

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**ÁREA FOLIAR Y DENSIDAD BÁSICA EN  
RAMAS DE ESPECIES ARBÓREAS EN  
GRADIENTES ALTITUDINALES, DE UN  
BOSQUE HÚMEDO TROPICAL EN HUÁNUCO**

Presentado por:

**Humberto Zelada Gárate**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL

---

Lima - Perú  
2018

## *DEDICATORIA*

*Para mi Mamama;*

*por enseñarme el valor del trabajo y el esfuerzo.*

*Y para mi Papapa;*

*por enseñarme a amar la naturaleza.*



## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecer a todas las personas que me acompañaron en el desarrollo de ésta investigación:*

*Un enorme agradecimiento al Dr. Carlos Reynel, Patrocinador de esta Tesis, quien, desde un comienzo con su apoyo y disposición, supo encausarme en la conclusión de esta interesante investigación. Quedo enormemente agradecido por la sabiduría y paciencia compartida hacia este trabajo.*

*A Carlos Vásquez (Don Moro) y a su hermosa familia del Área de Conservación Privada Panguana, quienes me brindaron su gran hospitalidad; así como también, a los porteadores que me acompañaron en la expedición dentro de la Reserva Comunal El Sira para obtener tan buenas muestras.*

*A mi hermosa familia: Claudia, Matías, Valentina, Humberto (papá) y en especial a mi hermosa madre (Genoveva Gárate); por la enorme paciencia y cariño que me brindaron desde siempre para alcanzar mis metas.*

*A Viviana Horna, Armin Niessner, Diego Grados y Aldo Meza; por su apoyo y colaboración científica en la elaboración de la metodología y resultados del trabajo.*

*Un agradecimiento especial a un gran amigo y mentor, Jamil Alca; por alentarme a que no me rinda y siempre darme ánimos para ser un gran profesional.*

*Finalmente, quiero mencionar a mis mascotas: Zeus y Athenea, porque gracias a su compañía y ocurrencias me alegraron los momentos de elaboración de esta investigación.*

## *RESUMEN*

Debido a los efectos que el cambio climático puede generar en la diversidad vegetal de los bosques tropicales húmedos; es necesario contar con información ecofisiológica de las diferentes especies arbóreas que ahí habitan. En este trabajo se estimaron tres rasgos funcionales: área foliar (AF) ( $m^2$ ), área foliar específica (AFE) ( $cm^2/g$ ) y densidad básica (DB) ( $g/cm^3$ ); en individuos arbóreos de cinco tipos de bosque tropical húmedo a lo largo de un gradiente altitudinal en Yuyapichis, Huánuco; a fin de contribuir al conocimiento de la ecolofisiología vegetal de la localidad estudiada. Se colectó una rama por cada árbol para estimar los tres rasgos funcionales. La estimación del área foliar se hizo con un muestreo destructivo de hojas y usando imágenes fotográficas para su procesamiento con el software R Studio. El área foliar específica se calculó obteniendo el peso seco de las hojas utilizadas en la estimación del área foliar. Para la densidad básica, se utilizaron dos segmentos de la rama colectada y se obtuvo su peso seco para luego hallar su volumen con el método de Arquímedes. Éstas colectas se hicieron en parcelas permanentes de 1 ha instaladas en cada tipo de bosque del transecto altitudinal. Estos son: (1) bosque húmedo de llanura amazónica, (2) bosque húmedo pre montano, (3) bosque húmedo montano no nublado, (4) bosque húmedo montano nublado, (5) bosque montano esclerófilo. El valor promedio encontrado para cada tipo de bosque fue de: (1)  $AF=23.83 m^2$ ,  $AFE=119.71 cm^2/g$ ,  $DB=0.50 g/cm^3$ ; (2)  $AF=21.97 m^2$ ,  $AFE=102.35 cm^2/g$ ,  $DB=0.49 g/cm^3$ ; (3)  $AF=13.06 m^2$ ,  $AFE=143.49 cm^2/g$ ,  $DB=0.42 g/cm^3$ ; (4)  $AF=18.13 m^2$ ,  $AFE=85.66 cm^2/g$ ,  $DB=0.37 g/cm^3$ ; (5)  $AF=8.74 m^2$ ,  $AFE=86.83 cm^2/g$ ,  $DB=0.42 g/cm^3$ . Se encontró, que conforme ascendemos en la gradiente, este valor promedio disminuye. Los resultados obtenidos aportan criterios que contribuyen al conocimiento de la ecofisiología vegetal en gradientes altitudinales del Perú.

Palabras clave: ecología vegetal, fisiología vegetal, cambio climático, morfología vegetal, biomasa, zonas protegidas.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>I. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>II. Revisión de Literatura .....</b>	<b>3</b>
<b>1. El cambio climático y los bosques tropicales.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Gradientes altitudinales en los bosques tropicales húmedos .....</b>	<b>4</b>
2.1. Efectos del gradiente altitudinal en las plantas .....	4
<b>3. Los factores ecológicos y su relación con la altitud.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Los rasgos funcionales .....</b>	<b>6</b>
4.1. El área foliar .....	6
4.1.1. Métodos de medición del área foliar.....	7
4.2. El área foliar específica.....	8
4.3. La densidad básica.....	8
4.3.1. Variación de la densidad básica .....	8
4.3.2. Métodos de medición de la densidad básica.....	9
<b>5. Importancia de estudios o experiencias en ecofisiología vegetal.....</b>	<b>10</b>
<b>6. Nivel de referencia previo sobre los rasgos funcionales en ecosistemas tropicales</b>	<b>11</b>
6.1. Área foliar y área foliar específica .....	11
6.2. Densidad básica.....	11
<b>7. Parcelas permanentes establecidas en el transecto altitudinal Yuyapichis.....</b>	<b>13</b>
<b>III. Materiales y Métodos .....</b>	<b>14</b>
<b>1. Características del área de estudio.....</b>	<b>14</b>
1.1. Ubicación.....	14
1.1.1. Ubicación política.....	14
1.1.2. Ubicación geográfica .....	16
1.2. Aspectos físicos .....	16
1.2.1. Clima.....	16
1.2.2. La topografía y el suelo .....	18
1.2.3. Vegetación .....	19
1.2.4. Zonas de vida .....	20
<b>2. Antecedentes de los tipos de bosques a estudiar.....</b>	<b>20</b>
2.1. Bosque húmedo de llanura amazónica .....	22
2.2. Bosque húmedo pre montano.....	22
2.3. Bosque húmedo montano no nublado .....	22
2.4. Bosque húmedo montano nublado.....	22
2.5. Bosque húmedo montano esclerófilo .....	22
<b>3. Características de la población y la muestra evaluada.....</b>	<b>23</b>
<b>4. Medición del área foliar y del área foliar específica .....</b>	<b>24</b>
4.1. Colección de muestras .....	24
4.2. Estimación del área foliar.....	25
4.3. Estimación del área foliar específica.....	26
<b>5. Medición de la densidad básica.....</b>	<b>27</b>
5.1. Colección de muestras .....	27
5.2. Estimación de la densidad básica .....	29
<b>6. Procesamientos estadístico .....</b>	<b>30</b>
<b>IV. Resultados y discusión .....</b>	<b>31</b>
<b>1. Individuos evaluados en el gradiente altitudinal .....</b>	<b>31</b>

<b>2.</b>	<b>Descripción de los rasgos funcionales a lo largo del gradiente altitudinal.....</b>	<b>32</b>
2.1.	Descripción cualitativa .....	32
2.2.	Descripción cuantitativa .....	32
<b>3.</b>	<b>Análisis del valor promedio de los rasgos funcionales según tipo de bosque .....</b>	<b>34</b>
3.1.	Área foliar.....	34
3.2.	Área foliar específica.....	35
3.3.	Densidad básica.....	36
<b>4.</b>	<b>Precisión en las estimaciones de los rasgos funcionales según tipo de bosque .....</b>	<b>38</b>
4.1.	Coeficiente de variación .....	38
4.1.1.	Área foliar .....	38
4.1.2.	Área foliar específica.....	39
4.1.3.	Densidad básica .....	39
4.2.	Diagramas de cajas .....	40
<b>5.</b>	<b>Interpretación ecológica de los rasgos funcionales en el transecto altitudinal</b>	
	<b>Yuyapichis .....</b>	<b>41</b>
5.1.	Consideraciones aplicativas .....	41
<b>V.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>43</b>
<b>VI.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>45</b>
<b>VII.</b>	<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>47</b>
<b>VIII.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>53</b>

## *Índice de tablas*

	Página
Tabla 1: Parcelas de 1 ha establecidas en los diferentes estratos (dap = 10 cm) en el ámbito del transecto altitudinal Yuyapichis – Reserva Comunal El Sira (Huánuco). .....	13
Tabla 2: Características de la topografía en el gradiente según tipo de bosque.....	19
Tabla 3: Zonas de vida en el gradiente altitudinal para los diferentes tipos de bosque.....	20
Tabla 4: Tipos de bosques para el presente estudio.....	21
Tabla 5: Tamaño de la población y la muestra según tipo de bosque.....	23
Tabla 6: Variación del valor promedio de los rasgos funcionales según las condiciones climáticas a lo largo del gradiente altitudinal .....	32
Tabla 7: Promedio de los principales estadísticos para los rasgos funcionales en la gradiente altitudinal .....	33

## Índice de figuras

	Página
Figura 1: Mapa de ubicación de las parcelas permanentes en el Transecto Altitudinal Yuyapichis. ....	15
Figura 2: Perfil del Transecto Altitudinal Yuyapichis y su relación con las condiciones climáticas. ....	17
Figura 3: Variación de la temperatura y precipitación promedio anual en el periodo 2010 – 2012, para la gradiente. ....	18
Figura 4: Secuencia de estimación del área foliar y el área foliar específica para las especies arbóreas en el gradiente altitudinal. ....	24
Figura 5: Bosquejo de rama colectada por cada árbol en el gradiente altitudinal. ....	25
Figura 6: Fotografía utilizada para la estimación del área foliar. ....	26
Figura 7: Secuencia de la estimación de la densidad básica para las especies arbóreas en el gradiente altitudinal. ....	27
Figura 8: Bosquejo de los segmentos de rama colectados para el cálculo de la densidad básica. ....	28
Figura 9: Segmentos de ramas utilizados en la estimación de la densidad básica. ....	28
Figura 10: Proceso de obtención y procesamiento de los principales cálculos en los atributos de los rasgos funcionales. ....	30
Figura 11: Distribución del número y porcentaje de individuos según tipo de bosque. ....	31
Figura 12: Valor promedio del área foliar según tipo de bosque para el gradiente altitudinal. ....	34
Figura 13: Valor promedio del área foliar específica según tipo de bosque para el gradiente altitudinal. ....	35
Figura 14: Valor promedio de la densidad básica según tipo de bosque para la gradiente altitudinal. ....	36
Figura 15: Distribución del coeficiente de variación de los rasgos funcionales en los diferentes bosques de la gradiente altitudinal. ....	38

## *Índice de anexos*

	Página
Anexo 1 Resumen comparativo de las parcelas estudiadas.....	53
Anexo 2 Lista de árboles evaluados en el gradiente.....	54
Anexo 3 Estimación del área foliar, área foliar específica y densidad básica .....	56
Anexo 4 Descripción general de los resultados para los árboles evaluados .....	65
Anexo 5 Parámetros estadísticos para las variables de estudio .....	67
Anexo 6 Correlaciones para las variables de estudio .....	69
Anexo 7 Diagramas de cajas para el área foliar, área foliar específica y la densidad básica de la madera.....	70
Anexo 8 Resumen fotográfico del trabajo en campo .....	72
Anexo 9 Perfil de las parcelas en el bosque pre-montano, montano, nublado y esclerófilo .....	74
Anexo 10 Mapa ecológico de la Reserva Comunal El Sira .....	76
Anexo 11 Mapa del área de estudio .....	77

## I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas tropicales de montaña están teniendo mayor interés debido a la alta diversidad biológica que presentan (Lomolino 2001) y cobrando en la actualidad mayor importancia al considerar que el cambio climático los afectará de manera especial. Asimismo, la gran diversidad de especies arbóreas de los bosques tropicales se relaciona con la diversidad de arquitecturas, tamaños y morfologías de éstas, por lo que se esperaría encontrar una amplia diversidad fisiológica (Andrade 2005).

Pardos (2004) señala que el ámbito de estudio de la ecofisiología vegetal es la interacción de las plantas con el ambiente; además, menciona que uno de los actuales cuestionamientos de ésta ciencia es el cómo responden las especies leñosas que habitan en gradientes altitudinales bajo escenarios de calentamiento global.

Los científicos consideran los gradientes altitudinales como “experimentos naturales” donde se pueden analizar las respuestas de los organismos a las variaciones impuestas por el ambiente teniendo una interacción de la arquitectura de las plantas, la topografía y la exposición al bioclima que afectan la fisiología de las plantas (Premoli y Mathiasen 2011). Esas respuestas, bajo la forma de características morfológicas de un organismo, se denominan rasgos funcionales (Cornelissen *et al.* 2003); siendo el rasgo funcional un carácter relevante ecológicamente utilizado para comprender y explicar la relación de una planta con su entorno biótico y abiótico (Violle *et al.* 2007).

De esta manera tenemos rasgos de hojas (área foliar, área foliar específica, contenido de materia seca, fuerza tensil, N, P) y rasgos de tallos (densidad básica de madera, altura máxima) (Cornelissen *et al.* 2003); como rasgos o características morfo-fisio-fenológicas que impactan directamente en la capacidad de adaptación de la planta (Violle *et al.* 2007).

Especialistas de todo el mundo advierten que los rápidos cambios en el clima están deteriorando los espacios naturales protegidos resultando principalmente en la pérdida de especies raras o amenazadas y movimientos de especies fuera de sus fronteras (Bermeo 2010). He ahí la importancia de la elección del espacio donde se realizó el presente trabajo

ya que se han venido realizando aportes científicos como parte de una red de monitoreo sobre la magnitud de los impactos del cambio climático al área natural protegida: Reserva Comunal El Sira (Proyecto CoGAP y SERNANP 2014).

El Transecto Altitudinal Yuyapichis (TAY) se ubica dentro de la Reserva Comunal El Sira (RCS) a lo largo de un gradiente con cinco pisos altitudinales, siendo cada piso, un tipo de bosque característico donde existe poco conocimiento sobre la ecofisiología de las especies arbóreas. Es por ello que haber realizado ésta investigación ecofisiológica, basada en rasgos funcionales, puede proporcionar un avance para el entendimiento, discusión de criterios y aplicaciones sobre la respuesta de la vegetación a factores ambientales en el gradiente altitudinal (Cornelissen *et al.* 2003). Además, en esta zona son casi nulos los estudios sobre la temática.

El objetivo general del presente estudio es contribuir al conocimiento de la ecología y fisiología de diferentes especies arbóreas pertenecientes a bosques ubicados en un gradiente altitudinal de 2000 metros en la Reserva Comunal El Sira, considerándose los siguientes objetivos específicos:

- Estimar el área foliar y calcular el área foliar específica de diferentes especies arbóreas en 05 parcelas permanentes del Transecto Altitudinal Yuyapichis, entre los 250 – 2250 msnm.
- Calcular la densidad básica de la madera de diferentes especies arbóreas en 05 parcelas permanentes del Transecto Altitudinal Yuyapichis, entre los 250 – 2250 msnm.
- Realizar un estudio estadístico descriptivo para los tres rasgos funcionales e interpretar la información obtenida en la perspectiva de la ecología de estos bosques, su manejo y conservación.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS BOSQUES TROPICALES**

Los bosques tropicales representan el 7 por ciento de la superficie del planeta, pero albergan más de la mitad de la riqueza mundial de especies vegetales (Wilson 1988). La diversidad de especies arbóreas en estos bosques puede ser de cientos en áreas muy pequeñas donde no existen especies dominantes. Basándose en esta diversidad de especies, arquitecturas y morfologías, se esperaría encontrar también una amplia diversidad fisiológica (Andrade 2005).

Una de las principales amenazas tanto a la biodiversidad de especies vegetales como a los ecosistemas son los efectos del cambio climático. Para Bermeo (2010), los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad ya están siendo observados en un amplio rango de ecosistemas, entre ellos el bosque tropical.

Se espera que, a consecuencia de los efectos del cambio climático, las especies forestales a lo largo de gradientes altitudinales de los bosques húmedos tropicales migren hacia zonas más altas (menor temperatura) (Bermeo 2010), así como que se realicen cambios en la estructura de las poblaciones, y por tanto en los rasgos que contienen lo que ocasionaría impactos en el funcionamiento de los ecosistemas (Cardoza 2011).

## **2. GRADIENTES ALTITUDINALES EN LOS BOSQUES TROPICALES HÚMEDOS**

Bermeo (2010), señaló que en los gradientes altitudinales húmedos de montañas tropicales se pueden reconocer tres tipos de formaciones boscosas. Estos son: bosques húmedos de tierras bajas, bosques montanos bajos y bosques montanos altos.

Los bosques montanos y pre montanos en América Latina, están ubicados entre los 1000 y 3500 m de altura (Marcelo-Peña y Reynel 2014). En la selva central del Perú existe un gradiente altitudinal que va desde los 300 hasta los 3800 msnm (Vásquez *et al.* 2005); constituyéndose en ecosistemas forestales con una flora y una estructura característica con valores altos de endemismos y una cobertura de nubes persistente o estacional (Marcelo-Peña y Reynel 2014).

Los ecosistemas tropicales de montaña son importantes porque cumplen funciones claves como provisión de agua tanto para las personas que las habitan como para los que viven en tierras bajas. Körner (2000) mencionó que se encuentran entre los ecosistemas más susceptibles a los efectos del cambio climático. Además, los gradientes altitudinales ofrecen una oportunidad única para el estudio del como los caracteres de las plantas varían en respuesta a variables ambientales (Cardoza 2011).

### **2.1. EFECTOS DEL GRADIENTE ALTITUDINAL EN LAS PLANTAS**

Debido a las variaciones en el clima y el componente edáfico conforme aumenta la altitud (Alexander 1979), las plantas modulan sus características estructurales mediante la variación en su morfología y anatomía para que su desarrollo no se vea muy restringido. Estas modificaciones suelen expresarse principalmente en las hojas y en los tallos como respuesta a condiciones de estrés (Jiménez-Noriega 2014).

La disminución del tamaño de las plantas es tal vez la modificación morfológica más visible a lo largo de gradientes altitudinales (Cavieres 2000, Körner 2007). Sin embargo, hay otros rasgos como: el área foliar, área foliar específica, el grosor de las hojas, la densidad estomática, entre otros, que pueden variar en el espacio y el tiempo.

### **3. LOS FACTORES ECOLÓGICOS Y SU RELACIÓN CON LA ALTITUD**

Körner (2007) sostiene que son los factores que están directamente relacionados con la altitud (como la presión del aire, temperatura, superficie de suelo, precipitación, radiación solar, entre otros) los que presentan una influencia directa sobre la diversidad vegetal, y no la altitud como tal; así como hay otros factores climáticos que no guardan una relación directa con la gradiente altitudinal como: la velocidad del viento, duración del día, geología y actividad antropogénica.

Según Cavieres (2000), está demostrado que la probabilidad de precipitaciones aumenta con la altitud. De manera general, a medida que aumenta la cantidad de precipitación aumenta el número de especies leñosas, es así que, en un bosque tropical húmedo la diversidad de especies es mayor que en cualquier otro tipo de asociación vegetal (Vargas 1985).

Bermeo (2010), señaló que la temperatura es el principal factor ambiental que puede controlar la distribución de bosques a lo largo de gradientes altitudinales. Asimismo, para Denslow (1987) la variación en la radiación es uno de los factores ambientales más importantes que determinan el crecimiento, supervivencia y reproducción de las plantas en bosques tropicales y subtropicales húmedos.

Por otro lado, la topografía es un factor que causa efecto sobre el suelo y la vegetación que ahí se encuentre, donde el grado y extensión de la pendiente influyen en los procesos ecológicos (Guariguata y Kattan 2002); tanto así que, la pendiente puede modificar algunos factores como: la cantidad de agua disponible en el suelo, el ph y la cantidad de nutriente y la textura (Cardoza 2011).

## **4. LOS RASGOS FUNCIONALES**

Definido por Díaz y Cabido (2001) como las características de un organismo que se consideran relevantes a las respuestas de la variación ambiental y/o sus efectos en el funcionamiento de un ecosistema y que son mensurables a nivel individual para todo organismo (Violle *et al.* 2007).

