

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EFFECTO DE LA PENDIENTE EN LA ESTRUCTURA DE UN BOSQUE MONTANO  
PLUVIAL, NORESTE DEL ÁREA NATURAL DE MANEJO INTEGRADO  
APOLOBAMBA**

**ARTURO ESCALANTE CRUZ**

**LA PAZ - BOLIVIA**

**2011**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

EFFECTO DE LA PENDIENTE EN LA ESTRUCTURA DE UN BOSQUE MONTANO  
PLUVIAL, NORESTE DEL ÁREA NATURAL DE MANEJO INTEGRADO  
APOLOBAMBA

*Tesis de Grado como requisito  
parcial para optar el título  
Ingeniero Agrónomo*

**ARTURO ESCALANTE CRUZ**

**Asesores:**

Ing. Leslie Eugenia Cayola Pérez

.....

Ing. Luis Goitia Arze

.....

**Tribunales:**

Dr. Abul Kalam Kurban

.....

Ing. Ph.D. Humberto Sainz Mendoza

.....

Ing. Fernando Manzaneda Delgado

.....

**APROBADA**

**Presidente Tribunal Examinador**

.....

## Dedicatoria

*Al único y sabio Dios que me ha concedido el disfrutar de su magnífica creación.*

*A mi padre Efraín Escalante y a mi madre Primitiva Cruz, por su gran confianza, su apoyo constante por la consolidación de mis metas.*

*A los padres de mi esposa Antonio Condori y Desideria Mamani por su empuje para alcanzar mis metas por su ejemplo y lucha cotidiana en todas mis decisiones.*

*A mis queridos hermanos, Lucia, Silvio, Juan y Zulema.*

*Con mucho amor a la inspiración de mi vida para seguir adelante Raí y a su querida mama Rosalía Condori Mamani, por la fuerza que me ha brindado en los momentos mas difíciles en que lo necesitaba y toda la paciencia que ha tendido en todo este tiempo por ofrecerme su amor incondicional.*

## Agradecimientos

*Agradezco al soberano y fiel Dios por la fuerza y el amor para continuar con mis estudios a pesar de todas las circunstancias.*

*Al Proyecto “Inventario Florístico de la Región Madidi” del Missouri Botanical Garden (MO) y Herbario Nacional de Bolivia (LPB) por el apoyo económico, sin el cual este trabajo no hubiera sido posible.*

*Con la mayor consideración al Dr. Peter Jorgensen, Lic. Alfredo Fuentes, Lic. Maritza Cornejo, Lic. Isabel Loza, Lic. Ana Antezana, Lic. Tatiana Miranda por su constante colaboración en el trabajo y las sugerencias para esta investigación.*

*De manera especial a la Ing. Leslie Cayola Pérez por su constante apoyo en la desarrollo de esta investigación. Además de compartir sus conocimientos y dedicar su valioso tiempo para el desarrollo de este estudio.*

*A los miembros del tribunal revisor PhD. Abul Kalam, PhD. Humberto Sainz y Ing. Fernando Manzaneda por las sugerencias y recomendaciones en la redacción final del documento.*

*A los tesisistas Pablo Navarro, Priscila Calvi, Marcelo Reguerin, Daniel Alanes, Lizet Samo y Luís Marconi por su apoyo durante el trabajo de campo y escritorio.*

*A mis grandes amigos y compañeros de estudio Harold Barrientos, Esther Mamani, Eliana Valle, Clara Butron, Claudia Canedo, Sara Pacohunca, Maribel Gutiérrez, Reynaldo Nina, Marco Quezada y Sergio Baldivia por su aliento y gran amistad durante todo este tiempo.*

*A todos ellos MUCHAS GRACIAS.....*

## INDICE GENERAL

	Pág.
INDICE DE CONTENIDO .....	i
INDICE DE CUADROS.....	v
INDICE DE FIGURAS .....	vii
INDICE DE ANEXOS .....	ix
RESUMEN.....	xi
<b>SUMMARY.....</b>	<b>xii</b>
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo General.....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
3.1 Bosque montano .....	4
3.2 Bosque montano en Bolivia .....	4
3.2.1 Clasificación de los bosques montanos en Bolivia .....	5
3.2.1.1 Bosque pluvial subandino de los Yungas .....	5
3.2.1.1.1 Bosque pluvial subandino inferior de los Yungas .....	6
3.2.1.1.2 Bosque pluvial subandino superior de los Yungas .....	7
3.2.2 Importancia de los bosques montanos .....	7
3.3 Estructura de un bosque.....	9
3.3.1 Estructura horizontal.....	10
3.3.2 Estructura vertical .....	10

