% de la variabilidad en volumen. Para el bosque secundario el $\text{volumen} = 0,0965-0,0192*DAP+0,0015*DAP^2$, que explica un 95,56% de la variabilidad en volumen. Mientras que para el bosque de terraza media el $\text{volumen} = 0,0276-0,0151*DAP+0,0015*DAP^2$ que explica un 96,8% de la variabilidad en volumen.

XII. RECOMENDACIONES

1. Utilizar los siguientes modelos alométricos para describir la relación entre las variables altura y DAP porque presentaron mejor ajuste para un bosque primario (altura = $-9,937 + 8,483 \cdot \ln(\text{DAP})$), bosque secundario (altura = $-10,584 + 8,315 \cdot \ln(\text{DAP})$) y bosque de terraza media (altura = $-10,427 + 8,555 \cdot \ln(\text{DAP})$) en el área de estudio.
2. Utilizar el modelo de regresión cuadrática para describir la relación entre volumen y la variable independiente (DAP). (volumen = $0,0276 - 0,0151 \cdot \text{DAP} + 0,0015 \cdot \text{DAP}^2$) para el bosque de terraza media en el área de estudio.
3. Realizar estudios similares en otras zonas análogos con la finalidad de verificar y estandarizar los diferentes modelos alométricos que se ajustaron en el presente estudio.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott-Wood, C. 2002. Landscape forest modeling of the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Tesis. University of North Texas. Denton, Texas, EEUU. 158 p.
- Acevedo, M. F. 1980. Tropical rain forest dynamics: a simple mathematical model. En Furtado JI (Ed.) Tropical ecology and development. International Society of Tropical Ecology. Kuala Lumpur, Malasia. Pp. 219-227.
- Acevedo, M. F.; D. L. Urban. y M. Ablan. 1995. Transition and gap models of forest dynamics. Ecol. Applic. P. 5: 1040-1055.
- Alves, L. F. y F. A. Santos. 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. J. Trop. Ecol. 18: 245-260.
- Alder, D. 1980. "Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos". Vol 2: predicción del rendimiento. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes. Roma. 118 p.
- Alvarez, G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Tesis (Magíster Scientiae). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Escuela de Postgrado. en manejo y conservación de bosques naturales y biodiversidad. Turrialba, Costa Rica. 76 p.
- Barkman, J. 1979. The investigación of vegetati3n texture ant structure. In:M.J. Werger (ed). Tge study of vegetati3n:123-160. Junk. The Hague-Boston.
- Brunig, E. F. 1970. Stand styruclure physiognomy and environmental factors in some lowland forests in sarawak. Tropical ecology, Vol. 2. N° 1. 26-43 p.

- Budowski, G. 1985. Aspectos ecológicos del bosque húmedo. La conservación como instrumento para el desarrollo. San José, Costa Rica. UNED/MAG/USAID/FPN, 269-279 p.
- Burga, R. 1993. Determinación de la estructura total y por especie en tres tipos de bosques en Iquitos-Perú. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ingeniería Forestal. 126 p.
- Cardenas, V. L. 1986. Estudio ecológico y diagnóstico silvicultural de un bosque de terraza media en la llanura aluvial del río Nanay, amazonía peruana. Tesis (Magíster Scientiae). Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Dpto. de Recursos Naturales Renovables. Turrialba, Costa Rica. 133 p.
- Cascante, M. A. y A. Ch. Estrada. 1991. Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el valle central de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. Mar. Vol. 49. N° 1. p. 213-225.
- Cañadas, D.; C. García. y C. Montero. 1999. Relación alturas-diámetros para Pinus pinea en el sistema central. Congreso de ordenación y gestión sostenible de los montes. Santiago. P. 4-9.
- Davis, S. L. y K. N. Johnson. 1987. Forest Management". Third edition. McGraw-Hill. New York. 730 p.
- Delgado, L. A. 2000. Modelos de simulación de la dinámica del bosque tropical. Reserva Forestal Imataca. Sector central. Tesis. UNEG, Venezuela. 179 p.
- Delgado, L. A. F. M. Acevedo, H. Castellanos, H. Ramírez y J.Serrano. 2005. Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. 8 p.