Su importancia radica en que influyen fuertemente en la función de los ecosistemas y están relacionados con la estructura de la vegetación y procesos ecosistémicos, y a la respuesta de la vegetación a cambios de uso de la tierra en la actualidad (Díaz y Cabido 1997). Además, que analizar las relaciones rasgos-factores ambientales proporcionan una herramienta valiosa para la comprensión de la respuesta de la vegetación frente a condiciones cambiantes (Cardoza 2011).

Según Cardoza (2011), los rasgos funcionales pueden ser de dos tipos: a) cualitativos o categóricos y b) cuantitativos (con variables continuas o discretas). Ejemplos del primer tipo tenemos a la fenología, la forma de la copa del árbol, arquitectura y pubescencia por mencionar algunos; y del segundo tipo están el área foliar, contenido de N y P en la hoja, densidad de la madera, tamaño de planta adulta, contenido de materia seca del tallo, entre otros.

El valor obtenido para un determinado rasgo funcional en un determinado lugar y momento es denominado atributo (Cardoza 2011). Cabe señalar que una o más especies pueden mostrar diferentes atributos al largo de diferentes gradientes ambientales o momentos. Por ende, no existe un único valor (atributo) para un determinado rasgo de una especie (Violle *et al.* 2007).

### **4.1. EL ÁREA FOLIAR**

Las hojas constituyen el órgano más importante de la planta (Font Quer 1953). Se originan en los nódulos del tallo o las ramas (Ramírez 2015). El área foliar o superficie foliar es un rasgo funcional que influye mucho en la producción de materia seca por las plantas y está relacionada con la superficie de la hoja.

Cabezas-Gutiérrez *et al.* (2009) mencionan que el área foliar está asociado a diversos procesos agronómicos, biológicos, ambientales y fisiológicos, como el análisis de

crecimiento de las plantas, la fotosíntesis, la transpiración, la intercepción de luz, asignación de biomasa y el balance energético (Kucharik *et al.* 1998).

Lallana (1999), por su parte resalta la importancia de conocer el área foliar sobre todo para el estudio del crecimiento donde se usan diferentes índices que requieren el cálculo previo de ésta como: el área foliar específica. Ambos rasgos, el área foliar y el área foliar específica, se tienen como variables morfológicas indicadoras de adaptaciones al ambiente al estar correlacionados con la tasa fotosintética, con el contenido de nitrógeno y fosforo foliar por unidad de peso foliar (Bermeo 2010).

#### **4.1.1. MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL ÁREA FOLIAR**

El cálculo del área foliar en especies arbóreas es un proceso trabajoso donde no resulta fácil determinarlo con precisión ya que las hojas de las plantas en algunos casos pueden ser de formas complejas según la especie, inclusive, puede existir variabilidad morfológica dentro de una misma especie; sin embargo, es utilizado en diferentes disciplinas de las ciencias forestales y agrícolas (Calvo *et al.* 2005).

Existen diferentes métodos para el cálculo del área foliar. Lallana (1999), señaló que de forma general los métodos pueden clasificarse en: métodos destructivos, no destructivos y de estimación, dependiendo básicamente del tratamiento que se les dé a las muestras.

Para los métodos destructivos se requieren arrancar las hojas de las plantas. Generalmente las mediciones se realizan en laboratorio teniendo al planímetro, papel milimetrado y el método gravimétrico como los principales procedimientos. Los métodos de estimación se basan en relaciones matemáticas entre algunas características de las hojas o de biomasa con el área foliar, pero se requiere de muchas estimaciones para llegar a obtener un modelo matemático.

Por su parte, los métodos no destructivos no requieren que se arranque las hojas y algunos se derivan de los métodos de estimación a través del uso de plantillas lineales o formatos de hoja estándar con su área correspondiente. También está el uso de equipos que pueden medir el área foliar en campo, pero su uso resulta ser costoso muchas veces.

En la actualidad existen diferentes programas o softwares que determinan el área foliar de las hojas como: WinFOLIA ®, Imagen J, entre otros. Calvo *et al.* (2005), sostuvo que el análisis de imágenes para calcular el área foliar es una metodología que reduce la

subjetividad de un usuario. Finalmente, va a depender de las características morfológicas de las plantas, de la exactitud requerida en la estimación, del presupuesto disponible, etc. para seleccionar uno u otro método (Daughtry 1990).

#### **4.2. EL ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA**

Una de las variables derivadas del cálculo del área foliar es el área foliar específica; definida por Baeza y Altesor (2003) como la razón entre el área de las hojas y su peso seco.

Esta variable se considera que afecta el crecimiento de las plantas por favorecer cambios en la razón del área foliar y en la eficiencia fotosintética en el uso de nitrógeno (Bultynck *et al.* 1999). Asimismo, Pérez *et al.* (2004) añaden que es un índice del espesor y densidad de la hoja o también que, es la medida de la foliosidad de la planta con base en el peso seco.

#### **4.3. LA DENSIDAD BÁSICA**

La densidad básica de la madera se expresa como el peso seco de una sección leñosa de una planta (tallo, raíz, ramas, etc.) dividido por el volumen de la misma sección cuando se encuentra saturado de agua siendo su unidad de medición de manera formal en  $\text{g/cm}^3$  o en  $\text{kg/m}^3$  (Álvarez *et al.* 2013).

Es un rasgo funcional importante ya que expresa la respuesta a la perturbación del medio y que se observa a través del crecimiento lento o rápido de las especies arbóreas (Bermeo 2010); teniendo que, entre más densa es la madera su crecimiento es más lento pero su longevidad y resistencia contra daños mecánicos y ataque de patógenos y herbívoros son mayores (Cornelissen *et al.* 2003), almacenando carbono por más tiempo (Álvarez *et al.* 2013).

Núñez (2007) señala que el uso de la densidad básica en ámbitos forestales se debe a que al relacionar el material seco de madera y su volumen se puede conocer cuánto material seco corresponde a determinado volumen.

##### **4.3.1. VARIACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA**

Entre los factores que hacen variar la densidad básica están: la cantidad de madera temprana y tardía, el tamaño de las fibras, el espesor de pared celular, y el contenido de extractivos; donde la presencia de estos últimos depende principalmente de la edad del árbol y la interacción con el medio ambiente (Espina 2006). Asimismo, Espina (2006) también

menciona otros factores que influyen en la densidad básica, como los factores silviculturales (establecimiento de plantaciones, fertilización, espaciamiento, raleo, podas).

De manera general, existe variabilidad de la densidad básica de la madera entre familias, géneros, especies, individuos de una misma especie e incluso dentro de un mismo individuo (Wieman y Williamson 1989). Muchos estudios reportan que varía en el centro del tronco (Martínez 2000) y en diferentes puntos del fuste y las ramas (Álvarez *et al.* 2013, Sarmiento *et al.* 2011).

Para Valencia y Vargas (1997), la densidad básica promedio estimada en muestras tomadas a la altura de pecho es un poco mayor que la del resto del árbol. De igual forma, Álvarez (1993) encontró que la densidad básica de los arboles (calculada como un promedio ponderado de la densidad básica del tallo y ramas) está fuertemente correlacionada con la densidad observada en la base del tallo.

Álvarez *et al.* (2013), señalan que medir las diferencias en la estimación de la densidad básica para diferentes partes del árbol no es posible por el momento, pero mencionan de algunos estudios en regiones como la amazonia donde estas diferencias se pueden considerar pequeña. Otros estudios, como el de Sarmiento *et al.* (2011), exponen que una muestra tomada en cualquier parte del árbol puede ser representativa de todo el árbol.

A pesar de que diversos estudios señalan que la densidad básica de la madera presenta una variabilidad inter e intraespecifica debido principalmente a las condiciones ambientales y otros que muestran su alto grado de heredabilidad y de cómo este rasgo funcional determina la respuesta de las especies a la variación en las condiciones ambientales, hay autores que mencionan que este rasgo funcional es altamente consistente en los géneros (Álvarez *et al.* 2013).

#### **4.3.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA**

Aparte de las diferencias entre individuos de una misma especie, una estimación precisa en la densidad básica a escala del árbol requiere en teoría tomar muestras de diferentes partes del fuste y ramas considerando además su variación radial. Evidentemente esto es un muestreo deseable y su principal desventaja es que requiere de mucho tiempo y de la tala de los árboles, siendo inviable técnica, económica y ambientalmente en la mayoría de los casos.

Casi siempre, las muestras para estimar la densidad básica de las especies de árboles son tomadas como discos o secciones transversales de la parte inferior del tronco, aunque en los últimos tiempos se ha venido utilizando “el barrenado de incremento”, que permite obtener una muestra en forma cilíndrica entre 5 – 12 mm de diámetro de longitud variable dependiendo del diámetro y la dureza del árbol (Wieman y Williamson 1989).

Ambas aproximaciones tienen ventajas y desventajas. La ventaja del método del disco radica en que es representativo de la variación radial de la densidad básica de la madera en el sitio donde se toma, pero para su obtención es necesario tumar el árbol (Nogueira *et al.* 2008).

Por su parte, el método del barrenado no requiere sacrificar el árbol, pero la muestra es demasiado pequeña en comparación con el disco y en muchos estudios no se tienen en cuenta la variación radial de la densidad básica de la madera para efectos de corregir el sesgo (Wieman y Williamson 1989). Pese a esas desventajas o limitaciones, estos tipos de muestra son los más usados en los estudios de densidad básica de la madera de los árboles tropicales asumiendo que son representativos de la densidad básica del árbol (Nogueira *et al.* 2008).

## **5. IMPORTANCIA DE ESTUDIOS O EXPERIENCIAS EN ECOFISIOLOGIA VEGETAL**

Para Pardos (2004), la ecofisiología se sitúa en la interfase fisiología-ecología vegetal cuestionándose sobre la influencia del ambiente en el crecimiento, supervivencia, reproducción, competencia, abundancia, y distribución geográfica de las especies vegetales. Sostiene también que la ecología “plantea” las preguntas y la fisiología suministra las herramientas para su “respuesta”.

Diversos rasgos funcionales como el área foliar y el área foliar específica se han usado como indicadores de adaptación ambiental debido a que se relacionan con la estrategia de recolección de luz y agua (Cardoza 2011); mientras que, la densidad básica de la madera está correlacionado con el contenido de carbono y con numerosas propiedades morfológicas, mecánicas, fisiológicas y ecológicas (Chave *et al.* 2006).

Jiménez-Noriega (2014) comentó que sería importante contar con un mayor número de estudios que evalúen los cambios morfo anatómicos de las especies arbóreas a lo largo de

gradientes altitudinales en zonas montañosas tropicales o subtropicales con la finalidad de conocer las adaptaciones de las plantas que pueden existir.

El TAY no ha sido muy estudiado en temas ecofisiológicos. La mayoría de estudios tratan sobre la diversidad de especies (aves, ranas, vegetación), composición florística y el clima. Asimismo, no se encuentran estudios en gradientes altitudinales del Perú que expliquen sobre la diversidad y rasgos funcionales en especies arbóreas.

## **6. NIVEL DE REFERENCIA PREVIO SOBRE LOS RASGOS FUNCIONALES EN ECOSISTEMAS TROPICALES**

### **6.1. ÁREA FOLIAR Y ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA**

Bermeo (2010) señala que valores bajos de área foliar y área foliar específica se dan generalmente en especies de crecimiento lento (sobre todo el área foliar específica) y con un alto espesor de la hoja, características típicas de especies arbóreas a mayor altitud. Por su parte, Premoli y Mathiasen (2011) señalan que hojas más pequeñas, el crecimiento achaparrado y el inicio más tardío de la foliación, proporcionarían un hábito favorable en las condiciones de ambiente de altura, por lo que se espera una disminución del área foliar.

Según Bermeo (2010), las especies de árboles de los bosques montañosos tropicales pueden presentar hojas escleromorfas o mesófilas, siendo las hojas escleromorfas por lo general gruesas con valores bajos de área foliar específica ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) y de textura coriácea. El escleromorfismo está asociado a otras características foliares como la longevidad y las bajas tasas de crecimiento (Medina 1977).

### **6.2. DENSIDAD BÁSICA**

Chave *et al.* (2006), mencionan que la densidad básica de la madera decrece con un aumento en altitud y presenta diferencias significativas con las regiones de baja altitud; sugiriendo que estas diferencias se deben principalmente a las condiciones ambientales donde se desarrollan las especies arbóreas (Bermeo 2010).

Chave *et al.* (2006), reportaron altos valores promedio ( $0.66 \text{ g/cm}^3$ ), siendo una proporción importante registrados en los bosques estacionales de la amazonia de Sudamérica. Posteriormente, Álvarez *et al.* (2013) mencionan que se adicionaron nuevos datos y el promedio se redujo hasta  $0.60 \text{ g/cm}^3$ .

Según Tyree y Ewers (1991), se esperaría que las especies que habitan en sitios con alta intensidad de radiación tuviesen una baja densidad básica de madera ya que deberían de tener un sistema de transporte de agua eficiente para mantener su tasa de respiración (y fotosíntesis) elevada. Por otro lado, Álvarez *et al.* 2013 plantean nuevas hipótesis que invitan a repensar la idea de que una alta densidad básica de la madera es la mejor opción para que una especie se adapte a las condiciones extremas del medio.

Niessner (2014) encontró para algunas especies pioneras ubicadas en la parcela del bosque nublado del TAY, una densidad de madera relativamente baja de promedio  $0.41 \text{ g/cm}^3$ . Para las otras parcelas la densidad de la madera tuvo un promedio de  $0.60 \text{ g/cm}^3$ .

## 7. PARCELAS PERMANENTES ESTABLECIDAS EN EL TRANSECTO ALTITUDINAL YUYAPICHIS

Con el fin de determinar la diversidad, composición florística y estructura de los diferentes tipos de bosques en la RCS; se establecieron parcelas permanentes, tanto como para el monitoreo de los cambios de vegetación en el tiempo (dinámica de bosques), incluyendo el monitoreo de la biomasa frente al cambio climático en los distintos tipos de bosques de la RCS y el ACP Panguana (Valenzuela *et al.* 2015).

Actualmente están establecidas 05 parcelas permanentes a lo largo del TAY, una en cada piso altitudinal del bosque (ver Tabla 1). Estas parcelas son de 1 ha (100 x 100 m) y siguen los protocolos de la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR), para la medición de la diversidad arbórea de cada parcela.

Los árboles citados en el presente trabajo corresponden a los inventarios de los árboles en dichas parcelas.

Tabla 1: Parcelas de 1 ha establecidas en los diferentes estratos (dap = 10 cm) en el ámbito del transecto altitudinal Yuyapichis – Reserva Comunal El Sira (Huánuco).

<b>N°</b>	<b>SIGLA</b>	<b>LOCALIZACION</b>	<b>ALTITUD (msnm)</b>
1	PP RCS 05	TAY – ACCP; Bosque húmedo de llanura	251
2	PP RCS 01	TAY – campamento Hospital; Bosque húmedo premontano	845
3	PP RCS 02	TAY – campamento Laguna; Bosque húmedo montano no nublado	1391
4	PP RCS 03	TAY – campamento Peligroso; Bosque húmedo montano nublado	1568
5	PP RCS 04	TAY – campamento Peligroso, Bosque montano esclerófilo	2230

FUENTE: Elaboración propia basado en Monteagudo *et al.* (2014).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

##### **1.1. UBICACIÓN**

###### **1.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA**

El trabajo se realizó en 05 parcelas permanentes instaladas en el Transecto Altitudinal Yuyapichis ubicadas dentro de la Reserva Comunal El Sira. Políticamente, el TAY se encuentra en el departamento de Huánuco, provincia de Puerto Inca y distrito de Yuyapichis (Valenzuela *et al.* 2015).

Una de las parcelas está instalada en el Área de Conservación Privada Panguana (ACPP) (que forma parte del TAY) ubicado en la zona de amortiguamiento (za) de la RCS, en el departamento de Huánuco y distrito de Yuyapichis, a orillas del río del mismo nombre.

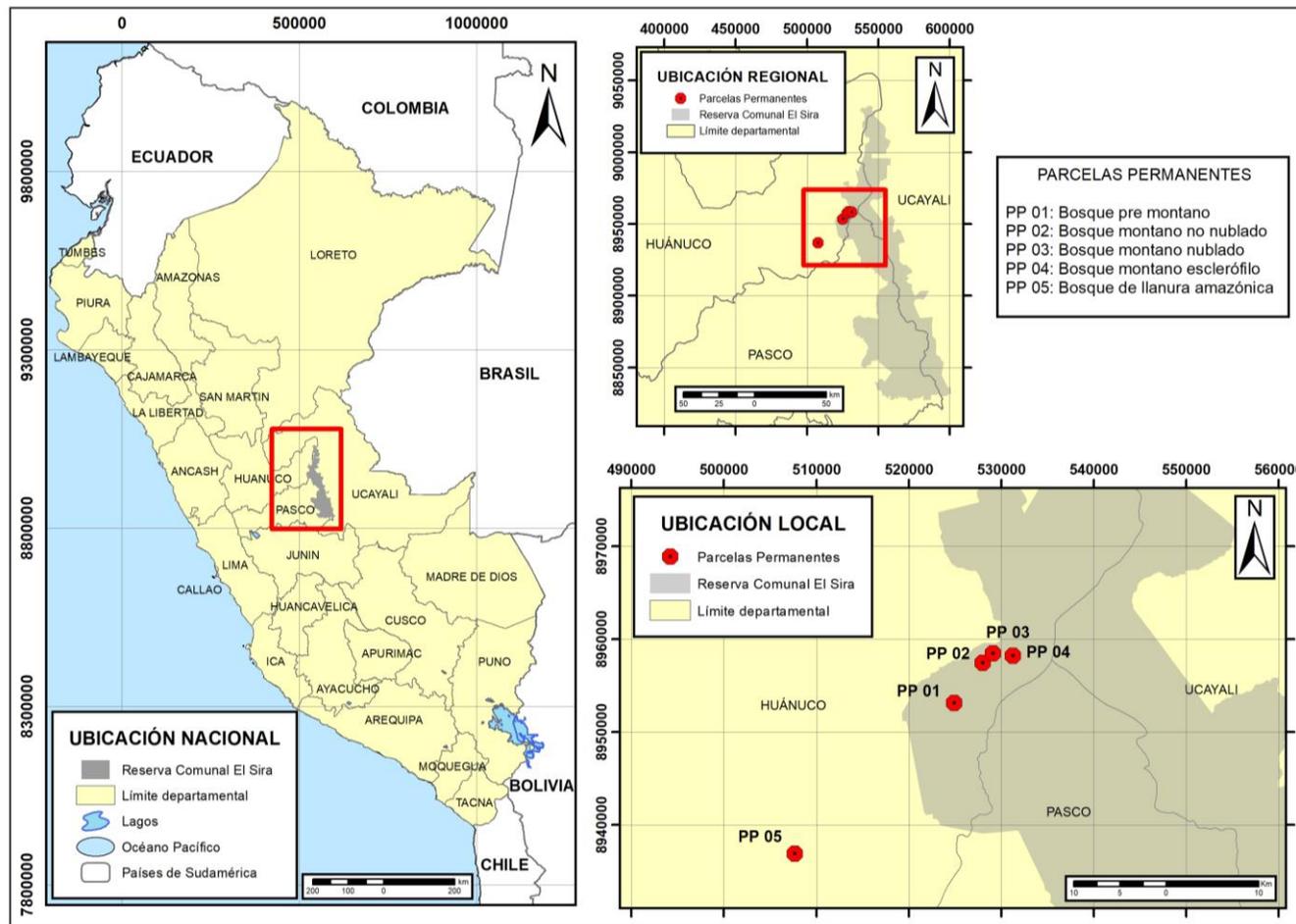


Figura 1: Mapa de ubicación de las parcelas permanentes en el Transecto Altitudinal Yuyapichis.

FUENTE: Elaboración propia basado en Valenzuela et al. (2015).

### **1.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona centro oriental del Perú formando parte de la cordillera de los andes, dentro de la faja sub andina; entre las coordenadas UTM 500000 y 540000 E y; 8930000 y 8960000 N, encontrándose influenciada por las cuencas de los ríos Ucayali, Pachitea y Pichis (SERNANP *et al.* 2009).

El rango altitudinal del Transecto Altitudinal Yuyapichis va desde los 250 a los 2250 msnm, siendo la orientación de nor este a sur occidente.

## **1.2. ASPECTOS FÍSICOS**

### **1.2.1. CLIMA**

Para la RCS, la temperatura promedio anual es de 25.5°C. Las temperaturas promedio mensuales fluctúan entre 24.6°C y 25.8°C. Las temperaturas más bajas se presentan en el tercer trimestre del año y las más altas en el último trimestre. Las temperaturas extremas oscilan entre los 15°C y 33°C (SERNANP *et al.* 2009).