3.4 Biomasa.....	11
3.5 Pendiente topográfica.....	12
4. LOCALIZACIÓN .....	14
4.1 Ubicación geográfica .....	14
4.2 Geomorfología y suelo.....	15
4.3 Clima .....	16
4.4 Vegetación.....	16
5. MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
5.1 Materiales .....	18
5.1.1 De campo .....	18
5.1.2 De gabinete .....	18
5.2 Metodología.....	19
5.2.1 Definición del área de estudio .....	19
5.2.2 Instalación de las parcelas permanentes de muestreo (PPM).....	19
5.2.2.1 Corrección de la distancia .....	20
5.2.3 Toma de datos de la parcela .....	21
5.2.3.1 Diámetro a la altura del pecho (dap).....	21
5.2.3.2 Plaqueteado .....	22
5.2.3.3 Altura de los árboles .....	23
5.2.3.4 Pendiente topográfica.....	24
5.2.4 Toma de datos de las colecciones .....	24
5.2.4.1 Colección e identificación de las muestras botánicas.....	24
5.2.4.2 Fenología.....	25
5.2.5 Preservado de las muestras botánicas.....	25
5.2.6 Prensado y secado de las muestras .....	26

5.2.7 Identificación botánica de las colecciones .....	26
5.2.8 Base de datos.....	27
5.3 Diseño de investigación.....	27
5.3.1 Muestreo al azar.....	27
5.3.2 Diseño de campo.....	27
5.3.3 Variables de respuesta .....	28
5.3.3.1 Evaluación de la composición florística .....	28
5.3.3.1.1 Abundancia (A).....	28
5.3.3.1.2 Dominancia (D).....	28
5.3.3.1.3 Frecuencia (F) .....	29
5.3.3.2. Índice de Valor de Importancia por Especie (IVI) .....	29
5.3.3.3. Índice de Valor de Importancia por Familia (IVIF) .....	30
5.3.3.4 Estructura del bosque.....	30
5.3.3.4.1 Estructura vertical.....	30
5.3.3.4.2 Estructura horizontal.....	31
5.3.3.5 Evaluación del efecto de la pendiente en la estructura.....	31
5.3.3.5.1 Pendiente .....	31
5.3.3.5.2 Número de individuos y pendiente.....	32
5.3.3.5.3 Estructura vertical y pendiente .....	32
5.3.3.5.4 Estructura horizontal y pendiente .....	33
5.3.3.5.5 Biomasa y pendiente .....	33
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	35
6.1 Composición florística.....	35
6.1.1 Abundancia.....	38
6.1.2 Dominancia.....	40

6.1.3 Frecuencia.....	42
6.2 Importancia ecológica.....	42
6.2.1 Índice de Valor de Importancia por Especie (IVI) .....	42
6.2.2 Índice de Valor de Importancia por Familia (IVIF) .....	48
6.3 Estructura del bosque.....	51
6.3.1 Estructura vertical.....	51
6.3.2 Estructura horizontal.....	54
6.4 Efecto de la pendiente en la estructura .....	59
6.4.1 Número de individuos y pendiente .....	59
6.4.2 Número de especies pendiente .....	62
6.4.3 Estructura vertical y pendiente .....	64
6.4.4 Estructura horizontal y pendiente .....	67
6.4.5 Biomasa y pendiente .....	70
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
7.1 Conclusiones .....	72
7.2 Recomendaciones.....	74
8. BIBLIOGRAFÍA.....	75



## INDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Pisos de formaciones vegetales con sus equivalentes aproximados de los bosques montanos .....	5
<b>Cuadro 2.</b> Resultado de las características edáficas de muestras compuestas de suelo del bosque montano pluvial de la comunidad de Tholapampa.....	15
<b>Cuadro 3.</b> Descripción de la fenología de los árboles, palmeras y lianas presentes en las parcela permanentes de muestreo (PPM).....	25
<b>Cuadro 4.</b> Rango para cada clase de pendiente.....	32
<b>Cuadro 5.</b> Detalle de la composición florística en las dos parcelas permanentes de muestreo en la comunidad de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).....	35
<b>Cuadro 6.</b> Comparación con otros estudios realizados a diferentes altitudes en un bosque montano ( $dap \geq 10$ cm.).....	36
<b>Cuadro 7.</b> Dominancia o área basal por las formas de vida existente en las parcela de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2) .....	41
<b>Cuadro 8.</b> Comparación de índices de valor de importancia (IVI) con otros estudios realizados en bosques montanos de la Región del Madidi.....	44
<b>Cuadro 9.</b> Comparación con otros estudios realizado de las familias de mayor importancia, en bosque montano de la Región del Madidi.....	49
<b>Cuadro 10.</b> Las especies abundantes por clases de altura en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).....	52
<b>Cuadro 11.</b> Número de individuos por clases de altura en las parcelas de San Lorenzo PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).....	53
<b>Cuadro 12.</b> Área basal por clases diamétricas en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).....	56
<b>Cuadro 13.</b> Las especies abundantes por clase de diámetro en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).....	58

<b>Cuadro 14.</b> Correlación del número de individuos y pendiente en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).....	61
<b>Cuadro 15.</b> Riqueza de especies en las clases de pendientes en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).....	63
<b>Cuadro 16.</b> Correlación de altura y pendiente en las parcela de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya (PPM – 2).....	65
<b>Cuadro 17.</b> Datos de altura y pendiente en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2) de la comunidad de Tholapampa.....	66
<b>Cuadro 18.</b> Correlación de diámetro y pendiente en las parcela de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).....	68
<b>Cuadro 19.</b> Datos de diámetro y pendiente en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2) de la comunidad de Tholapampa.....	68
<b>Cuadro 20.</b> Correlación de biomasa y pendiente en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).....	71

## INDICE DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura 1.</b>	Mapa de ubicación del área de estudio y de las parcelas de muestreo de la localidad de Tholapampa.....	14
<b>Figura 2.</b>	Vista del bosque Pluvial Subandino Inferior de Yungas © Proyecto Madidi LPB–MO (Mayo 2004).....	16
<b>Figura 3.</b>	Diseño de la Parcela Permanente de Muestreo (PPM).....	
<b>Figura 3A.</b>	Diseño de una Sub parcela de 20*20 m.....	16
<b>Figura 4.</b>	Corrección de las distancias entre diferentes puntos a lo largo de la pendiente....	21
<b>Figura 5.</b>	Formas para medir el diámetro a la altura del pecho (dap en cm.) en casos especiales.....	22
<b>Figura 6.</b>	Forma de plaquetear por encima del diámetro medido.....	23
<b>Figura 7.</b>	Forma de medir la altura al fuste (Hf) y la altura total (Ht).A) árbol. B) Palma. C) Helecho arbóreo.....	23
<b>Figura 8.</b>	Forma de medir la pendiente en una superficie heterogénea.....	24
<b>Figura 9.</b>	Las familias abundantes en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).....	39
<b>Figura 10.</b>	Distribución de las especies dominantes (%) en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).....	40
<b>Figura 11.</b>	Las especies frecuentes (%) en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).....	42
<b>Figura 12.</b>	Distribución de las especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).....	43