- Di Rienzo, J. A. M. G. Balzarini.; F. Casanoves.; L. A. Tablada.; E. M. Diaz. y C. W. Robledo. 2001. Estadística para las ciencias agropecuarias. 4ta. Edición. Cordova Argentina. 322 p.
- FAO. 1974. Traducido por Knowles O.H. Levantamientos florestais realizados pela misao FAO na amazonía (1956-1961) GRAFISA. Belen Para Vol. 2. 705 p.
- Finegan. 1992. Bases ecológicas para la silvicultura. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Programa de producción y desarrollo agropecuario sostenido. Área de producción forestal y agroforestal. Proyecto silvicultura de bosques naturales. Turrialba, Costa Rica. P 96-120.
- Finol, H. 1974. Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. Rev. For. De Venezuela. 14(21):29-48.
- Fontes, L. M. 1999. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. Allometric patterns for tropical pioneer tree species. Scientia Forestalis 55: 79-87.
- Gayon, J. 2000. History of the concept of allometry. Am. Zool. 40: 748-758.
- Gomez, P. 1972. The tropical rain forest: a nonrenewable recurse. En: Science, V. 177. 762-765 p.
- Hawley, C. y M. Smith. 1972. Silvicultura práctica. Omega S.A. Barcelona. 544 p.
- Hawley, C. y M. Smith. 1980. La dinámica de los bosques neotropicales. San José de Costa Rica. Centro Científico Tropical. 27 p.
- Heinsdijk, D. Y A. Miranda. 1963. Inventarios florestais na amazonía. Irmaos Di Giargio Cí. Río de Janeiro. 100 p.

- Henry, H. A. y L. W. Aarssen. 1999 The interpretation of stem diameter-height allometry in trees: biomechanical constraints, neighbour effects or biased regression. *Ecol. Lett.* 2: 89-97.
- Hidalgo, J. 1982. Evaluación estructural de un bosque húmedo tropical en Requena-Perú. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos-Perú. 146 p.
- Husch, B. 1963. *Ecología*. Centro Científico Tropical. 159 p.
- Husch, B. 1971. Planificación de un inventario forestal. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 335 p.
- Huxley, J. S. 1932. *Problems of Relative Growth*. Methuen, Londres, RU. 276 pp.
- Israel, G. 2004. conflict refers to the series of battles between Palestinian militants and the Israel Defense Forces.
- King, D. A. 1990. Allometry of saplings and understory trees of a Panamanian forest. *Functional Ecol.* 4: 27-32.
- King, D. A. 1996. Allometry and life history of tropical trees. *J. Tropical Ecol.* 12: 25-44.
- Klepac, D. 1983. "Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales". Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 365 p.
- Lamprecht, H. 1962. Ensayo sobre unos métodos para el análisis estructural de los bosques tropicales. *Acta científica venezolana.* 13 (2): 57-65 p.
- Lamprecht, H. 1964. Ensayo sobre la estructura florística de la parte sur-oriental del bosque universitario El caimital. *Rev. For. Venezolana.* 7 (10-11): 77-119 p.
- Lagos, R. O. J. y B. S. S. Vanegas. 2003. Impacto del aprovechamiento forestal de la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quezada, río San