Las partes bajas (a menos de 1000 msnm) son cálidas y lluviosas. Las partes altas que superan los 1000 msnm, presentan un clima que varía de semiseco a muy húmedo, siendo el último y primer trimestre del año los que presentan mayor precipitación. La estación meteorológica más cercana (Puerto Bermúdez) registra una precipitación promedio anual de 3312.9 mm (SERNANP *et al.* 2009).

Niessner (2014) encontró cambios en las condiciones climáticas conforme aumenta la altitud a lo largo del Transecto Altitudinal Yuyapichis. Encontró que se incrementa la humedad relativa, la precipitación y la radiación solar; mientras que, la temperatura, la biodiversidad, la biomasa vegetal y el crecimiento de las plantas disminuyen (ver Figura 2).

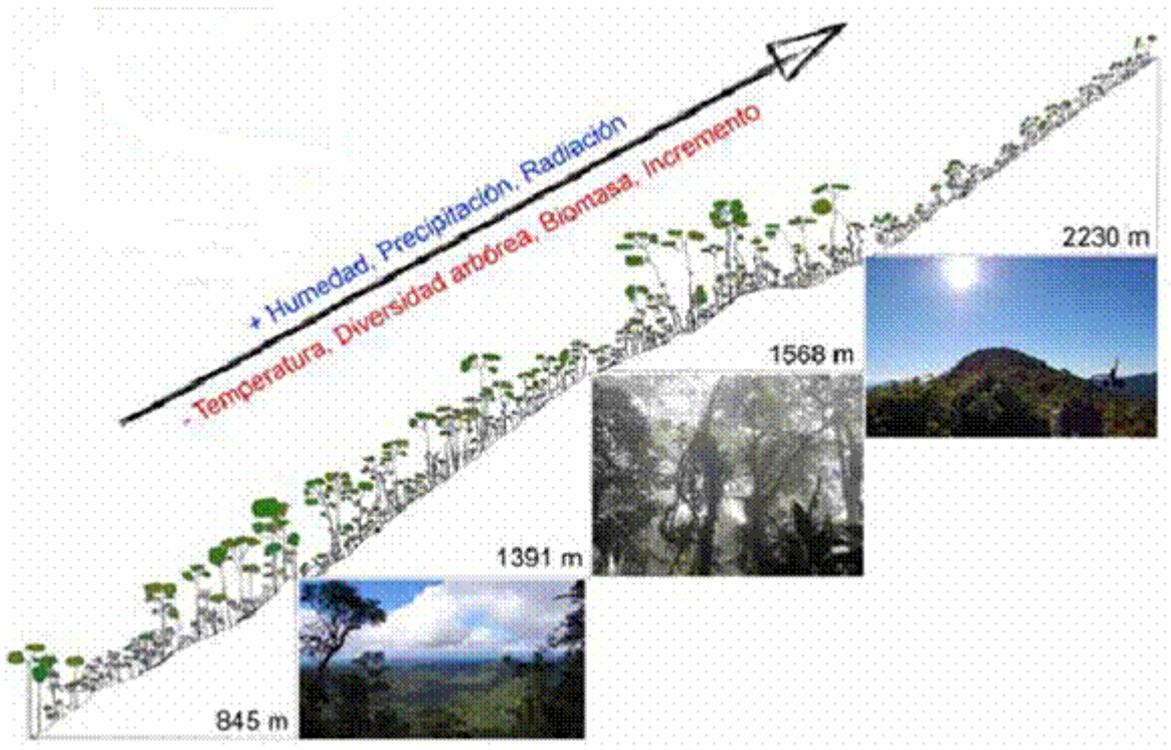


Figura 2: Perfil del Transecto Altitudinal Yuyapichis y su relación con las condiciones climáticas.

FUENTE: Niessner (2014).

Con los resultados del trabajo de Niessner (2014), se elaboró la Figura 3, donde se muestra la variación de la temperatura y la precipitación promedio anual a lo largo del TAY; notándose claramente que, conforme aumenta la altitud la temperatura disminuye y la precipitación aumenta.

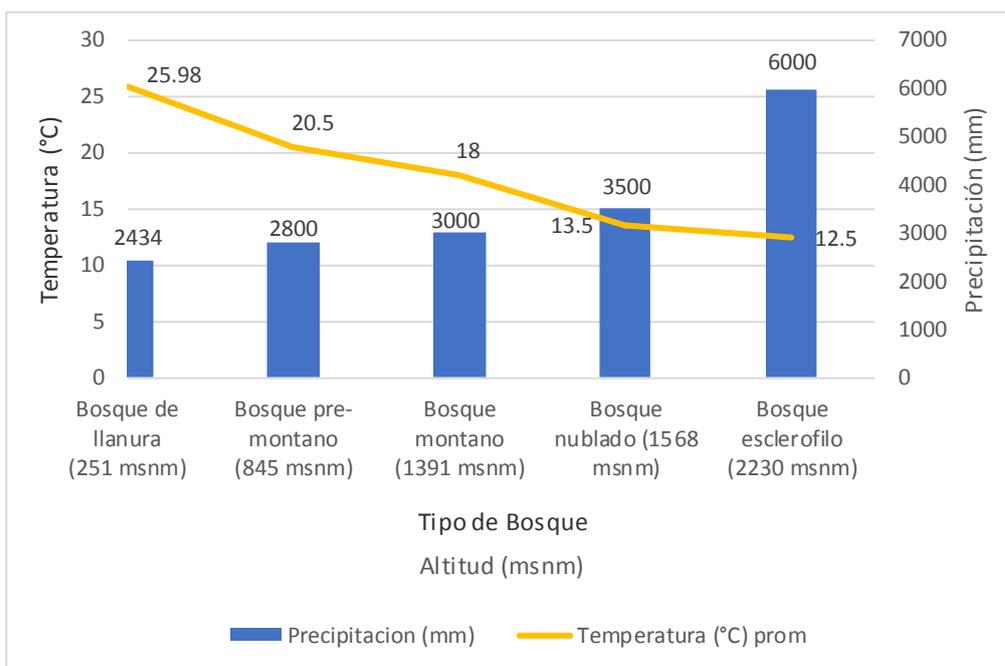


Figura 3: **Variación de la temperatura y precipitación promedio anual en el periodo 2010 – 2012, para la gradiente.**

FUENTE: *Elaboración propia basado en Niessner (2014).*

De la Figura 3, el promedio de la temperatura en el gradiente es 18.1°C mientras que la precipitación promedio es 3546.8 mm. El bosque de llanura registra la menor precipitación promedio anual (2434 mm) pero a su vez, la mayor temperatura (25.98°C). Lo contrario ocurre en el bosque esclerófilo, donde la precipitación promedio anual es la máxima registrada (6000 mm) y la temperatura (12.5°C) es la menor.

### 1.2.2. LA TOPOGRAFIA Y EL SUELO

Los suelos del gradiente altitudinal según Valenzuela *et al.* (2015) varían en su composición, pero sobretodo en la forma y extensión de la pendiente. En la Tabla 2 se puede apreciar algunas características de los suelos en el TAY.

Tabla 2: Características de la topografía en el gradiente según tipo de bosque.

<b>Características</b>	<b>Bosque húmedo de Llanura (251 msnm)</b>	<b>Bosque húmedo pre montano (845 msnm)</b>	<b>Bosque montano (1391 msnm)</b>	<b>Bosque montano no nublado (1568 msnm)</b>	<b>Bosque montano esclerófilo (2230 msnm)</b>
Textura	Limo-arcilloso (> % limo)	Limo - Arcilloso (> % arcilla)	Arcilloso	Arcilloso (mediana presencia de materia orgánica)	Arcilloso (alta presencia de materia orgánica)
Color	Amarillento	Amarillento - Rojizo	Rojizo	Rojizo – Negruzco	Negro
Drenaje	Regular	Regular	Regular	Malo	Malo
Pendiente	Ligeramente plano	Ondulado	Pronunciada	Agreste	Muy agreste
Pedregosidad	Poca presencia	Poca presencia	Poca - regular	Bastante	Bastante
Otros	-	presencia de algunas quebradas	-	Alta presencia de hojarascas	Alta presencia de raíces y musgos

FUENTE: Elaboración propia basado en Valenzuela et al. (2015).

### 1.2.3. VEGETACIÓN

La vegetación del gradiente altitudinal es muy variada en cuanto a su estructura y composición florística (ver Tabla 4). Conforme aumenta la altitud, el diámetro y altura de los árboles disminuye, así como la diversidad de especies (Niessner 2014).

La composición florística de la RCS responde a la típica para selva alta y selva baja. En el primer caso, se caracteriza por presentar árboles de fuste delgado (promedio de 60 cm.) con copas pequeñas y con alta presencia de comunidades epífitas (bromelias, orquídeas, helechos, piperáceas, líquenes, sellaginaceas y musgos). Mientras que el bosque de selva baja presenta árboles más altos y vigorosos con diámetros que superan los 1.5 m, en cuyas ramas albergan una comunidad vegetal variada, compuesta de bromelias, helechos, orquídeas, anturios, etc. (SERNANP et al. 2009).

Marcelo-Peña y Reynel (2014) señalan que las familias más ricas en especies de la selva central del Perú son: Lauraceae, Moraceae, Melastomaceae, Urticaceae y Leguminosae. Por su parte, Valenzuela et al. (2015), Monteagudo et al. (2014); señalan que para el TAY las familias más abundantes son la Rubiaceae, Urticaceae, Malvaceae y Moraceae.

#### 1.2.4. ZONAS DE VIDA

De acuerdo al mapa ecológico (SERNAP *et al.* 2009) basado en Holdridge (1978) (ver Tabla 3 y Anexo 10), en la RCS se identifican siete zonas de vida. Considerando la ubicación, altitud, precipitación y temperatura promedio anual registrados en los bosques del TAY, se elaboró la siguiente Tabla.

Tabla 3: **Zonas de vida en el gradiente altitudinal para los diferentes tipos de bosque**

<i>Tipo de bosque</i>	<i>Zona de vida</i>	<i>Precipitación (mm)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
Bosque húmedo de Llanura	bh-T	2000 - 2350	25.5
Bosque húmedo pre montano	bmh-PT/bh- T	+/- 3300	+/- 25.5
Bosque montano no nublado	bmh-T/bp-PT	4000 - 5500	22 - 24
Bosque montano nublado	bp-PT	>> 4000	17 - 24
Bosque montano esclerófilo	bp-MBT	>> 4000	12 - 17

**bh-T:** Bosque Húmedo Tropical, **bmh-PT/bh-T:** Bosque muy Húmedo Premontano Tropical transicional a Bosque Húmedo Tropical, **bmh-T/bp-PT:** Bosque muy Húmedo Tropical transicional a Bosque pluvial Premontano Tropical, **bp-PT:** Bosque pluvial Premontano Tropical, **bp-MBT:** Bosque pluvial Montano Bajo Tropical

FUENTE: Elaboración propia basado en Holdridge (1978) y SERNANP *et al.* (2009).

## 2. ANTECEDENTES DE LOS TIPOS DE BOSQUES A ESTUDIAR

En la Tabla 1 se muestran todas las parcelas donde se realizó el trabajo. Estas parcelas fueron establecidas en forma aleatoria entre los años 2010 y 2011, donde la primera medición se realizó el año 2014 (Valenzuela *et al.* 2015).

Valenzuela *et al.* (2015), señalan que los bosques de la cordillera de la RCS y del ACPP, fueron caracterizados principalmente en base a la gradiente altitudinal (desde los 250 a 2250 msnm) sobre una cadena montañosa aislada. Asimismo, la presencia de especies vegetales propias de cada piso, fueron las indicadoras para sugerir cinco tipos de bosque.

Tabla 4: Tipos de bosques para el presente estudio

TIPO DE BOSQUE	Bosque húmedo de llanura amazónica	Bosque húmedo pre montano	Bosque húmedo montano no nublado	Bosque montano nublado	Bosque montano esclerófilo
NOMBRE PLOT	Parcela permanente V	Parcela permanente I	Parcela permanente II	Parcela permanente III	Parcela permanente IV
SIGLA PLOT	PP ACP - 05	PP RCS – 01	PP RCS – 02	PP RCS – 03	PP RCS – 04
DEPARTAMENTO	Huánuco	Huánuco	Huánuco	Huánuco	Huánuco
LOCALIDAD	Panguana	TAY	TAY	TAY	TAY
POSICIONAMIENTO (UTM)	8936901 N y 507717 E	8953153 N y 524933 E	8957457 N y 528009 E	8958452 N y 529122 E	8958199 N y 531266 E
ALTITUD	251 msnm	845 msnm	1391 msnm	1568 msnm	2230 msnm
T° ANUAL PROMEDIO	25.11 - 26.85 °C	19 – 22°C	16 – 20°C	12 – 15°C	10 – 15°C
PP TOTAL ANUAL PROMEDIO	2434 mm	2800 mm +/-	3000 mm +/-	3500 mm +/-	6000 mm +/-
MICROTOPOGRAFIA	Terreno plano con ligeras ondulaciones	Terreno con colinas y quebradas	Terreno con inclinación pronunciada	Terreno con laderas fuertemente inclinadas	Terreno con pequeñas mesetas y laderas de poca inclinación
FECHA DE ESTABLECIMIENTO DEL PLOT	Mar – may 2011	Jul – ago 2010	Jul – ago 2010	Jul – ago 2010	Jul – ago 2010
AUTOR	Valenzuela <i>et al.</i> 2015	Valenzuela <i>et al.</i> 2015	Valenzuela <i>et al.</i> 2015	Valenzuela <i>et al.</i> 2015	Valenzuela <i>et al.</i> 2015
NUMERO DE INDIVIDUOS	595	639	758	733	483
NUMERO DE ESPECIES	200	176	135	99	46
NUMERO DE GENEROS	119	91	80	67	27
NUMERO DE FAMILIAS	46	48	41	35	42
FAMILIAS MAS ABUNDANTES	MORACEAE (101 ind.)	SAPOTACEAE (65 ind.)	RUBIACEAE (126 ind.)	URTICACEAE (115 ind.)	ARALIACEAE (98 ind.)
	MYRISTICACEAE (48 ind.)	BURSERACEAE (55 ind.)	LAURACEAE (90 ind.)	MALVACEAE (114 ind.)	MELASTOMATACEAE (96 ind.)
	ARECACEAE (45 ind.)	FABACEAE (53 ind.)	CHRYSOBALANACEAE (64 ind.)	MELASTOMATACEAE (84 ind.)	CLUSIACEAE (53 ind.)
	FABACEAE (39 ind.)	MELASTOMATACEAE (50 ind.)	NYCTAGINACEAE (62 ind.)	RUBIACEAE (69 ind.)	CYATHEACEAE (42 ind.)
FAMILIAS MAS ESPECIOSAS	FABACEAE (29 spp)	SAPOTACEAE (23 spp)	LAURACEAE (27 spp)	RUBIACEAE (16 spp)	MELASTOMATACEAE (10 spp)
	MORACEAE (21 spp)	FABACEAE (19 spp)	RUBIACEAE (11 spp)	MELASTOMATACEAE (12 spp)	CUNONIACEAE (5 spp)
	LAURACEAE (18 spp)	LAURACEAE (18 spp)	MELASTOMACEAE (11 spp)	FABACEAE (9 spp)	CLUSIACEAE (3 spp)
	MALVACEAE (13 spp)	MELASTOMATACEAE (12 spp)	FABACEAE (9 spp)	LAURACEAE (6 spp)	MYRTACEAE (3 spp)

FUENTE: Elaboración propia basado en Valenzuela *et al.* (2015).

### **2.1. BOSQUE HÚMEDO DE LLANURA AMAZÓNICA**

En el bosque húmedo de llanura amazónica se pueden ver especies vegetales de gran altura y diámetro siendo las familias: Moraceae, Myristicaceae, Arecaceae, Fabaceae y Malvaceae, las más abundantes.

### **2.2. BOSQUE HÚMEDO PRE MONTANO**

En este tipo de bosque, la altura y diámetro de los árboles es un poco menor que las del bosque de llanura amazónica; siendo las familias más representativas: Sapotaceae, Burseraceae, Fabaceae y Melastomataceae. Existe una alta abundancia de palmeras con alta densidad de distribución.

### **2.3. BOSQUE HÚMEDO MONTANO NO NUBLADO**

El bosque montano no nublado, presenta ambientes muy diferentes a los anteriores y con vegetación más endémica. La altura y diámetro de los árboles son menores que en los anteriores tipos de bosques descritos, siendo las familias: Rubiaceae, Lauraceae, Chrysobalanaceae y Nyctaginaceae las más abundantes. Debido a condiciones constantes de alta humedad, la abundancia de lianas y epifitas es muy notable.

### **2.4. BOSQUE HÚMEDO MONTANO NUBLADO**

Este bosque presenta árboles con una altura y diámetro bastante similares a las del bosque montano no nublado. Las familias más representativas son la Urticaceae y Malvaceae. La estructura de la vegetación es parecida a la del bosque montano no nublado, pero se diferencian en la composición de especies y la abundancia de epifitas siendo este bosque la que registra mayor presencia de estas.

### **2.5. BOSQUE HÚMEDO MONTANO ESCLERÓFILO**

El bosque recibe este nombre por la vegetación con las hojas mayormente duras y con un poco de coloración rojiza. La altura y diámetro de los árboles es la menor de todos los tipos de bosques en la gradiente. Las familias más dominantes son la Araliaceae y la Melastomataceae. Además, es notorio que la vegetación en este tipo de bosques es muy diferente a las anteriores.

### 3. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN Y LA MUESTRA EVALUADA

Las especies arbóreas seleccionadas para este trabajo se encuentran dentro de las parcelas tipo RAINFOR establecidas en el TAY. En estas parcelas cada árbol mayor a 10 cm de DAP ya ha sido reconocido y plaqueado. Además, existe una base de datos con información florística de las parcelas (Valenzuela *et al.* 2015).

Tabla 5: **Tamaño de la población y la muestra según tipo de bosque**

<b>Tipo de bosque</b>	<b>Bosque húmedo de Llanura (251 msnm)</b>	<b>Bosque húmedo premontano (845 msnm)</b>	<b>Bosque montano no nublado (1391 msnm)</b>	<b>Bosque montano nublado (1568 msnm)</b>	<b>Bosque montano esclerófilo (2230 msnm)</b>	<b>Total poblacional</b>	<b>Total muestra</b>
Área (ha)	1	1	1	1	1	5	5
Número de individuos	595	639	758	733	483	3208	35

FUENTE: *Elaboración propia basado en Valenzuela et al. (2015).*

Díaz y Cabido (2001) resaltan la importancia de hacer una selección adecuada y priorizada de los rasgos funcionales. Sugieren además que no sea muy grande el número de rasgos a medir y que sean fácilmente mensurables a través de diferentes protocolos donde ya existe una manera de medir estandarizada (Cornelissen *et al.* 2003) a manera que se pueda registrar un gran número de individuos.

En esta investigación se seleccionó una muestra al azar de entre 5 a 10 árboles por parcela para coleccionar una rama de cada árbol y medir tres rasgos funcionales: área foliar, área foliar específica y densidad básica. Los criterios para seleccionar los individuos arbóreos fueron los siguientes:

- Que tengan un DAP mayor a 10 cm.
- Que sean lo suficientemente alto para que la copa esté expuesta al sol.
- Individuos escogidos al azar, indistintamente de las especies.

La metodología utilizada en este trabajo ha sido adaptada de diferentes manuales de campo (Patiño 2005) como también de protocolos para la medición de características funcionales en especies arbóreas (Proyecto Madidi *et al.* 2012).

#### 4. MEDICIÓN DEL ÁREA FOLIAR Y DEL ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA



Figura 4: **Secuencia de estimación del área foliar y el área foliar específica para las especies arbóreas en el gradiente altitudinal.**

*FUENTE: Elaboración propia.*

##### 4.1. COLECCIÓN DE MUESTRAS

De cada uno de los árboles seleccionados se colectó una rama de su copa de un metro de longitud aprox. Esta rama se tomó a cualquier altura de la copa y preferentemente expuesta al sol en cualquiera de las direcciones cardinales.

De cada rama colectada se contó todas las hojas. Si se trataba de hojas simples o compuestas, se especificó en el formato de campo. En el caso de hojas compuestas, se contó

cada hoja como una y se determinó el número aproximado de folíolos por hoja. Asimismo, con el uso de binoculares se tomó un registro aproximado de la cantidad de ramas similares a la colectada que podía haber en toda la copa del árbol.