<b>Figura 13.</b> Distribución de las especies de mayor importancia en la parcela de San (Lorenzo PPM – 1)...	45
<b>Figura 14.</b> Distribución de las especies de mayor importancia en la parcela de San (Lorenzo PPM – 1)...	46
<b>Figura 15.</b> Distribución de las especies de mayor importancia en la parcela de Kallawaya (PPM – 2).....	47
<b>Figura 16.</b> Representación porcentual del Índice de Valor de Importancia por Familia (IVIF) en la comunidad de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2)...	48
<b>Figura 17.</b> Distribución del número de individuos por clases altimétricas encontradas en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).....	51
<b>Figura 18.</b> Distribución del número de individuos por clases diamétricas encontrados en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).....	55
<b>Figura 19.</b> Correlación de altura y diámetro en la parcela de San Lorenzo (PPM – 1).....	57
<b>Figura 20.</b> Correlación de altura y diámetro en la parcela de Kallawaya (PPM – 2).....	57
<b>Figura 21.</b> Número de individuos por clases de pendientes en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).....	59
<b>Figura 22.</b> Correlación del número de individuos y pendiente en las parcelas de San Lorenzo (PPM -1) y Kallawaya (PPM – 2) de la comunidad de Tholapampa.....	60
<b>Figura 23.</b> Comportamiento de la altura con relación a la pendiente en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2). A) Alturas versus pendiente. B) Correlación entre altura máxima y pendiente.....	65
<b>Figura 24.</b> Comportamiento del diámetro con relación a la pendiente en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2) A) Diámetro versus pendientes. B) Correlación entre el diámetro máximo y pendientes.....	67
<b>Figura 25.</b> Comportamiento de la Biomasa con relación a la pendiente en la parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2). A) Biomasa versus pendiente B) Correlación de biomasa máxima y pendientes.....	70

## ANEXOS

- Anexo 1.** Lista de especies registradas en la Parcela Permanente de Muestreo San Lorenzo (PPM – 1) con Índice de valor de Importancia por especies (IVI) e Índice de Importancia por Familia (IVIF)..... a
- Anexo 2.** Lista de especies registradas en la Parcela Permanente de Muestreo (PPM) Kallawaya (PPM – 2) con Índice de valor de Importancia por especies (IVI) e Índice de Importancia por Familia (IVIF)..... g
- Anexo 3.** Lista de especies registradas en la Parcela Permanente de Muestreo de San Lorenzo (PPM – 1) con valores medios de Altura, Diámetro y Pendiente..... n
- Anexo 4.** Lista de especies registradas en la Parcela Permanente de Muestreo de Kallawaya (PPM – 1) con valores medios de Altura, Diámetro y Pendiente..... r
- Anexo 5.** Mapa geológico del Área Natural de Manejo Integrado Apolobamba, Madidi y Pílon Lajas..... w

## RESUMEN

Se realizó un estudio para conocer la relación de la pendiente y la estructura de la vegetación en un bosque montano pluvial. El sitio de estudio estaba ubicado en el departamento de La Paz, Provincia Bautista Saavedra, comunidad de Tholapampa, dentro el Área Natural de Manejo Integrado Apolobamba. El objetivo fue conocer el efecto de la pendiente en la estructura vertical (altura) y horizontal (diámetro) del bosque montano pluvial, y al mismo tiempo determinar la importancia ecológica de las especies, géneros y familias presentes en el área muestreada. El método empleado fue el de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) de una hectárea de superficie, inventariando todos los individuos leñosos (árboles, palmeras, helechos y lianas) con un diámetro a la altura del pecho (dap) mayor o igual a 10 cm. Se instalaron dos PPMs en el sitio de estudio. Para tomar los datos de la pendiente se realizaron mediciones del terreno con un clinómetro en unidades de porcentaje (%) cada 2 y 5 m de distancia sobre las líneas principales que delimitaban las subparcelas.

Se analizó la importancia ecológica de las especies y familias en base a los datos de abundancia, frecuencia, dominancia, índice de valor de importancia por especies (IVI), índice de valor de importancia de familia (IVIF), clases de alturas y clases de diámetro. La pendiente fue analizada con un índice de correlación de Pearson (-1; +1) en el programa PASW Statistic 18 con valores máximos de altura y diámetro.

Entre ambas parcelas se registraron 1618 individuos de los cuales 1530 son árboles, 56 palmeras, 7 helechos arbóreos y 6 lianas. Dentro la parcela San Lorenzo (PPM – 1) se encontraron 76 especies, 51 géneros y 42 familias. Para la parcela Kallawaya (PPM – 2) se registraron 73 especies, 41 géneros y 37 familias.