- Juan. Tesis. Universidad Centroamericana. Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Departamento de Ciencias Ambientales. Managua, Nicaragua. 108 p.
- Leite, F. M. A. 1999. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. *Scientia Forestalis* 55: 79-87.
- Lindorf, H., L. de Parisca y P. Rodríguez. 1991. Botánica, clasificación, estructura y reproducción. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Loetsch, F. 1973. Forest inventory. Manchen. BLV. 2. 469 p.
- Loja, W. 2010. Potencial maderable de un bosque de colina baja del censo forestal de la comunidad nativa San Antonio, río Pintuyacu-Alto Nanay, Loreto, Perú. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Iquitos, Perú. 54 p.
- López, A. J. L., J. I. Valdez, H., T. Terrazas y J. R. Valdez, L. 2006. Crecimiento endiámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40 (1):139-147.31Madera
- López, M. D; P. L. Soto; F. G. Jiménez y S. D. Hernández. 2003. Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de acacia pennatula y guazuma ulmifolia en dos comunidades del norte de Chiapas, México. *Interciencia*. Caracas, Venezuela. P. 334-339.
- Macedo, J. F. 2010. Tamaño óptimo de la unidad de muestreo para inventarios forestales en la comunidad campesina de Tres Unidos, Distrito del Alto Nanay. Región Loreto. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. 49 p.
- Malleux, J. 1982. Inventario forestal en bosques tropicales. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 414 p.

- Malleux, J. y E. Montenegro. 1971. Manual de dasimetría. UNA. La Molina. FAO. Lima. 216 p.
- Marmillod, D. 1982. Methodik und Ergebnisse von Untersuchungen über Zusammensetzung und Aufbau eines Torfmoos in peruanischen Amazonien. Dissert. Der forest. FECD. Univ. Göttingen. 198 p.
- Martin J. G.; B. D. Kloeppel.; T. L. Schaefer.; D. L. Kimbler y S. G. McNulty. 1998. Aboveground biomass and nitrogen allocation of ten deciduous southern Appalachian tree species. Can. J. Forest Res. 28: 1648-1659.
- Molles, C. M. 2006. Ecología. Conceptos y aplicaciones. España. 671 p.
- Moscovich, A.; H. Keller.; R. Martiarena.; R. Fernandez y A. Borhen. 2003. Determinación del tamaño óptimo de parcelas para estudios de composición florística de selva y forestaciones de coníferas de la provincia de Misiones, Argentina. Décimas jornadas técnicas forestales y ambientales. Facultad de Ciencias Forestales. 9 p.
- Niklas, K. J. 1994. The scaling of plant and animal body mass, length and diameter. Evolution 48: 44-54.
- Niklas, K. J. y B. J. Enquist. 2002. On the vegetative biomass partitioning of seed plant leaves, stems, and roots. Am. Naturalist 159: 482-497.
- Ojeda, W. 1974. Estudio de la curva exponencial de distribución de frecuencias por clases diamétricas en bosques tropicales. Tesis Ingeniero Forestal. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 95 p.
- Orozco, L. y C. Brumer. 2002. Medición y cálculo de bosque. Inventario forestal para bosques latifoliados en América Central. Serie técnica (CATIE) N° 50 Turrialba (Costa Rica), 35-68 p.

- O'Brien, S. T.; S. P. Hubbell.; P. Spiro.; R. Condit y R. B. Foster. 1995. Diameter, height, crown and age relationships in eight neotropical tree species. *Ecology* 76: 1926-1939.
- Pandolfi, C. 1974. Estudios básicos para establecimientos de una política de desenvolvimiento dos recursos florestais e de uso racional dos terras da amazonía. Ministerio de Interior Belem Sudam. 57 p.
- Pelagio, M. 1975. Estudio de la distribución de frecuencias por clases diamétricas de 26 grupos de especies forestales del bosque nacional Alexander Von Humboldt-Pucallpa. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 173 p.
- Perez, D. 2001. Inventario forestal con fines de valorización en la carretera nautalquitos. Artículo Científico. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ingeniería Forestal. 21 p.
- Pinazo, M. A.; Gasparri, N. I.; Goya, J. F.; y Arturo, M. F. 2003. Caracterización estructural de un bosque de podocarpus parlatorei y juglans australiz en Salta, Argentina. Laboratorio de investigaciones en sistemas ecológicos y ambientales. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad nacional de la Plata. *Rev. Biol. Trop.* 51(2):361-368. 8 p.
- Posada, S. L.; M. S. Zoot. y R. Rosero. 2007. Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.* 20: 141-148.
- Quirós, B. K. y M. R. Quesada. 2003. Composición florística y estructural de un bosque primario. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 15 p.