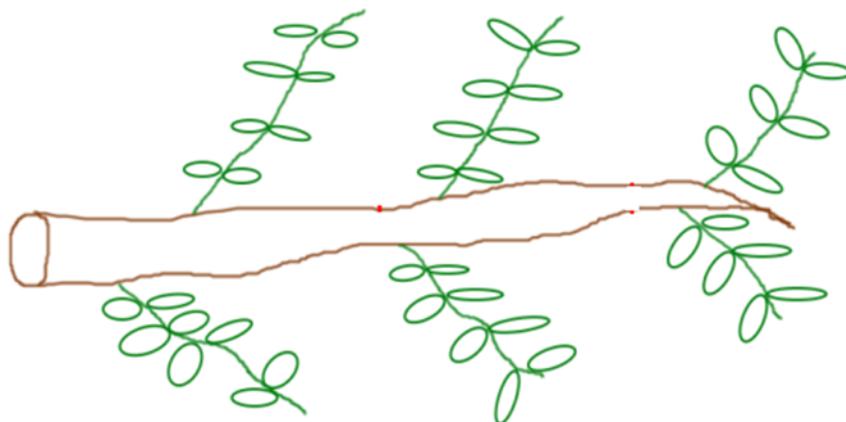


Figura 5: **Bosquejo de rama colectada por cada árbol en el gradiente altitudinal.**

*FUENTE: Elaboración propia basado en Patiño (2005).*

#### **4.2. ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR**

De la rama colectada, se seleccionaron y contaron hojas al azar que presenten el menor daño de herbívoros o patógenos y que sean suficientemente representativas en tamaño, color y forma. Posteriormente se almacenaron en bolsas de papel selladas y codificadas.

El número de hojas seleccionadas dependió de lo antes señalado, pero también de la cantidad que entre adecuadamente en una cartulina A2 (que contenía pintado un cuadrado de 10 x 10 cm con tempera color magenta, rojo o azul). La cantidad de hojas estuvo entre 7 a 30. En esta cartulina A2 (43 x 28 cm; 300 g), se colocaron las hojas seleccionadas y se les tomo fotografías desde un mismo ángulo. Todas las hojas fueron colocadas en la misma dirección.



Figura 6: **Fotografía utilizada para la estimación del área foliar.**

*FUENTE: Elaboración propia.*

Las fotografías tomadas en campo se procesaron en una laptop que tenía instalado un código necesario para obtener el valor del área foliar con el programa R Studio. El área foliar total del árbol se estimó como se indica en la Figura 4.

#### **4.3. ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA**

Las mismas hojas seleccionadas para la estimación del área foliar se utilizaron para estimar el área foliar específica. A dichas hojas se le determinó el peso húmedo en campo y en gabinete, con la finalidad de obtener un promedio entre ambos. Después se procedió a colocarlas en papel periódico y llevarlas a secar a estufa por tres días a 70 °C. Cuando estuvieron totalmente secas, se tomó su masa seca en gramos en una balanza analítica. Luego se calculó el valor del área foliar específica por individuo, definida como la razón entre el área foliar y el peso seco de la hoja (Pérez *et al.* 2004).

## 5. MEDICIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA

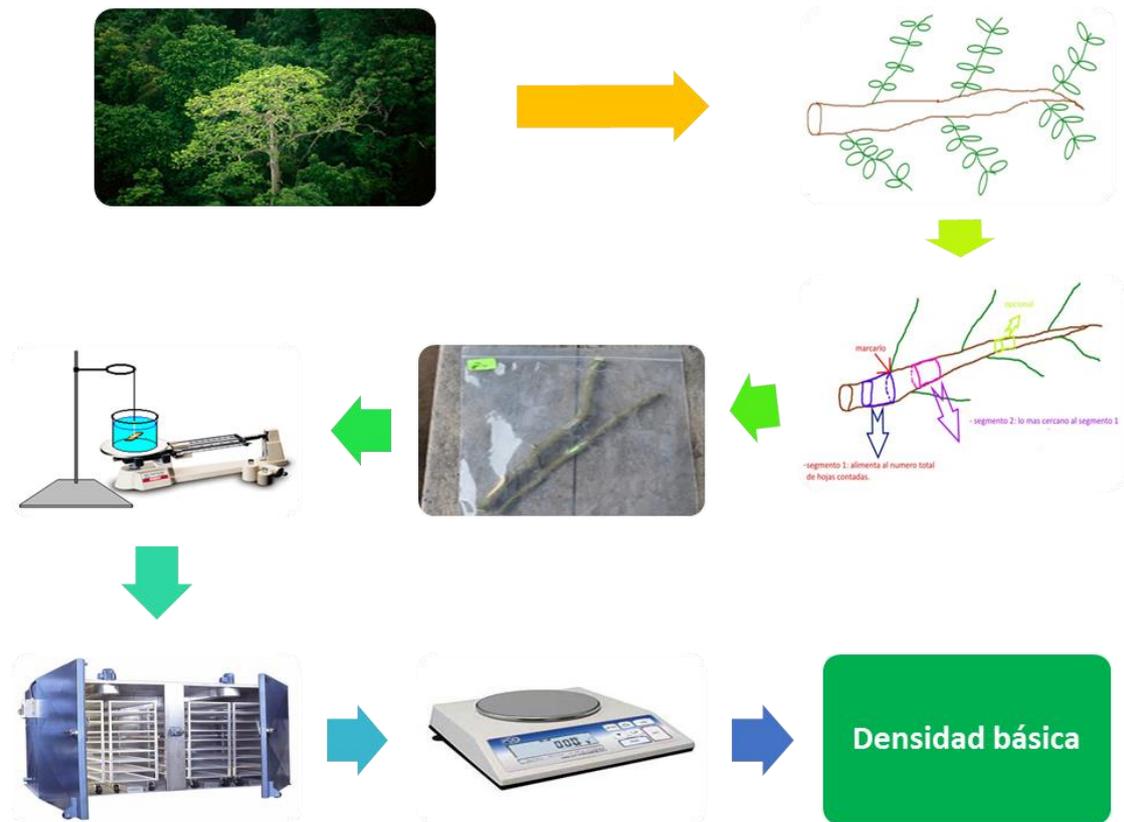


Figura 7: Secuencia de la estimación de la densidad básica para las especies arbóreas en el gradiente altitudinal.

FUENTE: Elaboración propia.

### 5.1. COLECCIÓN DE MUESTRAS

Paralelamente a la colecta de hojas, se colectó dos segmentos de madera (de la rama colectada) de aproximadamente 10 cm de largo y un diámetro < 2 cm (ver Figura 8). Era importante que uno de los segmentos este en la posición terminal, el cual “alimenta” todas las hojas de la rama; y el otro segmento debía estar cerca a este (Patiño 2005).

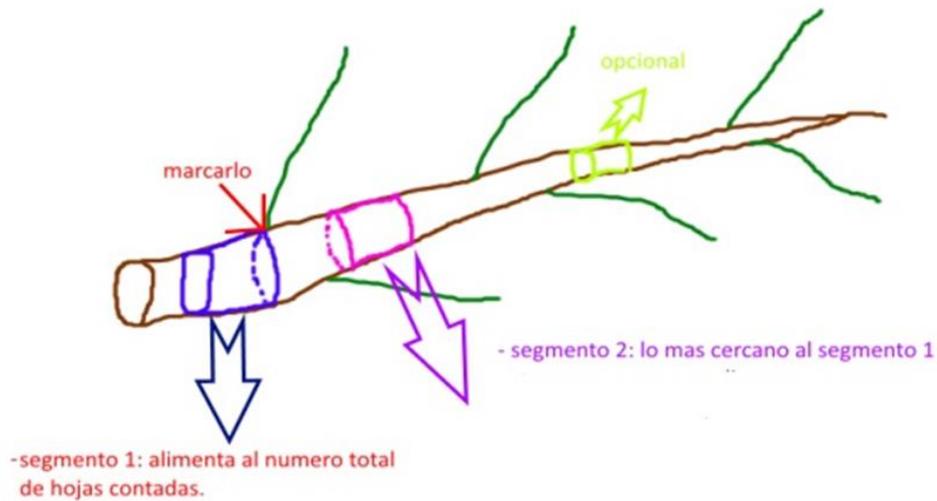


Figura 8: **Bosquejo de los segmentos de rama colectados para el cálculo de la densidad básica.**

*FUENTE: Elaboración propia basado en Patiño (2005).*

Los segmentos fueron pesados casi de manera inmediata usando una balanza digital con dos decimales, obteniéndose de esta manera el peso húmedo en campo. Luego se codificaron y colocaron en su bolsa ziplo respectiva hasta su transporte al laboratorio (ver Figura 9).



Figura 9: **Segmentos de ramas utilizados en la estimación de la densidad básica.**

*FUENTE: Elaboración propia.*

## 5.2. ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA

Se utilizó la fórmula:

$$Db = Po / Vv \text{ (g/cm}^3\text{)};$$

Dónde:

Db = densidad básica de la madera, Po= al peso seco y Vv= es el volumen verde.

Para obtener el estado anhidro de los segmentos de rama, se secó en estufa a 100°C durante 76 horas continuas (Wieman y Williamson 1989), tiempo más que suficiente para que las muestras alcanzaran peso constante. En cuanto al volumen verde, este fue calculado con el método dimensional o de Arquímedes.

Se calculó el promedio aritmético con los dos segmentos de ramas. La densidad básica fue calculada con la rama conteniendo la corteza, ya que en muchos estudios se demuestra que el peso de la corteza puede representar una proporción importante del volumen y peso total de la rama o tallo (Álvarez *et al.* 2013) y considerarla disminuye los errores en la medición.

Se utilizaron los equipos del Laboratorio de Propiedades Físico Mecánicas de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

## 6. PROCESAMIENTOS ESTADÍSTICO

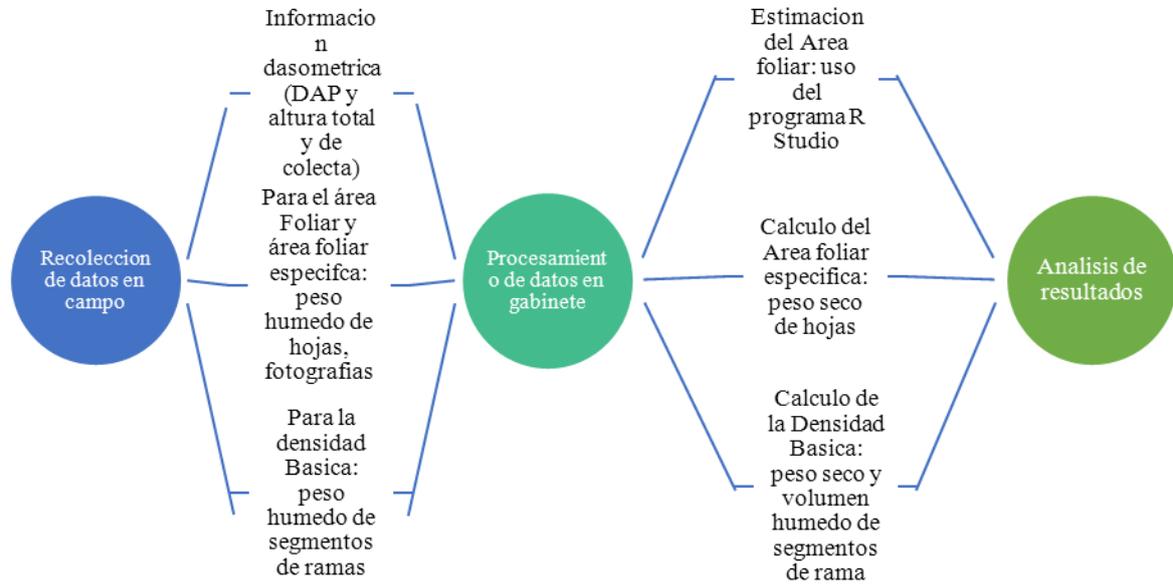


Figura 10: **Proceso de obtención y procesamiento de los principales cálculos en los atributos de los rasgos funcionales.**

FUENTE: *Elaboración propia.*

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. INDIVIDUOS EVALUADOS EN EL GRADIENTE ALTITUDINAL

Se evaluaron 35 árboles a lo largo del gradiente altitudinal. La mayor cantidad (63 por ciento) de individuos estuvo en los bosques de mayor altitud entre los 1300 y 2230 msnm. En la Figura 11 se puede ver la distribución de estos árboles.

Los 35 árboles corresponden a 19 familias y 28 especies diferentes. La familia de la que más individuos se evaluaron es la Rubiaceae. Las especies: *Neea divaricata*, *Schefflera patula*, *Theobroma subincanum*, *Weinmannia cochensis* y *Dendrobangia boliviana* fueron las que más se encontraron en nuestra muestra.

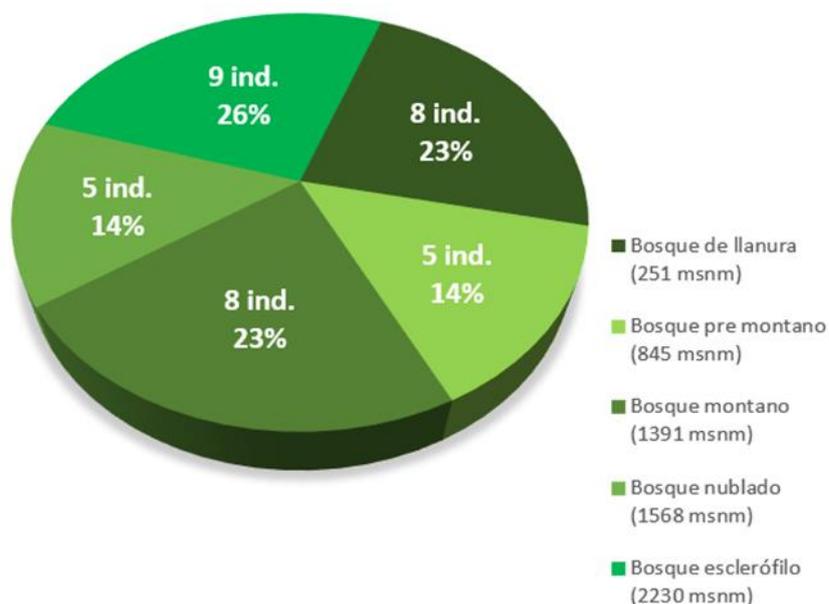


Figura 11: Distribución del número y porcentaje de individuos según tipo de bosque.

Como indican Vera *et al.* (1999), una de las variaciones más notorias en gradientes altitudinales es la disminución de la altura de las especies arbóreas; algo que en esta investigación facilitó la colección de las muestras, sobre todo en el bosque esclerófilo.

En este estudio no se analiza la influencia de las especies de los arboles sobre los valores promedio del área foliar, área foliar específica y densidad básica de la madera, pero, aunque no forma parte de los objetivos específicos de este trabajo se debe tener presente la procedencia de cada una de éstos. Para más información de las especies, familias y datos dasométricos de los arboles evaluados, ver el Anexo 2.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS RASGOS FUNCIONALES A LO LARGO DEL GRADIENTE ALTITUDINAL

### 2.1. DESCRIPCIÓN CUALITATIVA

Cardoza (2011), señala que analizar las relaciones entre los rasgos funcionales y los factores ambientales proporciona una herramienta valiosa para la comprensión de la respuesta de la vegetación frente a condiciones cambiantes. En la Tabla 6 se describe la variación en el promedio del área foliar, área foliar específica y densidad básica de la madera con el aumento de la altitud.

Tabla 6: **Variación del valor promedio de los rasgos funcionales según las condiciones climáticas a lo largo del gradiente altitudinal**

<b>Rasgo funcional</b>	<b>Condiciones biofísicas en el TAY según el aumento en la altitud</b>	<b>Efecto sobre el Rasgo funcional</b>
AF (cm <sup>2</sup> )	A mayor altitud: La temperatura, biodiversidad y biomasa disminuyen.	En los bosques de mayor altitud, el valor promedio de AF disminuye.
AFE (cm <sup>2</sup> /g)	El tamaño y diámetro de las especies arbóreas disminuyen. El tamaño, tipo, textura y cantidad de hojas disminuyen. La precipitación, humedad, radiación y velocidad del viento aumentan.	En los bosques de mayor altitud, el valor promedio de AFE disminuye.
DB (g/cm <sup>3</sup> )	La pendiente se vuelve más pronunciada y agreste. El suelo es más arcilloso y con mayor presencia de rocas, raíces y musgos.	En los bosques de mayor altitud, el valor promedio de la DB disminuye.

Dónde: AF= área foliar; AFE= área foliar específica; DB= densidad básica

### 2.2. DESCRIPCIÓN CUANTITATIVA

Los rasgos funcionales a lo largo del gradiente altitudinal pueden registrar valores muy diferentes inclusive para las mismas especies en tan solo poca diferencia de altitud (Violle *et*

al. 2007) ya que responden a las condiciones ambientales y del clima donde se desarrollan (Díaz y Cabido 1997).

En la Tabla 7, se muestra el valor promedio de los principales estadísticos que describen la variación del área foliar, área foliar específica y densidad básica de la madera a lo largo del gradiente altitudinal. Este valor promedio se calculó tomando todos los individuos evaluados como un solo conjunto. Para ver la Tabla con todos los estadísticos determinados según tipo de bosque, revisar el Anexo 5.

**Tabla 7: Promedio de los principales estadísticos para los rasgos funcionales en la gradiente altitudinal**

<i>RF</i>	<i>Media</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Min.</i>	<i>Max</i>
AF (m <sup>2</sup> )	16,41	56	3, 09	43, 54
AFE (cm <sup>2</sup> /g)	109,35	47	33,52	255,32
DB (g/cm <sup>3</sup> )	0,45	20	0,25	0,65

Dónde: AF= área foliar; AFE= área foliar específica; DB= densidad básica; CV= coeficiente de variación; Min= valor mínimo; Max= valor máximo; RF= rasgo funcional

El valor promedio del área foliar para el gradiente altitudinal fue de 16.41 m<sup>2</sup> siendo las especies *Castilla ulei* y *Cinchona hirtusa* vel sp. aff. registradas en los bosques húmedos de llanura y el bosque montano esclerófilo, las que reportan mayor y menor valor respectivamente.

Para el área foliar específica el valor promedio en el gradiente altitudinal fue de 109.35 cm<sup>2</sup>/g, donde las especies *Castilla ulei* y *Theobroma subincanum* registradas en el bosque húmedo de llanura, registraron el mayor y menor valor respectivamente.

En cuanto al valor promedio de la densidad básica de la madera se encontró un valor de 0.45 g/cm<sup>3</sup>, siendo las especies *Schefflera patula* y *Clethra castaneifolia* registradas en el bosque montano esclerófilo, las de menor y mayor valor respectivamente.

Complementariamente, se encontró correlaciones según el tipo de bosque para el área foliar (AF), área foliar específica (AFE) y densidad básica de la madera (DB): (1) no hubo; (2) AF vs AFE, r= 0.928; (3) AFE vs DB, r= - 0.762; (4) AF vs DB, r= 0.941; (5) AF vs AFE, r= - 0.758. En el Anexo 6, se aprecia mayor detalle. Esta información es de carácter exploratorio y de información básica ya que el número de muestras no es tan grande como para realizar alguna inferencia.

### 3. ANÁLISIS DEL VALOR PROMEDIO DE LOS RASGOS FUNCIONALES SEGÚN TIPO DE BOSQUE

#### 3.1. ÁREA FOLIAR

De la Figura 12, se puede observar que el mayor y menor valor promedio del área foliar encontrados corresponden a los tipos de bosque húmedo de llanura y montano esclerófilo con valores de 23.84 m<sup>2</sup> y 8.75 m<sup>2</sup> respectivamente.

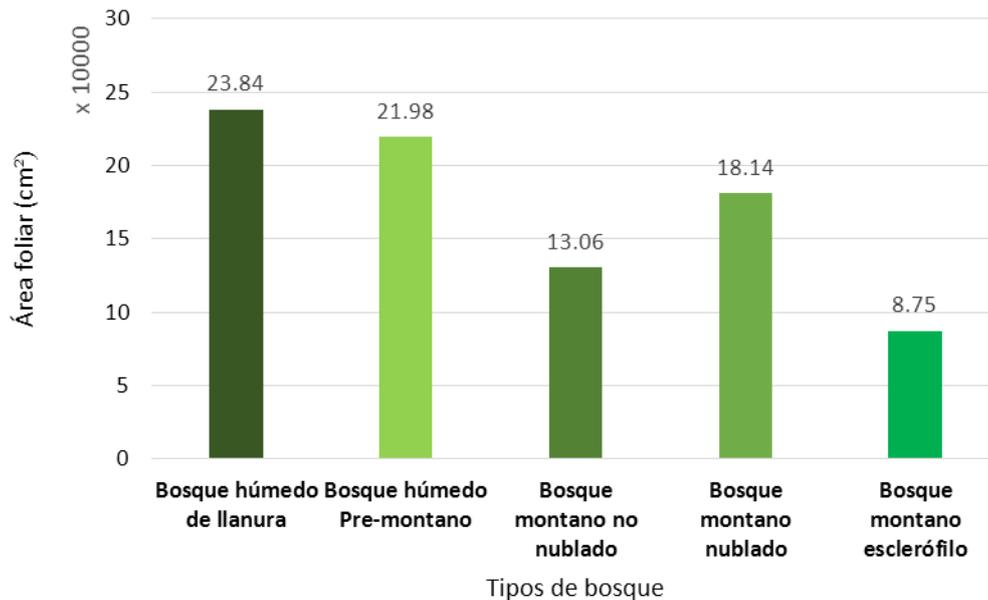


Figura 12: **Valor promedio del área foliar según tipo de bosque para el gradiente altitudinal**

Bermeo (2010), reportó valores bajos de área foliar en zonas donde los individuos arbóreos tienen un crecimiento más lento como es el caso de los bosques a mayor altitud, lo cual se puede ver en los resultados de este estudio donde se encontró que, el promedio del área foliar disminuye en los bosques de mayor altitud.