Las especies y familias más importantes dentro la parcela San Lorenzo (PPM – 1) fueron *Sloanea pubescens* (9.7%), *Symphonia globulifera* (5.5%), *Mabea* cf. *anadena* (4.5%), Melastomataceae (19%), Rubiaceae (14,4%), Lauraceae (11,5%) y Elaeocarpaceae (11,5%). Para la parcela Kallawaya (PPM – 2) *Hevea guianensis* (7.2%), *Ferdinandusa chlorantha* (5.1%) y *Miconia bangii* (5.1%), Euphorbiaceae (15,9%), Rubiaceae (8,7%), Clusiaceae (7,4%) y Lauraceae (6,4%).

La estructura horizontal (diámetro) en el área evaluada presenta una “J” invertida, característica de los bosques tropicales, concentrando la mayoría de los individuos en clases diamétricas inferiores. La estructura vertical (altura), forma una curva en un U invertida, debido a que la clase altimétrica 3 (13,8 – 17,6 m) concentra la mayor cantidad de individuos.

La clase de pendiente predominante en el área de estudio fue la clase 3 (31% - 40%), que aglomera el 42,5% de los individuos.

La pendiente y la estructura (altura y diámetro) se correlacionan en  $-0,3$  (5%) significativamente. Este resultado nos permite señalar que la pendiente influye en el crecimiento de la altura y el diámetro de los árboles; existiendo individuos pequeños en superficie con inclinación mayores al 40%.

De la misma forma, la acumulación de la biomasa está influenciada por la pendiente significativamente en un 30%; por lo que debe considerarse que es un factor que determina la acumulación de la biomasa en superficies con mayor inclinación, tiende a acumular menor biomasa.

**Palabras clave:** Bosque montano pluvial, Área Natural de Manejo Integrado Apolobamba, pendiente, estructura florística, importancia ecológica.

## SUMMARY

A study was conducted to determine the relationship of the slope and vegetation structure in a montane rain forest. The study site was located in the department of La Paz, Bautista Saavedra Province, and Tholapampa community within the Integrated Management Natural Area Apolobamba. The objective was to determine the effect of the slope in the vertical (height) and horizontal (diameter) of the montane rain forest, and at the same time to determine the ecological importance of species, genera and families present in the sampled area. The method used was the permanent sample plots (PPM) of a hectare of land, inventory of all woody individuals (trees, palms, ferns and lianas) with a diameter at breast height (dbh) greater than or equal to 10 cm. PPMs installed two in the study site. To take the data from the slope of the ground were measured with clinometers in units of percent (%) every 2 and 5 m apart on the main lines that marked the subplots.

It analyzed the ecological importance of species and families based on abundance data, frequency, dominance, importance value index by species (IVI), an index of family importance value (IVIF) pitch classes and class's diameter. The slope was analyzed with a Pearson correlation index (-1, +1) in the SPSS Statistic Program 18 with maximum values of height and diameter.

Between the two plots were recorded 1618 individuals of who 1530 are trees, 56 palm trees, 7 tree ferns and lianas 6. Within the plot San Lorenzo (PPM - 1) were found 76 species, 51 genera and 42 families. For the plot Kallawaya (PPM - 2) recorded 73 species, 41 genera and 37 families.

The most important species and families within the plot San Lorenzo (PPM - 1) were *Sloanea pubescens* (9.7%), *Symphonia globulifera* (5.5%), *Mabea cf. anadena* (4.5%), Melastomataceae (19%), Rubiaceae (14.4%), Lauraceae (11.5%) and Elaeocarpaceae (11.5%). For the plot Kallawaya (PPM - 2) *Hevea guianensis* (7.2%), *Ferdinandusa chlorantha* (5.1%) and *Miconia bangii* (5.1%), Euphorbiaceae (15.9%), Rubiaceae (8.7%), Clusiaceae (7, 4%) and Lauraceae (6.4%).



The horizontal structure (diameter) in the assessment area has a "J" inverted characteristic of tropical forests, account for the majority of individuals in lower diameter classes. The vertical structure (height), forming an inverted U curve in a, because the altimeter class 3 (13.8 to 17.6 m) recorded the greatest number of individuals.