- Rangel, O. y A. Velásquez. 1997. Métodos de estudio de la vegetación. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. P. 59-87
- Ramírez M. H. y M. B. Zepeda. 1994. "Rendimientos maderables de especies forestales; actualidades en México". In: IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. SF y de FS/INIFAP. México, D.F. s/p.
- Regalado, M. A., R. E. Peralta. y R. C. A. González. 2005. Como hacer un modelo matemático. 18 p.
- Segura, M. y H. J. Andrade. 2008. Como construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes. ¿Cómo hacerlo? Agroforestería en las Américas. N° 46. pag. 89-96.
- Swaine, M. D. y T. C. Whitmore. 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forest. *Vegetation*. p.75: 81-86.
- Tello, R. 1995. Caracterización ecológica por el método de los sextantes de la vegetación arbórea de un bosque tipo varillal de la zona de Puerto Almendras. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Iquitos-Perú. 104 p.
- Tello, E. R. 2008. Estructura, composición, crecimiento y potencial del bosque aluvial del río Nanay, con fines de manejo sostenible 2007-2008. Tesis (Doctorado). Universidad Nacional de Trujillo. 1-115p
- Thompson, D. W. 1917. *On Growth and Form*. Cambridge University Press. Cambridge, RU.
- Torres, S. F. C. 2010. Potencial volumétrico de especies de importancia económica en la parcela de corta anual N° 2 del bosque de producción del Mayoruna con fines de extracción, Loreto-Perú. Tesis (Ingeniero Forestal).

- Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. 103 p.
- Tovar, A. 2000. Diccionario ecológico, forestal, ambiental, recursos naturales y conservación. CONCYTEC. Lima-Perú. 320 p.
- Tyler, G. M. 1992. Ecología y medio ambiente. Introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta tierra. México. 867 p.
- UNESCO/PNUMA/FAO. 1980. Ecosistemas de los bosques tropicales. Informe sobre el estado de conocimiento. XIV España. 771 p.
- Vanclay, J. K., 1994. Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests. CAB International, Wallingford, U.K
- Villanueva, A. G. 1984. Inventario forestal de los bosques de San Juan del Ojeal-Río Amazonas. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos-Peru. 48 p.
- Villacorta, S. F. 2011. Relación de la abundancia y estructura diamétrica en tres tipos de bosque y especies más importantes en la cuenca media del río arabela, Loreto-Perú. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. 99p.
- Wabo, E. 2003. Inventarios forestales. Consultor forestal. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 23 p.
- Watzlawick, L. F; C. R. Sanquetta; A. A. De Mello. 2001. Ecuaciones de biomasa aérea en plantaciones de Araucaria angustifolia en el sur del estado de Paraná, Brasil. Simposio "Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales". Valdivia, Universidad Austral de Chile, 10 p.

- Weiner, J.; P. Stoll.; H. Müller-Landau.; A. Jansentulyan.; E. Müller. y T. Hara. 2001. Spatial pattern, competitive symmetry and size variability in a spatially-explicit, individual-based plant competition model. *Am. Naturalist* 158: 438-450.
- Whitmore, T. C. 1991. Tropical rain forest dynamics and its implications for management. En Gómez-Pompa A, Whitmore TC, Hadley M (Eds.) *Rain forest regeneration and management*. UNESCO. París, Francia. p. 667-689.
- Zeide B. y C. Vanderschaaf. 2002. The effect of density on the height-diameter relationship. En Outcalt KW (Ed.) *Proceedings of the eleventh biennial southern silvicultural research conference*. Gen. Tech. Rep. SRS-48. USDA. Asheville, NC, EEUU. pp. 463-466.
- [tp://culturayarteperuano.blogspot.com/2009/09/apurimacgran-orador_22.html](http://culturayarteperuano.blogspot.com/2009/09/apurimacgran-orador_22.html).
(http://www.investigacion-operaciones.com/Metodologia_IO.htm).
(<http://jemarcano.tripod.com/tipos/index.html>).

A N E X O