Esto puede deberse a varios factores ambientales que hacen que se reduzca el tamaño y/o la presencia de las hojas y que existan modificaciones morfológicas de las plantas las cuales serían una estrategia para mitigar las condiciones climáticas limitantes y mejorar la actividad fisiológica de las plantas.

Rollet (1990), reportó para bosques húmedos tropicales de América del sur, la presencia de hojas compuestas en individuos arbóreos entre el 20 a 45 por ciento, sobre todo en los bosques siempre verdes. Asimismo, para este trabajo se observó que en los bosques de

mayor altitud las hojas eran en su mayoría compuestas con foliolos y foliolulos muy pequeños; lo cual aparte de hacer más difícil su conteo y estimación, son muestras fehacientes de que se espera encontrar menor área foliar por individuo. No hay muchos estudios que hayan estimado el área foliar en gradientes altitudinales para bosques tropicales, sobre todo para diferentes especies arbóreas.

### 3.2. ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA

Para la media del área foliar específica se observa (Figura 13) que el mayor y menor valor se encontró en los bosques montano no nublado y montano nublado con 143.49  $\text{cm}^2/\text{g}$  y 85.66  $\text{cm}^2/\text{g}$  respectivamente.

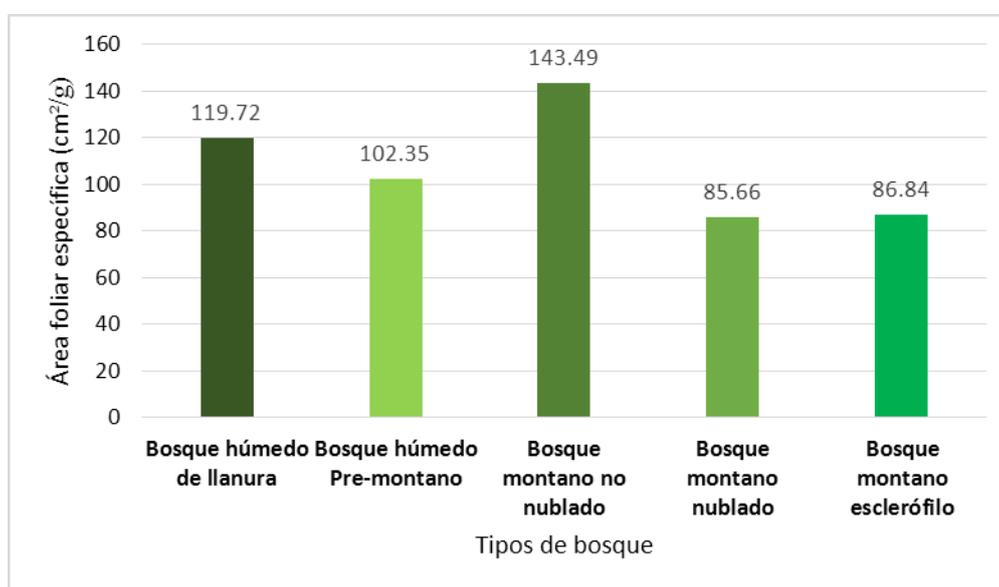


Figura 13: **Valor promedio del área foliar específica según tipo de bosque para el gradiente altitudinal.**

Valenzuela *et al.* (2015), describen que los bosques de mayor altitud, en especial el bosque montano esclerófilo, son bosques con especies arbóreas que presentan hojas coriáceas y/o gruesas además de ser pequeñas y compuestas en su mayoría, características que son condicionantes para encontrar menores valores de área foliar específica. Respecto al uso del área foliar específica como indicador de la densidad de la hoja, según Bermeo (2010), en los bosques montanos y de altura se pueden apreciar hojas escleromorfas y mesofilas; siendo las primeras más densas y/o gruesas con valores bajos de área foliar específica lo cual coincide con los resultados reportados en la Figura 13.

Además, el escleromorfismo está bastante asociado con la longevidad de las hojas y el crecimiento lento de las especies arbóreas, características morfológicas que se dan en ambientes con alta radiación solar; señalados por Niessner (2014) para los bosques de mayor altitud en esta gradiente altitudinal, lo que les permite a las plantas mitigar las condiciones climáticas del medio. Al igual que para el área foliar, no hay muchos estudios que se puedan tener como referencias sobre el valor promedio del área foliar específica en gradientes altitudinales tropicales.

### 3.3. DENSIDAD BÁSICA

De la Figura 14 se observa que el mayor y menor valor promedio encontrado para la densidad básica corresponden a los tipos de bosque húmedo de llanura y montano nublado con valores de  $0.50 \text{ g/cm}^3$  y  $0.37 \text{ g/cm}^3$  respectivamente.

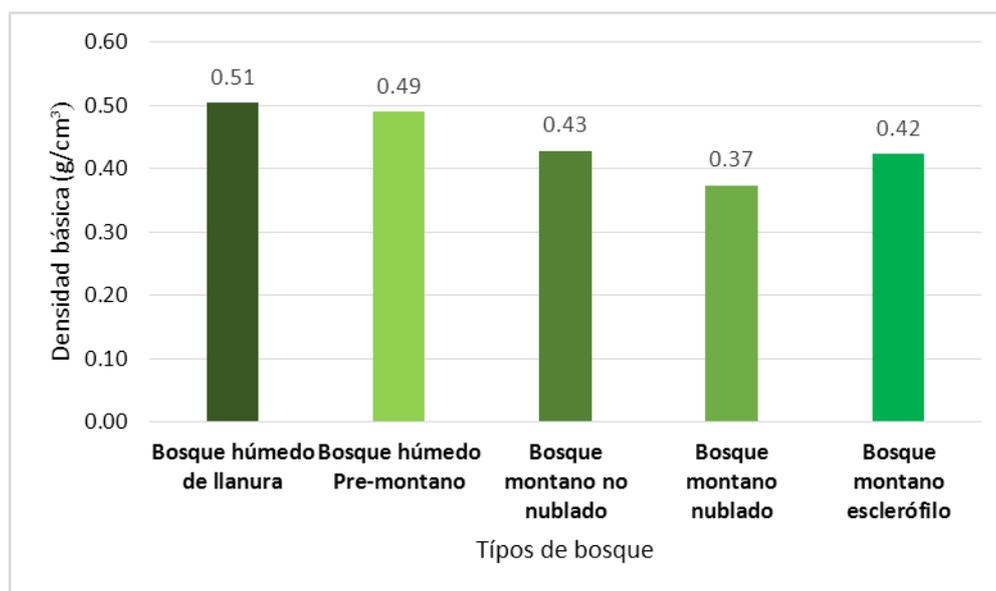


Figura 14: **Valor promedio de la densidad básica según tipo de bosque para la gradiente altitudinal.**

Estudios preliminares, sobre la anatomía de la madera a lo largo del transecto, encontraron que la densidad básica de la madera (en el fuste) promedio para el bosque montano nublado fue de  $0.41 \text{ g/cm}^3$  mientras que para el resto de parcelas obtuvo un valor promedio de  $0.6 \text{ g/cm}^3$ . En este trabajo, el valor promedio para el bosque montano nublado fue de  $0.37 \text{ g/cm}^3$ . Es importante mencionar que la forma de obtención de las muestras de dichos estudios preliminares fue diferente ya que se utilizaron muestras pequeñas tomadas del fuste a una altura del DAP.

Según los resultados de la Figura 14, el valor promedio de la densidad básica de la madera disminuye en los bosques de mayor altitud. Esto coincide con lo señalado por Chave *et al.* (2006), quienes mencionan esa relación, añadiendo que hay marcadas diferencias con las regiones de baja altitud.

Chave *et al.* (2006) también reportaron, para bosques estacionales de la amazonia, un valor promedio de la densidad básica de  $0.66 \text{ g/cm}^3$ . Luego se añadieron más datos para estos bosques obteniéndose un nuevo promedio de  $0.60 \text{ g/cm}^3$ . Estos valores son más altos que los reportados en este trabajo. Hay que considerar que la cantidad de muestras y forma de obtención de estas, así como la variabilidad de especies y criterios de selección fueron diferentes.

Álvarez *et al.* (2013), Andrade (2005); encontraron que, en ambientes tropicales húmedos la densidad básica de la madera es más baja que en sitios donde las condiciones son más secas o frías (p- ej. bosques secos); sin embargo, creen que la idea de que una alta densidad básica de la madera es la mejor opción para que una especie se adapte a las condiciones extremas del medio se debe de repensar. Por otro lado, Tyree y Ewers (1991) mencionaron que en lugares donde hay mayor radiación solar se esperaría encontrar menor densidad básica de la madera.

La cantidad de muestras tomadas en este trabajo no es suficiente para corroborar la teoría que la densidad básica es un rasgo funcional que presenta una consistencia muy fuerte en géneros y especies de árboles; teoría sostenida por Álvarez *et al.* (2013) y demostrada por Chave *et al.* (2006). Al igual que para el área foliar y el área foliar específica no hay muchos estudios en gradientes altitudinales para la densidad básica.

## 4. PRECISIÓN EN LAS ESTIMACIONES DE LOS RASGOS FUNCIONALES SEGÚN TIPO DE BOSQUE

### 4.1. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Se analizó al coeficiente de variación (CV) con la finalidad de describir la calidad en el procesamiento de los datos ya que al tratarse de muestras de árboles de diferentes especies y con medias diferentes por tipo de bosque, el trabajar con porcentajes nos permite hacer una mejor interpretación de los resultados (Martínez 2011).

En la Figura 15 se puede apreciar la variación del CV para las estimaciones del área foliar, área foliar específica y la densidad básica de la madera según el tipo de bosque.

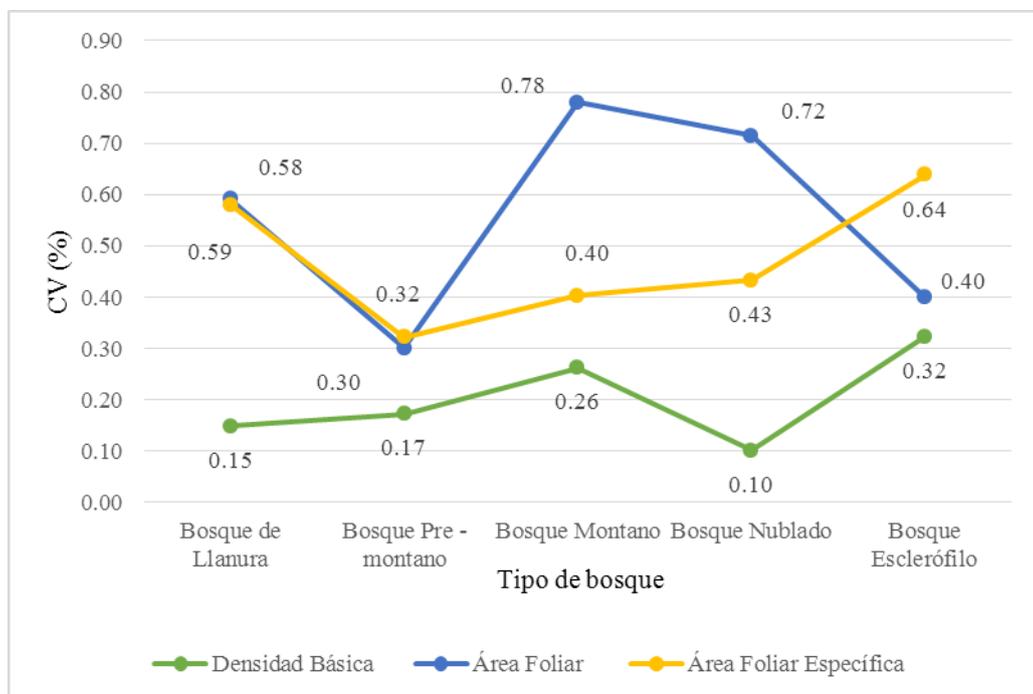


Figura 15: **Distribución del coeficiente de variación de los rasgos funcionales en los diferentes bosques de la gradiente altitudinal.**

Las estimaciones para el área foliar y área foliar específica presentaron un CV variable según tipo de bosque, siendo generalmente mayor al 30 por ciento en todos los tipos de bosque.

#### 4.1.1. ÁREA FOLIAR

Las estimaciones en los tipos de bosque montano no nublado y montano nublado, registraron los mayores valores del CV con valores de 78 y 72 por ciento respectivamente.

El menor valor del CV se registró en el bosque húmedo pre montano con un valor de 30 por ciento.

Entre las causas de la variabilidad del área foliar pueden estar varios factores como: el error angular en la toma de las fotografías; error en el cálculo del área foliar con el software R Studio y considerar como un solo grupo a diferentes especies arbóreas.

Sin embargo, como señalan Calvo *et al.* (2005), el cálculo del área foliar no es fácil determinarlo con precisión debido entre otras cosas a la forma compleja de las hojas entre especies e inclusive intra-específicamente pese a que, el emplear softwares e imágenes digitales reduce el error humano.

#### **4.1.2. ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA**

En el caso del área foliar específica, las estimaciones que registraron mayor valor del CV corresponden a los tipos de bosque montano esclerófilo y húmedo de llanura con valores de 64 y 58 por ciento respectivamente. El menor valor del CV se registró en el bosque húmedo pre montano con un valor de 32 por ciento.

La estimación de este rasgo funcional depende del área foliar (Lallana 1999) siendo evidente que contiene los mismos errores de estimación. Además, al ser un cociente entre el área foliar y el peso seco de un grupo de hojas (Baeza y Altesor 2003) se añade un porcentaje al error producido a la hora de secar las muestras en estufa.

#### **4.1.3. DENSIDAD BÁSICA**

Para la densidad básica de la madera, se encontró que en los tipos de bosque montano no nublado y montano esclerófilo se registraron los mayores valores del CV con 32 y 26 por ciento respectivamente. El tipo de bosque donde se registró menor CV es el bosque montano nublado con un valor del 10 por ciento.

Aunque se trabajó en muestras de ramas de diferentes especies arbóreas, y de la variabilidad inter e intra-específica que ello implica (Álvarez *et al.* 2013); el tipo de muestreo y forma de cálculo empleados (Chave 2005) son uno de los más precisos. Además, se consideró la corteza en el cálculo y no se realizó extrapolaciones como en el caso del área foliar y área foliar específica, factores que pudieron disminuir la variabilidad de las estimaciones para este rasgo.

Además, Sarmiento *et al.* (2011) señalan que una muestra tomada en cualquier parte del árbol puede ser representativa de todo el árbol. De igual forma, algunos autores mencionan que la densidad básica de la madera es altamente consistente en los géneros (Álvarez *et al.* 2013). Asimismo, Álvarez *et al.* (2013) señalan que las diferencias en las estimaciones para distintas partes del árbol se pueden considerar muy pequeñas.

#### **4.2. DIAGRAMAS DE CAJAS**

Los diagramas de caja sirven para observar de manera gráfica la variabilidad o dispersión de las estimaciones (Vinasco 2012). En este trabajo se utilizaron para complementar el análisis de los resultados obtenidos con el coeficiente de variación.

En el Anexo 7 se muestran las figuras de los diagramas de cajas para cada rasgo funcional donde se puede apreciar que las estimaciones del área foliar en los tipos de bosque húmedo de llanura y montano nublado presentan alta dispersión mientras que las estimaciones del bosque montano esclerófilo registran menor variabilidad. Se puede apreciar también que (Anexo 7) el bigote superior del bosque montano no nublado es un poco largo, lo que sugiere que las estimaciones en este bosque pueden tener algún sesgo. Por otro lado, se encontró que no hay presencia de valores atípicos para ningún tipo de bosque.

En cuanto al área foliar específica, en los tipos de bosque húmedo de llanura, montano no nublado y montano esclerófilo, se observaron mayor dispersión en las estimaciones. Además, los bigotes superiores de estos mismos bosques son un poco largos, lo cual sugiere algún sesgo. Asimismo, no se observa la presencia de datos atípicos.

Para la densidad básica de la madera, se observó que las estimaciones en los tipos de bosque montano esclerófilo y montano no nublado presentan mayor variabilidad mientras que menor dispersión de las estimaciones se dio en el bosque montano nublado. Se observa también que el bigote inferior del bosque de llanura y el bigote superior del bosque esclerófilo son relativamente largos, lo que indica algún tipo de sesgo para esos datos. Asimismo, no se registran valores atípicos.

## **5. INTERPRETACIÓN ECOLÓGICA DE LOS RASGOS FUNCIONALES EN EL TRANSECTO ALTITUDINAL YUYAPICHIS**

Bermeo (2010), señala que los espacios naturales protegidos vienen siendo muy afectados por los efectos del cambio climático sobre todo en la pérdida de especies raras o amenazadas resultando en movimientos de especies fuera de su frontera.

La Reserva Comunal El Sira es un área natural protegida donde hay poco impacto antropogénico, y el Transecto Altitudinal Yuyapichis, un área representativa de la alta diversidad biológica (alto número de endemismos) y de ecosistemas presentes en el área. Evaluar rasgos funcionales en individuos arbóreos que influyan fuertemente en la función de los ecosistemas nos ayuda a comprender: (a) la relación entre las estructuras y la morfología de la vegetación con función de los ecosistemas; (b) las adaptaciones de las plantas a su ambiente; (c) las respuestas de la vegetación a los cambios de uso en la tierra; (d) los procesos y respuestas de la vegetación frente al cambio climático global.

En el plano de la investigación científica, los resultados de esta investigación y su futura integración a estudios ecofisiológicos pueden contribuir a comprender la respuesta de la vegetación a factores ambientales en el Transecto Altitudinal Yuyapichis, ya que, el área foliar, área foliar específica y la densidad básica de la madera están potencialmente relacionados a diversos procesos agronómicos, biológicos, ambientales, fisiológicos y de calidad de sitio (Cabezas-Gutiérrez *et al.* 2009).

Además, el generar conocimiento ecofisiológico en la localidad estudiada contribuye con el objetivo de creación de la Reserva Comunal El Sira, el cual es: conservar la alta diversidad biológica y alta complejidad de ecosistemas en beneficio de las comunidades nativas vecinas (SERNANP *et al.* 2009).

### **5.1. CONSIDERACIONES APLICATIVAS**

Debido a la alta biodiversidad presente en el área y a su alta vulnerabilidad a los efectos del cambio climático; las evaluaciones y registros sobre la densidad básica de la madera, área foliar y área foliar específica, así como otros rasgos funcionales, contribuyen al conocimiento de la acumulación y rendimiento de la biomasa presente en el área.

El análisis de los rasgos funcionales tiene potencial práctico para comprender aspecto como: (1) la fenología de las especies arbóreas; (2) la identificación de especies con potencial

maderable: en el caso de plantaciones forestales, sirven para conocer el volumen en pie de material seco; (3) la determinación del crecimiento vegetal; (4) las relaciones entre el bioclima y la eficiencia energética en comunidades vegetales; (5) la determinación de las especies con mayor captación de carbono (servicios ecosistémicos) entre otros posibles usos.

Está claro que, complementándose con futuros estudios en ecofisiología, pueden surgir diversos usos de la información brindada en este trabajo sobre todo en la perspectiva de la conservación y manejo de los recursos para la localidad estudiada.

## V. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de la presente investigación son:

- 1) Se estimó el área foliar, área foliar específica y densidad básica de la madera en 35 individuos arbóreos pertenecientes a 19 familias y 28 especies diferentes a lo largo de los 2 000 m del gradiente altitudinal Yuyapichis. Las familias Rubiaceae y Nyctaginaceae; y las especies *Neea divaricata*, *Schefflera patula*, *Theobroma subincanum* registraron más individuos.
- 2) Se encontró que el valor promedio de las estimaciones del área foliar y el área foliar específica tiende a ser menor conforme ascendemos hacia los bosques de mayor altitud.
- 3) Se encontró que el valor promedio de las estimaciones de la densidad básica de la madera tiende a disminuir conforme ascendemos hacia los bosques de mayor altitud.
- 4) Las estimaciones del valor promedio para el área foliar, área foliar específica y densidad básica de la madera según tipo de bosque, muestran diferente variabilidad.
- 5) Estos resultados pueden servir como fuente de información para futuros estudios sobre ecofisiología de individuos arbóreos en la Reserva Comunal El Sira que contribuyan al manejo y conservación de sus bosques.



## VI. RECOMENDACIONES

A partir de esta investigación se sugiere:

- Replicar ésta metodología de trabajo en campo asegurando, sobre todo, la representatividad de las hojas y las ramas al momento de la colección de las muestras y también al momento de tomar fotografías.
- Evaluar mayor cantidad de muestras (ramas) por cada árbol a fin de aumentar la precisión en las estimaciones para poder realizar inferencias estadísticas.
- Extender ésta metodología hacia otros gradientes altitudinales en otras localidades evaluando rasgos funcionales del tallo y hojas en individuos de la misma especie y que sean sensibles a los efectos del cambio climático.
- Realizar evaluaciones en parcelas con afinidad florística para un ciclo climático anual considerando que los atributos de los rasgos funcionales varían según especie, tiempo y espacio.
- Complementar con investigaciones edafológicas y con estudios meteorológicos, entre otros, que se puedan correlacionar con la diversidad de estos bosques y sus características intrínsecas.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, JL. 2005. Fisiología Ecológica de Árboles Tropicales: Avances y Perspectivas. Revista Chapingo 11 (2): 83 – 91.
- Alexander, EB. 1979. Soil organic matter in relation to altitude in equatorial Colombia. Turrialba 29: 183-188.
- Álvarez, E. 1993. Diversidad, composición florística y biomasa de un bosque inundable (varzea) en la Amazonia colombiana. Tesis Mag. Sc. Antioquia, CO, Universidad de Antioquia. 330 p.
- \_\_\_\_\_; Benítez, D; Velásquez, C; Cogollo, A. 2013. Densidad básica del fuste de árboles del bosque seco en la costa Caribe de Colombia. Revista Intrópica 8: 17 – 28.
- Bermeo, D. 2010. Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosques secundarios dentro de un gradiente altitudinal y su relación con variables bioclimáticas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 114 p.
- Bultynck, L, Fiorani, F; Lambers, H. 1999. Control of leaf growth and its role in determining variation in plant growth rate from an ecological perspective. Plant Biol (1):13-18.
- Cabezas-Gutiérrez, M; Peña, F; Duarte, HW; Colorado, JF; Lora Silva, L. 2009. Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. Revista Actualidad & Divulgación Científica 12 (1): 121 – 130.
- Calvo P, M; Silva-Pando, FJ; Rozados L, MJ; Díaz B, M; Rodríguez D, P; Duo S, Ivonne. 2005. El índice de área foliar (LAI) en masas de abedul (*Betula celtibérica* rothm. et vasc.) en Galicia. Sociedad Española de Ciencias Forestales 20: 111-116.
- Cardoza, FS. 2011. Diversidad y Composición Florística y funcional de los bosques del Parque Nacional Monte Cristo, El Salvador. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 127 p.

- Cavieres, LA. 2000. Variación morfológica de *Phacelia secunda* J.F. Gmel. (Hydrophyllaceae) a lo largo de un gradiente altitudinal en Chile central. *Gayana Botánica* 57: 89-96.
- Chave, J. 2005. Measuring wood density for tropical forest trees. *Lab. Evolution et Diversité Biologique* feb. 2005: 1- 7.
- \_\_\_\_\_; Muller-Landau, HC; Baker, TR; Easdale, TS; Ter Steege, H; Webb, CO. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species. *Ecological Applications* 16 (6): 2356–2367.
- Cornelissen, JHC; Lavorel, S; Garnier, E; Díaz, S; Buchmann, N; Gurvich, DE; Reich, PB; Steege, H ter; Morgan, HD; Heijden, MGA van der; Pausas, JG; Poorter, H. 2003. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51: 335-380.
- Daughtry, C. 1990. Direct measurements of canopy structure. *Remote Sensing Reviews*, 5(1):45-60.
- Denslow, J. 1987. Tropical treefall gaps and tree species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 431-451.
- Díaz, S; Cabido, M. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science* 8: 463-474.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution* 16(11): 646-655.
- Encuentro de Ecología del Uruguay (I, Montevideo, UY). 2003. Área Foliar Específica como variable de respuesta al pastoreo en gramíneas dominante de una pradera natural (Actas). Eds. Baeza, S; Altesor, A. Montevideo, UY. Pesca SRL. 105 p.
- Espina, AI. 2006. Densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus* en dos sitios en Chile. Tesis Ing. For. Valdivia, CL, Universidad Austral de Chile. 50 p.
- Font Quer, P. 1953. Diccionario de botánica. Ediciones Península, Barcelona. 1244 p.
- Guariguata, M; Kattan, G. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Editorial LUR, Cartago, CR. 691 p.
- Holdridge, L. 1978. Ecología basada en las zonas de vida. Centro Científico Tropical, CR. 216 p.

- Jiménez-Noriega, MX. 2014. Variaciones morfo-anatómicas de seis especies a lo largo de un gradiente altitudinal en el Cerro Tláloc, Estado de México. Tesis Mag. Sc. Texcoco, MX, Colegio de Postgraduados. 82 p.
- Körner, C. 2000. The alpine life zone under global change. *Gayana Botanic* 57 (1): 1-17.
- \_\_\_\_\_. 2007. The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 569-574.
- Kucharik, C; Norman, J; Gower, S. 1998. Measurements of branch area and adjusting leaf area index to indirect measurements. *Agric. Forest Meteorol.* 91: 69-88.
- Lallana, VH. 1999. Medición del Área Foliar mediante Escáner y Software IDRISI. *Revista FAVE* 13(2): 27 - 33.
- Lomolino, M. 2001. Elevation-gradient of species density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10:3-13.
- Marcelo-Peña, JL; Reynel, C. 2014. Patrones de diversidad y composición florística de parcelas de evaluación permanente en la selva central de Perú. *Rodriguésia* 65(1): 035-047.
- Martínez, C. 2011. Estadística Básica Aplicada. Ed. A Reyes. 4 ed. Bogotá, CO. Ecoe Ediciones. 384 p.
- Martínez, M. 2000. Edad de transición de la madera juvenil a la madera dura *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. de Tanetze de Zaragoza, Oaxaca. Tesis Ing. For. Chapingo, MX, Universidad Autónoma Chapingo. 63 p.
- Medina, E. 1977. Introducción a la Ecofisiología Vegetal. Ed. EV Chesneau. Washington, D.C., US. s.e. 111 p. (Serie de Biología, monografía no. 16).
- Monteagudo M, AL; Valenzuela G, L; Vásquez M, R; Rojas G, RP del; Phillips, OL; López-González, G. 2014. Primer catálogo de los árboles y afines de la Reserva Comunal El Sira, Perú. *Arnaldoa* 21(1): 127 - 164.
- Niessner, A. 2014. Dinámica de incremento radial y del ciclo de agua en árboles tropicales de la cordillera El Sira. *Las ANPs Informan* 2(2): 1- 7.
- Nogueira, EM; Fearnside, PM; Nelson, BW. 2008. Normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests. *Forest Ecology and Management* 256: 990–996.

- Núñez, CE. 2007. Relaciones de conversión entre densidad básica y densidad seca de madera. *Revista Ciencia Tecnología* 9(9): 44 - 50.
- Pardos C, JA. 2004. La Ecofisiología en el ámbito forestal. *Sociedad Española de Ciencias Forestales* 20: 11 – 23.
- Patiño, S. 2005. Manual de campo para el estudio de hojas y madera editado para establecer efectos de sequía (En inglés). PAN-AMAZONIA Project ene. 2005: 1 - 12.
- Pérez A, JA; Garcia M, E; Enriquez Q, JF; Quero C, AR; Perez, J; Hernandez G, A. 2004. Análisis de crecimiento, area foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*Brachiaria híbrido*, cv.). *Tec Pecu Méx* 42(3): 447-458.
- Premoli, AC; Mathiasen, P. 2011. Respuestas Ecofisiológicas adaptativas y plásticas en ambientes secos de montaña: *Nothofagus Pumilio*, El árbol que acaparó los Andes Australes. *Ecología Austral* 21: 251 - 269.
- Proyecto CoGAP (Proyecto Co-Gestión Amazonia Perú)/GIZ (Cooperación Alemana al Desarrollo, DE); SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, PE). 2014. Transecto Altitudinal Yuyapichis: Monitoreo de la Biodiversidad y del cambio climático - resultados preliminares. Ed. Kohler, F. Lima, PE. 42 p.
- Proyecto Madidi (Proyecto Inventario Florístico de la Región Madidi, BO); Herbario Nacional de Bolivia; Missouri Botanical Garden, US; UAM (Universidad Autónoma de Madrid, ES). 2012. Protocolo para la medición de características funcionales. La Paz, BO. 13 p.
- Ramírez, C. 2015. Atributos morfológicos de las especies arbóreas en cuatro áreas de bosque de la gradiente altitudinal del Valle de Chanchamayo, Junín. Tesis Ing. For. Lima, PE, UNALM. 149 p.
- Rollet, B. 1990. Leaf morphology. Stratification of tropical forest as seen in leaf structure. Kluwer Academic Publishers Dordrecht feb. 1990:1-75.
- Sarmiento, C; Patiño, S; Paine, J; Beauchene, J; Thibaut, A; Baraloto, C. 2011. Within-individual variation of trunk and branch xylem density in tropical trees. *American Journal of Botany* 98(1): 140–149.

- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, PE); INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE); IANP (Intendencia de Áreas Naturales Protegidas, PE). 2009. Plan Maestro de la Reserva Comunal El Sira 2009 – 2013. Eds. Gálvez-Durand, CM; Macedo, MO; Minaya, RY; Sueyo, H. Lima, PE. 198 p.
- Tyree, M; Ewers, T. 1991. The Hydraulic architecture of trees and other woody plants. *Review New Phytol.* 119 (34): 345-360.
- Valencia M, S; Vargas H, J. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques* 3(1): 81 - 87.
- Valenzuela G, L; Vásquez M, R; Rojas G, R; Villalba V, MI; Phillips, O; López G, G; Chama M, V; Monteagudo M, A; Bellota T, D; Huillca A, Y; Pallqui C, NC. 2015. Línea base para el monitoreo de la vegetación en la Reserva Comunal El Sira (RCS). *Arnaldoa* 22(1): 243-268.
- Vargas, H. 1985. Respuesta a la sequía de cuatro especies de *Pinus* en estado de plántula. Tesis Mag. Sc. Montecillo, MX, Colegio de Postgraduados. 23 p.
- Vásquez, MR; Rojas, GR; Monteagudo, MA; Van der Werff, H; Ortiz, R. 2005. Flora vascular de la selva central del Perú: una aproximación de la composición florística de tres Áreas Naturales Protegidas. *Arnaldoa* 12: 112-125.
- Vera, M; Cavelier, J; Santamaría, J. 1999. Reabsorción de nitrógeno y fósforo foliar en árboles de bosques montanos en los Andes centrales de Colombia. *Revista Biología Tropical* 47(1-2): 33 - 43.
- Vinasco, LE. 2012. Estadística Descriptiva con Minitab - versión 15.0 ®. Ed. Murgueitio, I. 23.ed. Santiago de Cali, CO, Pontificia Universidad Javeriana. Sello Editorial Javeriano. 253 p.
- Violle, C; Navas, ML; Vile, D; Kazakou, E; Fortunell, C, Hummel, I; Garner, E. 2007. Let the concept of trait be functional. *Oikos* 116: 882-892.
- Wieman, MC; Williamson, GB. 1989. Wood specific gravity gradients in tropical dry and montane rain forest trees. *American Journal of Botany* 76 (6): 924-928.
- Wilson, E. 1988. The current state of biological diversity. Wilson, O. Ed. *Biodiversity*. 3-18 p.



## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1 RESÚMEN COMPARATIVO DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS

NOMBRE PLOT	PARCELA PERMANENTE I	PARCELA PERMANENTE II	PARCELA PERMANENTE III	PARCELA PERMANENTE IV	PARCELA PERMANENTE V
SIGLAS PLOT	PP RCS 01	PP RCS 02	PP RCS 03	PP RCS 04	PP RCS 05
DEPARTAMENTO	HUÁNUCO	HUÁNUCO	HUÁNUCO	HUÁNUCO	HUÁNUCO
LOCALIDAD	TAY	TAY	TAY	TAY	ACP PANGUANA
POSICIONAMIENTO (UTM)	8953153 E y 0524933 N	8957457 E y 0528009 N	8958452 E y 0529122 N	8958199 E y 0531266 N	8936901 E y 0507717 N
ALTITUD	845 msnm	1391 msnm	1568 msnm	2230 msnm	251 msnm
AUTOR	Valenzuela (2010)	Valenzuela (2010)	Valenzuela (2010)	Valenzuela (2010)	Valenzuela (2011)
FAMILIAS MAS ABUNDANTES	SAPOTACEAE (65 ind.)	RUBIACEAE (126 ind.)	URTICACEAE (115 ind.)	ARALIACEAE (98 ind.)	MORACEAE (101 ind.)
	BURSERACEAE (55 ind.)	LAURACEAE (90 ind.)	MALVACEAE (114 ind.)	MELASTOMATACEAE (96 ind.)	MYRISTICACEAE (48 ind.)
	FABACEAE (53 ind.)	CHRYSOBALANACEAE (64 ind.)	MELASTOMATACEAE (84 ind.)	CLUSIACEAE (53 ind.)	ARECACEAE (45 ind.)
	MELASTOMATACEAE (50 ind.)	NYCTAGINACEAE (62 ind.)	RUBIACEAE (69 ind.)	CYATHEACEAE (42 ind.)	FABACEAE (39 ind.)
FAMILIAS MAS ESPECIOSAS	SAPOTACEAE (23 spp.)	LAURACEAE (27 spp.)	RUBIACEAE (16 spp.)	MELASTOMATACEAE (10 spp.)	FABACEAE (29 spp.)
	FABACEAE (19 spp.)	RUBIACEAE (11 spp.)	MELASTOMATACEAE (12 spp.)	CUNONIACEAE (5 spp.)	MORACEAE (21 spp.)
	LAURACEAE (18 spp.)	MELASTOMATACEAE (11 spp.)	FABACEAE (9 spp.)	CLUSIACEAE (3 spp.)	LAURACEAE (18 spp.)
	MELASTOMATACEAE (12 spp.)	FABACEAE (9 spp.)	LAURACEAE (6 spp.)	MRRRTACEAE (3 spp.)	MALVACEAE (13 spp.)

FUENTE: Elaboración propia.

**ANEXO 2**  
**LISTA DE ÁRBOLES EVALUADOS EN EL GRADIENTE**

TIPO DE BOSQUE	ALTITUD (MSNM)	N° PARCELA	N° ARBOL	FAMILIA	GENERO/ ESPECIE	DIAMETRO (cm)	HTOTAL (m)
BOSQUE DE LLANURA	250 – 650	5	3369	CHRYSOBALANACEAE	<i>Hirtella elongata</i>	34.25	21.4
		5	3488	SAPOTACEAE	<i>Diploon cuspidatus</i>	17.38	13
		5	3489	MALVACEAE	<i>Theobroma subincanum</i>	12.83	10.6
		5	3492	VIOLACEAE	<i>Leonia glycyarpa var. Glycyarpa</i>	19.80	16.3
		5	3501	APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	14.16	16.5
		5	3505	MORACEAE	<i>Castilla ulei</i>	24.00	12.4
		5	3509	CANNABACEAE	<i>Celtis schippii</i>	26.96	19
		5	3607	MORACEAE	<i>Maquira coriácea</i>	17.06	18
BOSQUE PRE-MONTANO	650 – 1050	1	194	LECYTHIDACEAE	<i>Eschweilera coriacea</i>	11.60	16.3
		1	200	BURSERACEAE	<i>Protium altsonii</i>	19.10	24
		1	219	MALVACEAE	<i>Theobroma subincanum</i>	17.95	15
		1	330	NYCTAGINACEAE	<i>Neea divaricata</i>	15.28	12.5
		1	356	BURSERACEAE	<i>Protium amazonicum</i>	21.01	23.7
BOSQUE MONTANO	1050-1500	2	1005	CARDIOPTERIDACEAE	<i>Dendrobangia boliviana</i>	46.22	22.8
		2	1227	NYCTAGINACEAE	<i>Neea divaricata</i>	15.02	7
		2	1232	RUBIACEAE	<i>Psychotria indet1</i>	30.62	12
		2	1233	CHRYSOBALANACEAE	<i>Licania heteromorpha var. heteromorpha</i>	22.98	20.5
		2	1250	CARDIOPTERIDACEAE	<i>Dendrobangia boliviana</i>	27.12	22
		2	1355	SAPOTACEAE	<i>Pouteria vernicosa vel sp. aff.</i>	17.89	11.4

Continuación

TIPO DE BOSQUE	ALTITUD (MSNM)	N° PARCELA	N° ARBOL	FAMILIA	GENERO/ ESPECIE	DIAMETRO (cm)	HTOTAL (m)
		2	1378	NYCTAGINACEAE	<i>Neea divaricata</i>	18.53	11
		2	1383	RUBIACEAE	<i>Psychotria indet.</i>	23.7	15.6
BOSQUE NUBLADO	1500-1800	3	1854	PHYLLANTHACEAE	<i>Hieronyma duquei</i>	13.37	9
		3	1879	FABACEAE	<i>Inga cecropietorum</i>	15.60	9.5
		3	1888	RUBIACEAE	<i>Elaeagia karstenii</i>	14.01	10.4
		3	1905	MELASTOMATACEAE	<i>Meriania hexamera</i>	26.10	17
		3	2013	LAURACEAE	<i>Endlicheria arunciflora</i>	15.60	11
BOSQUE ESCLEROFILO	1800-2230	4	2592	CUNONIACEAE	<i>Weinmannia cochensis</i>	13.81	7
		4	2605	RUBIACEAE	<i>Cinchona hirsuta vel sp. aff.</i>	10.09	5
		4	2618	CUNONIACEAE	<i>Weinmannia cochensis</i>	7.89	3.5
		4	2620	MELASTOMATACEAE	<i>Miconia elongata</i>	7.64	7
		4	2807	CLETHRACEAE	<i>Clethra castaneifolia</i>	14.99	7
		4	2808	ARALIACEAE	<i>Schefflera patula</i>	17.70	8.7
		4	2810	RUBIACEAE	<i>Ladenbergia macrocarpa</i>	13.62	10
		4	2811	ARALIACEAE	<i>Schefflera patula</i>	11.40	9.7
		4	2827	RUBIACEAE	<i>Ladenbergia macrocarpa</i>	10.28	6.3

FUENTE: Elaboración propia.

**ANEXO 3**  
**ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR, ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA Y DENSIDAD BÁSICA**

N° Parcela	N ° Árbol	HOJAS TOTALES EN ARBOL			HOJAS SELECCIONADAS		
		# Ramas estimadas en árbol	# hojas húmedas en rama colectada	# hojas húmedas totales en árbol	# hojas húmedas seleccionadas	Peso húmedo de # hojas húmedas seleccionadas (gr)	peso promedio de hojas húmedas seleccionadas (g)
1	194	47	70	3290	13	18.05	1.39
1	200	85	186	15810	30	7.95	0.27
1	219	72	23	1656	10	40.65	4.07
1	330	60	86	5160	15	23.2	1.55
1	356	120	31	3720	16	20.7	1.29
2	1005	80	8	640	6	20.2	3.37
2	1227	42	21	882	13	18.3	1.41
2	1232	89	46	4094	17	12.15	0.71
2	1233	77	27	2079	14	19.15	1.37
2	1250	64	20	1280	8	31	3.88
2	1355	90	34	3060	12	10.35	0.86
2	1378	67	39	2613	39	37.45	0.96
2	1383	95	94	8930	19	13.35	0.70
3	1854	64	34	2176	9	33.35	3.71
3	1879	63	43	2709	14	8.45	0.60
3	1888	52	22	1144	5	42.7	8.54

Continuación

N° Parcela	N ° Árbol	HOJAS TOTALES EN ARBOL			HOJAS SELECCIONADAS		
		# Ramas estimadas en árbol	# hojas húmedas en rama colectada	# hojas húmedas totales en árbol	# hojas húmedas seleccionadas	Peso húmedo de # hojas húmedas seleccionadas (gr)	peso promedio de hojas húmedas seleccionadas (g)
3	1905	71	92	6532	12	19.8	1.65
3	2013	84	19	1596	9	48.55	5.39
4	2592	30	36	1080	7	36.15	5.16
4	2605	34	13	442	7	9.25	1.32
4	2618	39	920	35880	184	41.95	0.23
4	2620	40	134	5360	25	23.15	0.93
4	2807	27	114	3078	29	17.85	0.62
4	2808	35	34	1190	7	48.3	6.90
4	2810	20	35	700	7	36.05	5.15
4	2811	27	36	972	8	38.25	4.78
4	2827	35	19	665	5	11	2.20
5	3369	110	32	3520	7	5.6	0.80
5	3488	60	88	5280	16	10.35	0.65
5	3489	20	42	840	11	26.05	2.37
5	3492	90	79	7110	18	15.8	0.88
5	3501	13	147	1911	11	5.9	0.54
5	3505	210	22	4620	6	16.35	2.73
5	3509	140	40	5600	13	8.3	0.64
5	3607	70	145	10150	14	4.25	0.30

FUENTE: Elaboración propia.

Estimación del Área Foliar a nivel de rama

N° Árbol	N° hojas	Peso seco (g)	Mediciones de AF (cm2)						AF promedio (cm2)	Desv. Estándar	Varianza	CV
			1	2	3	4	5	6				
194	13	6.86	893.065	610.605	706.483	840.984	653.709	792.408	749.542	110.57985	12227.90324	14.753
200	30	4.1	473.087	760.991	599.676	551.632	817.17	605.384	634.657	129.88446	16869.97383	20.465
219	10	14.88	1029.679	1003.26	956.783	1161.233	1216.573	1134.207	1083.623	101.69939	10342.7652	9.3851
330	15	6.68	708.09	569.547	556.477	359.314	497.231	404.187	515.808	125.54596	15761.78796	24.34
356	16	9.59	784.59	923.036	1171.704	818.678	843.189	1078.724	936.654	155.81742	24279.06804	16.636
1005	6	5.44	664.492	624.355	668.376	691.16	645.517	646.167	656.678	23.094309	533.347099	3.5168
1227	13	2.83	591.063	523.725	430.044	629.293	599.978	455.116	538.203	82.120825	6743.829932	15.258
1232	17	3.32	750.35	886.889	809.387	750.35	748.529	908.969	809.079	72.934212	5319.399289	9.0145
1233	14	7.75	634.102	964.012	494.58	376.957	464.012	561.24	582.484	206.24423	42536.68319	35.408
1250	8	9.07	841.517	813.58	752.442	955.418	925.856	853.082	856.983	74.161979	5499.99908	8.6538
1355	12	4.81	629.648	396.439	445.298	505.065	357.556	396.144	455.025	99.490005	9898.261155	21.865
1378	39	5.33	684.564	461.305	847.044	841.75	1019.489	1036.963	815.186	216.76679	46987.84017	26.591
1383	19	4.22	714.084	586.605	941.299	685.978	591.017	941.299	743.380	161.4249	26057.99815	21.715
1854	9	8.49	654.175	618.064	574.891	540.184	545.396	622.617	592.555	46.10893	2126.033428	7.7814
1879	14	3.39	263.69	265.255	275.269	310.154	346.729	324.143	297.540	34.555843	1194.106298	11.614
1888	5	9.74	744.423	709.431	723.986	744.423	685.329	723.986	721.930	22.432934	503.2365143	3.1074
1905	12	5.01	932.497	707.24	972.267	744.508	557.172	512.774	737.743	188.21464	35424.75247	25.512
2013	9	15.91	895.487	896.051	656.539	828.435	821.502	616.466	785.747	120.54982	14532.25792	15.342
2592	7	12.92	732.674	694.954	674.826	869.543	792.855	777.432	757.047333	71.50243	5112.597545	9.4449
2605	7	2.33	468.89	470.188	540.817	514.614	413.027	528.504	489.34	47.81454	2286.230215	9.7712
2618	184	15.78	545.437	763.41	769.245	555.027	767.28	874.202	712.4335	132.41448	17533.5947	18.586

Continuación

N° Árbol	N° hojas	Peso seco (g)	Mediciones de AF (cm2)						AF promedio (cm2)	Desv. Estándar	Varianza	CV
			1	2	3	4	5	6				
2620	25	8.3	651.528	469.347	434.224	602.33	431.377	404.323	498.854833	102.52179	10510.71766	20.551
2807	29	5.47	915.68	509.516	915.986	814.016	441.952	816.643	735.632167	207.37795	43005.61381	28.19
2808	7	12.91	577.902	574.847	704.746	649.661	744.307	913.319	694.130333	126.79836	16077.82451	18.267
2810	7	12.38	702.298	736.029	702.298	643.742	669.306	638.284	681.992833	38.155081	1455.810199	5.5946
2811	8	11.81	590.465	640.372	637.152	591.765	641.614	638.603	623.3285	25.002016	625.1008139	4.011
2827	5	3.61	464.561	322.907	414.753	521.935	332.507	359.938	402.766833	79.134803	6262.317059	19.648
3369	7	3.78	452.428	473.708	445.137	411.04	418.03	387.799	431.357	31.353378	983.0342848	7.2685
3488	16	5.21	672.657	767.477	715.696	589.096	616.541	614.93	662.732833	68.871048	4743.221225	10.392
3489	11	15.66	881.456	635.798	250.732	676.109	245.138	460.623	524.976	252.92729	63972.21523	48.179
3492	18	7.35	512.726	633.211	564.493	739.728	688.704	736.633	645.915833	93.15769	8678.355286	14.423
3501	11	2.2	337.004	370.061	356.047	374.488	372.938	397.088	367.937667	20.101942	404.0880731	5.4634
3505	6	10.88	451.969	451.231	475.066	494.161	765.771	754.496	565.449	151.68533	23008.43989	26.826
3509	13	5.23	635.765	696.484	617.115	597.003	565.338	669.103	630.134667	47.78764	2283.658551	7.5837
3607	14	2.19	637.956	439.32	621.721	537.597	579.659	538.638	559.1485	71.820105	5158.127519	12.845

FUENTE: Elaboración propia.

### Estimación del Área Foliar a nivel de árbol

N ° Árbol	N° ramas	N° hojas	AF promedio (cm2)
194	1	70	4035.99718
200	1	186	3934.87133
219	1	23	2492.3329
330	1	86	2957.29729
356	1	31	1814.76616
1005	1	8	875.570444
1227	1	21	869.405115
1232	1	46	2189.27259
1233	1	27	1123.36168
1250	1	20	2142.45625
1355	1	34	1289.2375
1378	1	39	815.185833
1383	1	94	3677.77639
1854	1	34	2238.53922
1879	1	43	913.872857
1888	1	22	3176.49053
1905	1	92	5656.02967
2013	1	19	1658.79852
2592	1	36	3893.38629
2605	1	13	908.774286
2618	1	920	3562.1675
2620	1	134	2673.86191
2807	1	114	2891.79541
2808	1	34	3371.49019
2810	1	35	3409.96417
2811	1	36	2804.97825
2827	1	19	1530.51397
3369	1	32	1971.91771
3488	1	88	3645.03058
3489	1	42	2004.45382
3492	1	79	2834.85282
3501	1	147	4916.98518
3505	1	22	2073.313
3509	1	40	1938.8759
3607	1	145	5791.18089

*FUENTE: Elaboración propia.*

Continuación

N ° Árbol	N° ramas	N° hojas	AF promedio (cm2)
194	47	3290	189691.8674
200	85	15810	334464.0633
219	72	1656	179447.9688
330	60	5160	177437.8373
356	120	3720	217771.9388
1005	80	640	70045.63556
1227	42	882	36515.01485
1232	89	4094	194845.2604
1233	77	2079	86498.84925
1250	64	1280	137117.2
1355	90	3060	116031.375
1378	67	2613	54617.45083
1383	95	8930	349388.7567
1854	64	2176	143266.5102
1879	63	2709	57573.99
1888	52	1144	165177.5077
1905	71	6532	401578.1063
2013	84	1596	139339.0756
2592	30	1080	116801.5886
2605	34	442	30898.32571
2618	39	35880	138924.5325
2620	40	5360	106954.4763
2807	27	3078	78078.47617
2808	35	1190	118002.1567
2810	20	700	68199.28333
2811	27	972	75734.41275
2827	35	665	53567.98883
3369	110	3520	216910.9486
3488	60	5280	218701.835
3489	20	840	40089.07636
3492	90	7110	255136.7542
3501	13	1911	63920.80736
3505	210	4620	435395.73
3509	140	5600	271442.6256
3607	70	10150	405382.6625

FUENTE: Elaboración propia.

## Estimación del Área Foliar Especifica a nivel de árbol

N° Parcela	N° Árbol	N° ramas	N° hojas	Peso seco (g)	AF promedio (cm2)	AF Especifica (cm2/g)
1	194	47	3290	1736.108	189691.8674	109.262731
1	200	85	15810	2160.7	334464.0633	154.794309
1	219	72	1656	2464.128	179447.9688	72.8241263
1	330	60	5160	2297.92	177437.8373	77.2167166
1	356	120	3720	2229.675	217771.9388	97.6698123
2	1005	80	640	580.2667	70045.63556	120.712837
2	1227	42	882	192.0046	36515.01485	190.177797
2	1232	89	4094	799.5341	194845.2604	243.698494
2	1233	77	2079	1150.875	86498.84925	75.1592043
2	1250	64	1280	1451.2	137117.2	94.4853914
2	1355	90	3060	1226.55	116031.375	94.5997921
2	1378	67	2613	357.11	54617.45083	152.942933
2	1383	95	8930	1983.4	349388.7567	176.156477
3	1854	64	2176	2052.693	143266.5102	69.7944052
3	1879	63	2709	655.965	57573.99	87.7699115
3	1888	52	1144	2228.512	165177.5077	74.120089
3	1905	71	6532	2727.11	401578.1063	147.254092
3	2013	84	1596	2821.373	139339.0756	49.3869684
4	2592	30	1080	1993.371	116801.5886	58.5949948
4	2605	34	442	147.1229	30898.32571	210.017167
4	2618	39	35880	3077.1	138924.5325	45.1478771
4	2620	40	5360	1779.52	106954.4763	60.102992
4	2807	27	3078	580.5745	78078.47617	134.484857
4	2808	35	1190	2194.7	118002.1567	53.7668732
4	2810	20	700	1238	68199.28333	55.0882741
4	2811	27	972	1434.915	75734.41275	52.7797206
4	2827	35	665	480.13	53567.98883	111.56976
5	3369	110	3520	1900.8	216910.9486	114.115608
5	3488	60	5280	1719.3	218701.835	127.203999
5	3489	20	840	1195.855	40089.07636	33.5233716
5	3492	90	7110	2903.25	255136.7542	87.8797052
5	3501	13	1911	382.2	63920.80736	167.244394
5	3505	210	4620	8377.6	435395.73	51.9714154
5	3509	140	5600	2252.923	271442.6256	120.48464
5	3607	70	10150	1587.75	405382.6625	255.31895

FUENTE: *Elaboración propia.*

### Estimación de la Densidad Básica a nivel de árbol

N° Parcela	N° Árbol	N° Ramita	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Volumen húmedo (cm3)	Densidad Básica (g/cm3)	Densidad Básica promedio (g/cm3)
1	194	1	10.98	4.57	7.2	0.63	0.59
1	194	2	6.48	2.65	4.9	0.54	
1	200	1	9.10	4.3	8.2	0.52	0.54
1	200	2	7.60	3.28	6	0.55	
1	219	1	20.50	5.92	14.8	0.40	0.38
1	219	2	12.25	3.5	10	0.35	
1	330	1	14.08	6.12	10.47	0.58	0.51
1	330	2	10.41	3.58	8.34	0.43	
1	356	1	15.11	4.64	10.85	0.43	0.43
2	1005	1	4.38	1.55	3.32	0.47	0.47
2	1227	1	5.38	1.38	4.55	0.30	0.30
2	1232	1	6.53	2.4	5.86	0.41	0.35
2	1232	2	3.63	0.9	3.19	0.28	
2	1233	1	11.46	5.17	8.66	0.60	0.56
2	1233	2	7.85	3.85	7.28	0.53	
2	1250	1	9.81	3.1	6.97	0.44	0.44
2	1355	1	5.98	3.2	5.2	0.62	0.60
2	1355	2	4.79	2.38	4.07	0.58	
2	1378	1	5.81	1.73	5.84	0.30	0.30
2	1383	1	4.52	1.48	4.13	0.36	0.41
2	1383	2	11.85	3.43	7.35	0.47	
3	1854	1	18.13	5.82	13.52	0.43	0.38
3	1854	2	11.48	3.09	9.22	0.34	
3	1879	1	5.66	1.58	4.05	0.39	0.33
3	1879	2	2.6	0.68	2.48	0.27	
3	1888	1	12.495	3.42	8.5	0.40	0.38
3	1888	2	10.475	2.39	6.62	0.36	
3	1905	1	17.01	6.16	14.07	0.44	0.43
3	1905	2	5.805	1.9	4.45	0.43	
3	2013	1	7.52	2.24	6.45	0.35	0.35
3	2013	2	22.355	6.47	17.95	0.36	

Continuación

N° Parcela	N° Árbol	N° Ramita	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Volumen húmedo (cm3)	Densidad Básica (g/cm3)	Densidad Básica promedio (g/cm3)
4	2592	1	9.43	2.5	7.37	0.34	0.39
4	2592	2	13.32	4.22	9.59	0.44	
4	2605	1	18.21	4.89	14.71	0.33	0.31
4	2605	2	3.415	0.8	2.77	0.29	
4	2618	1	8.215	3.98	6.72	0.59	0.59
4	2620	1	12.515	5.25	9.82	0.53	0.51
4	2620	2	8.84	5.38	11.25	0.48	
4	2807	1	16.925	5.64	12.45	0.45	0.65
4	2807	2	3.465	1.24	1.46	0.85	
4	2808	1	9	1.36	5.54	0.25	0.25
4	2808	2	8.35	1.1	4.19	0.26	
4	2810	1	17.605	5.99	14	0.43	0.40
4	2810	2	9.525	2.92	7.88	0.37	
4	2811	1	8.965	2.26	6.94	0.33	0.29
4	2811	2	5.775	1.29	4.9	0.26	
4	2827	1	16.535	5.2	12.78	0.41	0.42
4	2827	2	15.395	4.66	10.76	0.43	
5	3369	1	3.185	1.86	3.33	0.56	0.56
5	3369	2	5.49	3.3	5.21	0.63	
5	3488	1	4.355	1.95	3.55	0.55	0.55
5	3488	2	8.655	4.71	8.55	0.55	
5	3489	1	12.045	2.85	7.12	0.40	0.44
5	3489	2	9.74	4.18	8.63	0.48	
5	3492	1	12.28	5.1	9.5	0.54	0.51
5	3492	2	3.66	1.72	3.55	0.48	
5	3501	1	16.62	8.06	14.78	0.55	0.53
5	3501	2	10.23	3.86	7.43	0.52	
5	3505	1	12.185	4.6	12.08	0.38	0.36
5	3505	2	4.02	1.6	4.62	0.35	
5	3509	1	7.415	3.18	6.1	0.52	0.55
5	3509	2	1.365	0.98	1.72	0.57	
5	3607	1	5.865	2.39	5.11	0.47	0.50
5	3607	2	4.84	1.81	3.44	0.53	

FUENTE: Elaboración propia.

**ANEXO 4**  
**DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS PARA LOS ÁRBOLES EVALUADOS**

Tipo de bosque	Altitud (msnm)	N° Parcela	N° Árbol	Familia	Genero/ Especie	Diámetro (cm)	Htotal (m)	Densidad Básica promedio con corteza de la rama (g/cm3)	Área Foliar del árbol (cm2)	Área Foliar Especifica del árbol (cm2/g)
Bosque Pre-montano	650 - 1050	1	194	Lecythidaceae	Eschweilera coriácea	11.60	16.3	0.59	189691.87	109.26
		1	200	Burseraceae	Protium altsonii	19.10	24	0.54	334464.06	154.79
		1	219	Malvaceae	Theobroma subincanum	17.95	15	0.38	179447.97	72.82
		1	330	Nyctaginaceae	Neea divaricata	15.28	12.5	0.51	177437.84	77.22
		1	356	Burseraceae	Protium amazonicum	21.01	23.7	0.43	217771.94	97.67
Bosque montano	1050-1500	2	1005	Cardiopteridaceae	Dendrobangia boliviana	46.22	22.8	0.47	70045.64	120.71
		2	1227	Nyctaginaceae	Neea divaricata	15.02	7	0.30	36515.01	190.18
		2	1232	Rubiaceae	Psychotria indet1	30.62	12	0.35	194845.26	243.70
		2	1233	Chrysobalanaceae	Licania heteromorpha var. heteromorpha	22.98	20.5	0.56	86498.85	75.16
		2	1250	Cardiopteridaceae	Dendrobangia boliviana	27.12	22	0.44	137117.20	94.49
		2	1355	Sapotaceae	Pouteria vernicosa vel sp. aff.	17.89	11.4	0.60	116031.38	94.60
		2	1378	Nyctaginaceae	Neea divaricata	18.53	11	0.30	54617.45	152.94
2	1383	Rubiaceae	Psychotria indet.	23.7	15.6	0.41	349388.76	176.16		
Bosque Nublado	1500-1800	3	1854	Phyllanthaceae	Hieronyma duquei	13.37	9	0.38	143266.51	69.79
		3	1879	Fabaceae	Inga cecropietorum	15.60	9.5	0.33	57573.99	87.77
		3	1888	Rubiaceae	Elaeagia karstenii	14.01	10.4	0.38	165177.51	74.12
		3	1905	Melastomataceae	Meriania hexamera	26.10	17	0.43	401578.11	147.25
		3	2013	Lauraceae	Endlicheria arunciflora	15.60	11	0.35	139339.08	49.39

Continuación

Tipo de bosque	Altitud (msnm)	N° Parcela	N° Árbol	Familia	Genero/ Especie	Diámetro (cm)	Htotal (m)	Densidad Básica promedio con corteza de la rama (g/cm3)	Área Foliar del árbol (cm2)	Área Foliar Especifica del árbol (cm2/g)
Bosque Esclerófilo	1800-2230	4	2592	Cunoniaceae	Weinmannia cochensis	13.81	7	0.39	116801.59	58.59
		4	2605	Rubiaceae	Cinchona hirsuta vel sp. aff.	10.09	5	0.31	30898.33	210.02
		4	2618	Cunoniaceae	Weinmannia cochensis	7.89	3.5	0.59	138924.53	45.15
		4	2620	Melastomataceae	Miconia elongata	7.64	7	0.51	106954.48	60.10
		4	2807	Clethraceae	Clethra castaneifolia	14.99	7	0.65	78078.48	134.48
		4	2808	Araliaceae	Schefflera patula	17.70	8.7	0.25	118002.16	53.77
		4	2810	Rubiaceae	Ladenbergia macrocarpa	13.62	10	0.40	68199.28	55.09
		4	2811	Araliaceae	Schefflera patula	11.40	9.7	0.29	75734.41	52.78
		4	2827	Rubiaceae	Ladenbergia macrocarpa	10.28	6.3	0.42	53567.99	111.57
Bosque de Llanura	250 - 650	5	3369	Chrysobalanaceae	Hirtella elongata	34.25	21.4	0.60	216910.95	114.12
		5	3488	Sapotaceae	Diploon cuspidatus	17.38	13	0.55	218701.84	127.20
		5	3489	Malvaceae	Theobroma subincanum	12.83	10.6	0.44	40089.08	33.52
		5	3492	Violaceae	Leonia glycyarpa var. Glycyarpa	19.80	16.3	0.51	255136.75	87.88
		5	3501	Apocynaceae	Aspidosperma parvifolium	14.16	16.5	0.53	63920.81	167.24
		5	3505	Moraceae	Castilla ulei	24.00	12.4	0.36	435395.73	51.97
		5	3509	Cannabaceae	Celtis schippii	26.96	19	0.55	271442.63	120.48
		5	3607	Moraceae	Maquira coriacea	17.06	18	0.50	405382.66	255.32

FUENTE: Elaboración propia.

**ANEXO 5**  
**PARÁMETROS ESTADÍSTICOS PARA LAS VARIABLES DE ESTUDIO**

Tipo de Bosque		Densidad Básica (g/cm)	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	Área Foliar Específica (cm <sup>2</sup> /g)
Bosque de Llanura (250 - 650 msnm)	N	8	8	8
	Media	0.505	238372.556	119.716
	Mediana	0.52	236919.295	117.3
	Desviación estándar	0.075	140754.325	69.455
	Varianza	0.006	19811780009.015	4823.955
	Variación (CV)	0.148	0.590	0.580
	Mínimo	0.36	40089.08	33.52
	Máximo	0.6	435395.73	255.32
Bosque Pre - montano (650 - 1050 msnm)	N	5	5	5
	Media	0.49	219762.736	102.352
	Mediana	0.51	189691.87	97.67
	Desviación estándar	0.085	66108.417	32.875
	Varianza	0.007	4370322789.276	1080.785
	Variación (CV)	0.173	0.301	0.321
	Mínimo	0.38	177437.84	72.82
	Máximo	0.59	334464.06	154.79
Bosque montano (1050 - 1500 msnm)	N	8	8	8
	Media	0.42875	130632.4438	143.4925
	Mediana	0.425	101265.115	136.825
	Desviación estándar	0.112	101761.458	57.765
	Varianza	0.013	10355394327.530	3336.826
	Variación (CV)	0.262	0.779	0.403
	Mínimo	0.3	36515.01	75.16
	Máximo	0.6	349388.76	243.7
Bosque nublado (1500 - 1800 msnm)	N	5	5	5
	Media	0.374	181387.04	85.664
	Mediana	0.38	143266.51	74.12
	Desviación estándar	0.038	129709.033	37.075
	Varianza	0.001	16824433317.128	1374.580
	Variación (CV)	0.101	0.715	0.433
	Mínimo	0.33	57573.99	49.39
	Máximo	0.43	401578.11	147.25

Continuación

Tipo de Bosque		Densidad Básica (g/cm)	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	Área Foliar Específica (cm <sup>2</sup> /g)
Bosque esclerófilo (1800 - 2230 msnm)	N	9	9	9
	Media	0.423333333	87462.36111	86.83888889
	Mediana	0.4	78078.48	58.59
	Desviación estándar	0.136	34940.581	55.416
	Varianza	0.019	1220844194.740	3070.922
	Variación (CV)	0.322	0.399	0.638
	Mínimo	0.25	30898.33	45.15
	Máximo	0.65	138924.53	210.02

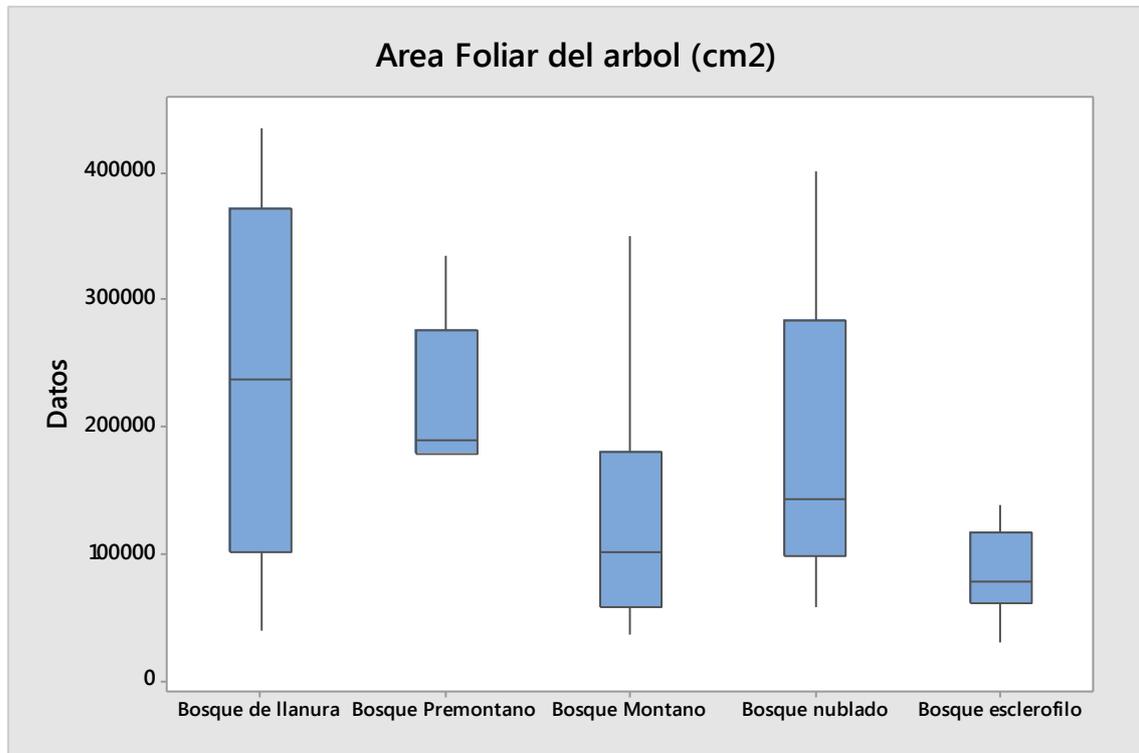
FUENTE: *Elaboración propia.*

**ANEXO 6**  
**CORRELACIONES PARA LAS VARIABLES DE ESTUDIO**

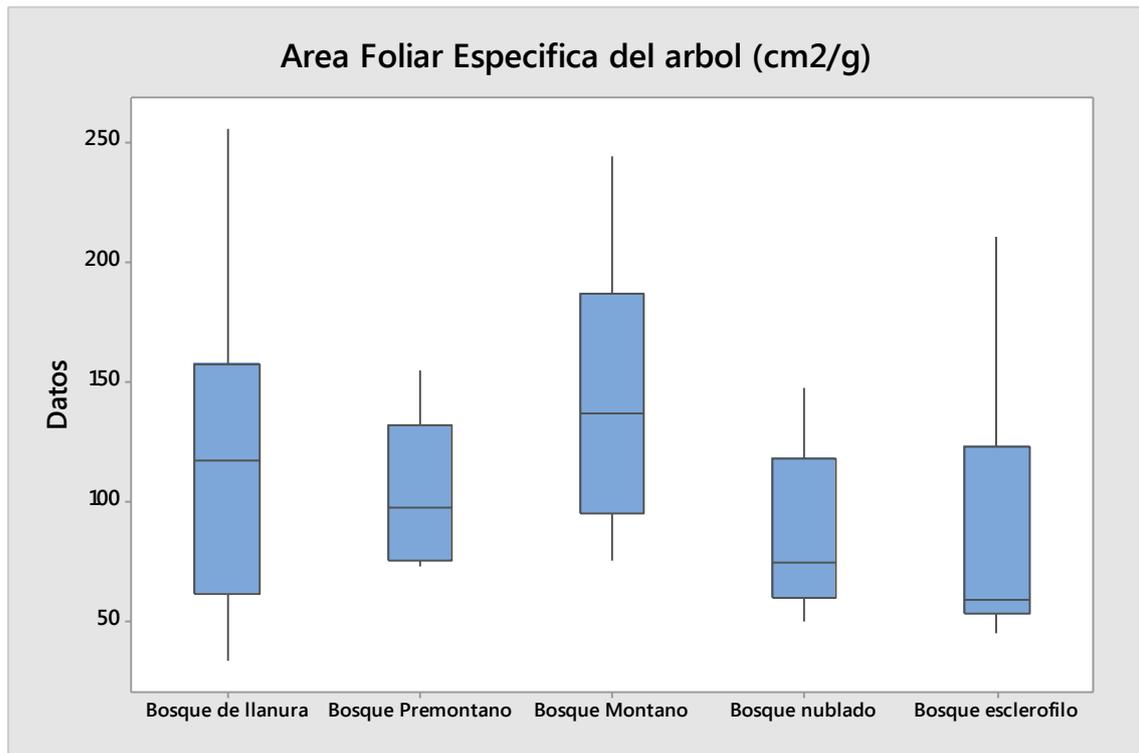
Tipo de bosque			Densidad Básica (g/cm <sup>3</sup> )	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	Área Foliar Específica (cm <sup>2</sup> /g)
Bosque de Llanura	Densidad Básica	Correlación de Pearson	1	-0.302	0.430
		Sig. (bilateral)		0.467	0.287
	Área Foliar	Correlación de Pearson	-0.302	1	0.257
		Sig. (bilateral)	0.467		0.539
	Área Foliar Específica	Correlación de Pearson	0.430	0.257	1
		Sig. (bilateral)	0.287	0.539	
Bosque Pre-montano	Densidad Básica	Correlación de Pearson	1	0.288	0.570
		Sig. (bilateral)		0.639	0.316
	Área Foliar	Correlación de Pearson	0.288	1	0.928
		Sig. (bilateral)	0.639		0.023
	Área Foliar Específica	Correlación de Pearson	0.570	0.928	1
		Sig. (bilateral)	0.316	0.023	
Bosque montano	Densidad Básica	Correlación de Pearson	1	0.025	-0.762
		Sig. (bilateral)		0.952	0.028
	Área Foliar	Correlación de Pearson	0.0254	1	0.322
		Sig. (bilateral)	0.9525		0.436
	Área Foliar Específica	Correlación de Pearson	-0.762	0.322	1
		Sig. (bilateral)	0.028	0.436	
Bosque nublado	Densidad Básica	Correlación de Pearson	1	0.941	0.724
		Sig. (bilateral)		0.017	0.166
	Área Foliar	Correlación de Pearson	0.941	1	0.812
		Sig. (bilateral)	0.017		0.095
	Área Foliar Específica	Correlación de Pearson	0.724	0.812	1
		Sig. (bilateral)	0.166	0.095	
Bosque Esclerófilo	Densidad Básica	Correlación de Pearson	1	0.273	-0.009
		Sig. (bilateral)		0.478	0.981
	Área Foliar	Correlación de Pearson	0.273	1	-0.758
		Sig. (bilateral)	0.478		0.018
	Área Foliar Específica	Correlación de Pearson	-0.009	-0.758	1
		Sig. (bilateral)	0.981	0.018	

FUENTE: *Elaboración propia.*

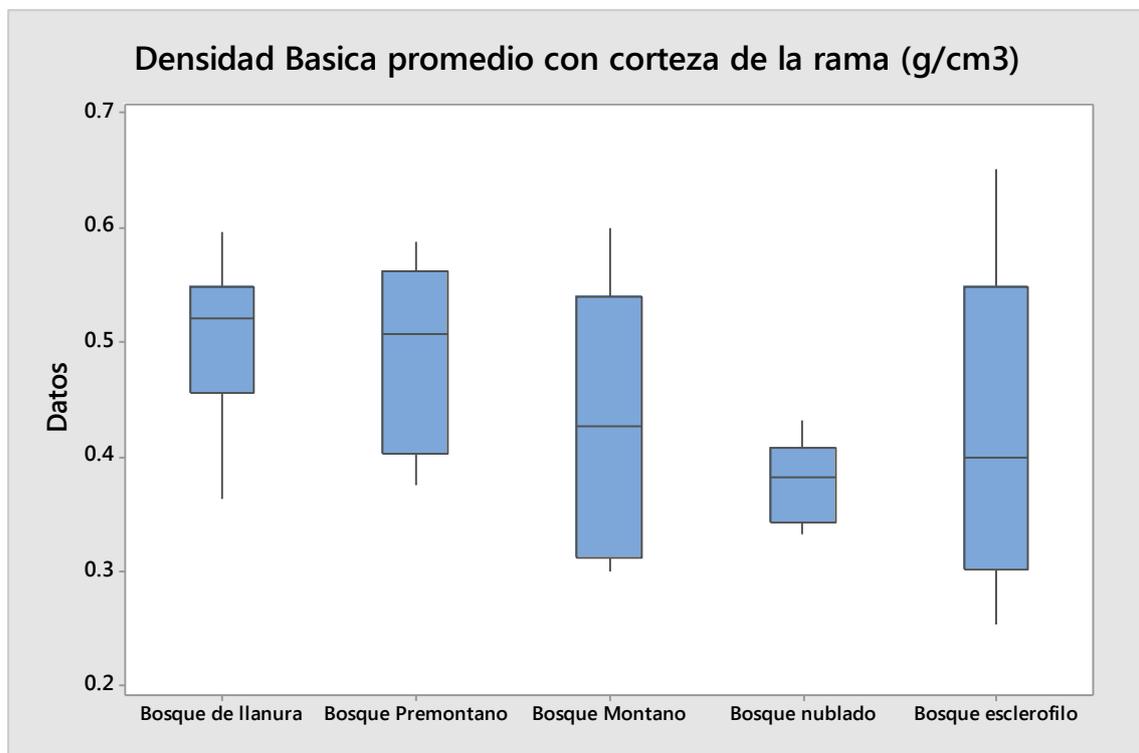
**ANEXO 7**  
**DIAGRAMAS DE CAJAS PARA EL ÁREA FOLIAR, ÁREA FOLIAR**  
**ESPECIFICA Y LA DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA**



*FUENTE: Elaboración propia.*



FUENTE: *Elaboración propia.*



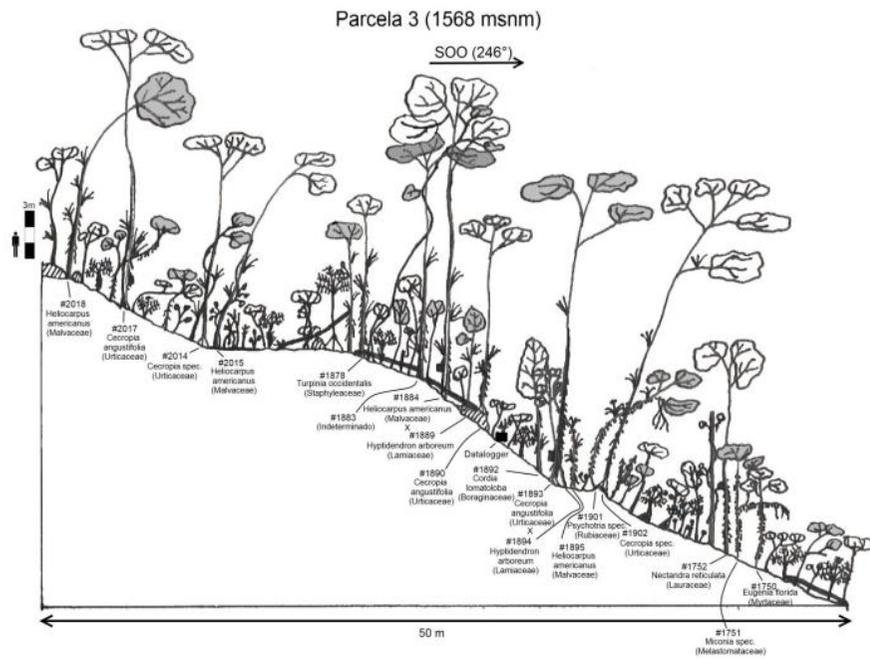
FUENTE: *Elaboración propia.*

**ANEXO 8**  
**RESÚMEN FOTOGRÁFICO DEL TRABAJO EN CAMPO**

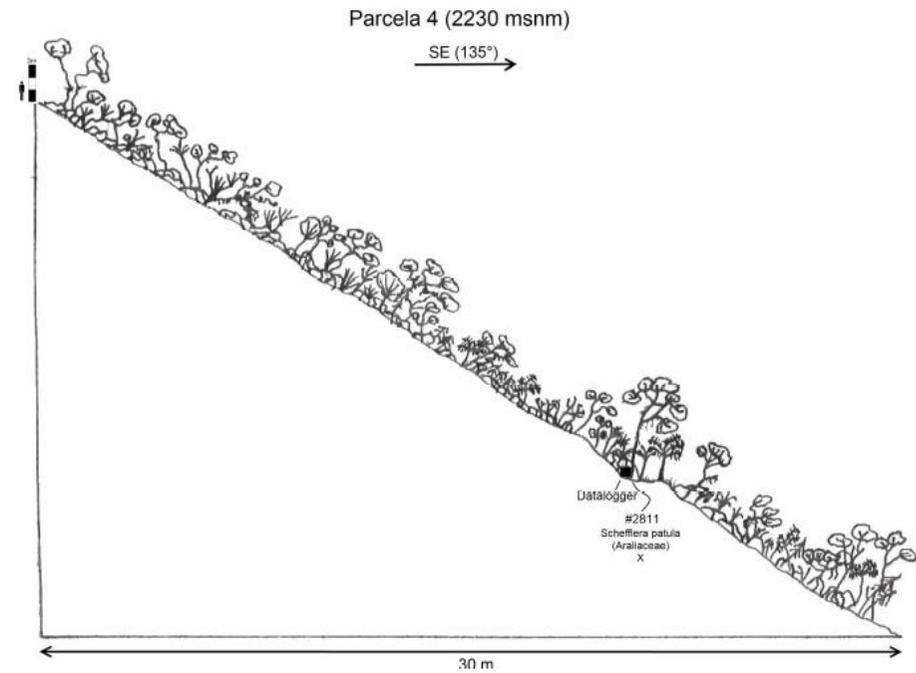








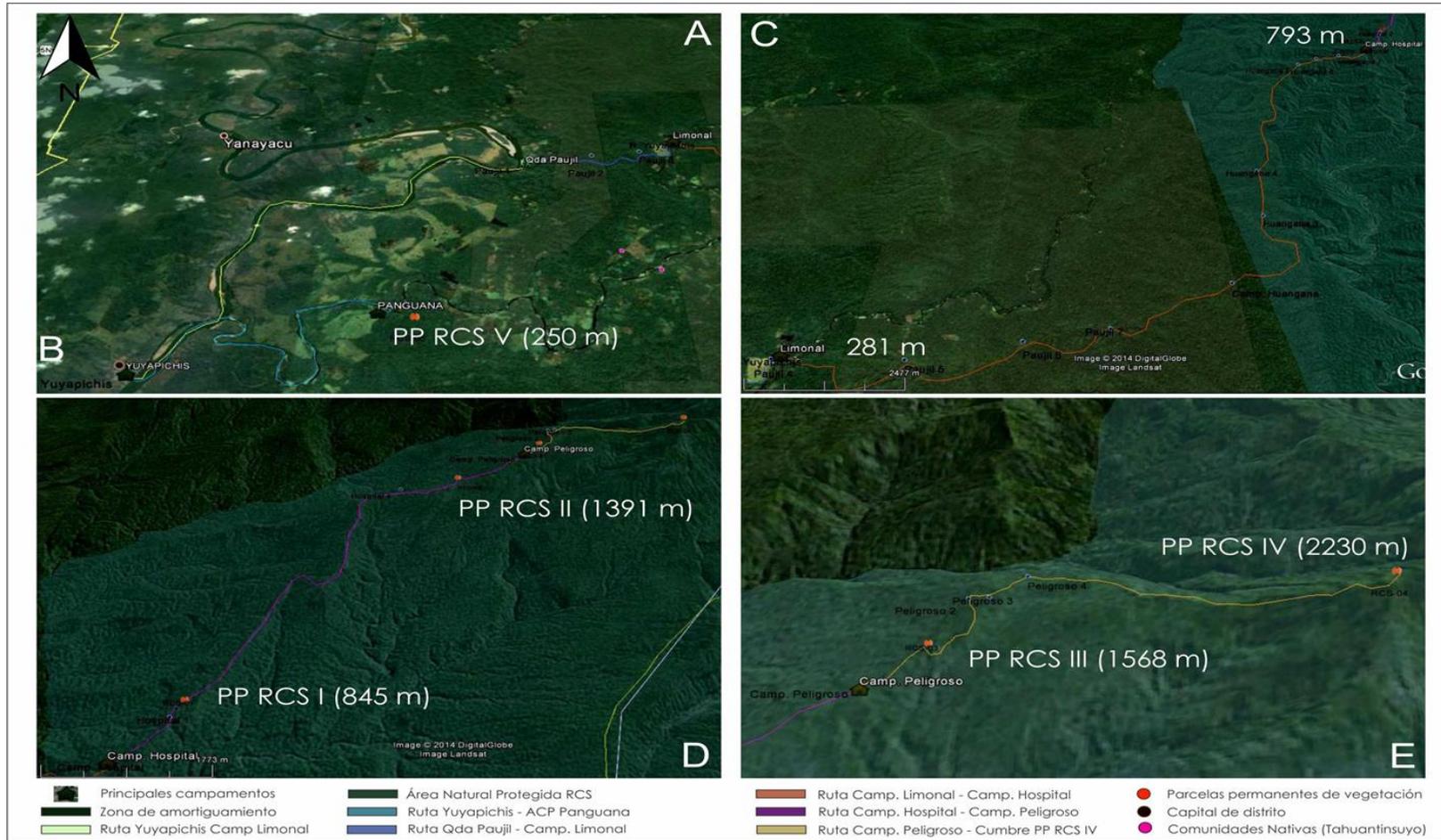
FUENTE: Niessner (2014).



FUENTE: Niessner (2014).



## ANEXO 11 MAPA DEL ÁREA DE ESTUDIO



FUENTE: Valenzuela et al. (2015).