The dominant slope class in the study area was the class 3 (31% - 40%), which agglomerates 42.5% of individuals.

The slope and structure (height and diameter) were correlated -0.3 (5%) significantly. This result reveals that the slope influences the growth of the height tend diameter of trees; small individuals exist on the surface with inclination greater than 40%.

Likewise, the accumulation of biomass is significantly influenced by the slope by 30% so you should consider it a factor in determining the accumulation of biomass in areas whit greater slope, tends to accumulate less biomass.

**Keywords:** Montane rain forest, Integrated Management Natural Area Apolobamba, slope, floristic, ecological importance.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques montanos están ubicados en la cadena montañosa de Los Andes tropicales, siendo uno de los centros con mayor diversidad florística en el mundo (Churchill 1995); relacionadas con la compleja topografía y una historia biogeográfica caracterizada por la migración altitudinal continua de zonas de vegetación en respuesta a un clima cambiante.

Este tipo de formación vegetal es sumamente importante por los servicios ambientales que proporciona, especialmente agua, debido a que deriva la mayor parte de sus recursos hídricos de las nubes (Balslev 2006).

Estos bosques se deben principalmente a la combinación de alta humedad y temperaturas templadas que han creado un ambiente favorable para la coexistencia de la flora Neotropical, así como para la evolución y mantenimiento de la diversidad de especies de plantas y animales, muchas de las cuales son exclusivas de este ecosistema (Stadmuller 1987). Estos ecosistemas albergan más de 45.000 plantas vasculares (20.000 endémicas) y 3.400 especies de vertebrados (1.567 endémicos), en apenas el 1% de la masa continental de la Tierra (Myers *et al.* 2000).

La fisiografía de Los Andes se caracteriza por empinadas pendientes, quebradas profundas, fondos de extensos valles y picos escarpados. Estas geoformas se combinan con diferencias de clima creadas por agudos gradientes de altitud que generan una gran diversidad de ecosistemas (Cuesta *et al.*, 2009), representando un ecosistema muy frágil debido a sus pendientes fuertes, que permiten una erosión extrema bajo un régimen de lluvias fuertes (Bussmann 2002, Heywood 1995).

Los países que comparten esta formación vegetal son: Perú, Colombia, Ecuador, Venezuela y Bolivia de este tipo de bosque (Cavelier & Etter 1995), cubren una extensión de 1.543.000 Km<sup>2</sup> desde el oeste de Venezuela hasta la frontera entre Bolivia, Chile y Argentina (Josse *et al.* 2009).

Los bosques montanos húmedos de Bolivia cubren aproximadamente 150.000 km<sup>2</sup> que corresponde al 3.7% del territorio nacional. Estos bosques son siempre verdes, densos

y muestran una alta diversidad vegetal, su fisonomía y composición florística varía de acuerdo a los diferentes pisos altitudinales (Beck *et al.* 1993). Dentro el Área Natural de Manejo Integrado (ANMI) Apolobamba cubren un área aproximada 483.743 ha en una región topográfica accidentada de laderas húmedas (Loayza 2000).

Estas regiones han sido favorecidas por la fisiografía y cambios altitudinales; originando diferencias de precipitación y temperatura en los diferentes ambientes, permitiendo que la estructura de los bosques estén afectados principalmente por la topografía así como por las características del suelo (Scaneta 2002).

Diversos estudios mencionan que la diversidad de los bosques están afectadas por las diferencias espaciales en la topografía, tipo de suelo, factores ambientales y el drenaje (Marino & Pensiero 2001). Estos factores permiten la diferencia en la estructura de los bosques que se manifiesta en una jerarquía de escalas espaciales (Long 1968).

La composición florística y estructura pueden cambiar con la topografía; a mayor pendiente el tamaño máximo de los árboles (área basal y altura) decrece y la densidad aumenta (Takyu *et al.* 2002). Así mismo la mortalidad es mayor a medida que aumenta la pendiente (Bellingham & Tanner 2000).

Los bosques montanos son un complejo de comunidades biológicas poco documentadas. Esta complejidad es también reflejada en una fragmentación natural debido a la topografía, donde los sitios con condiciones ambientales similares y separadas por una distancia relativamente corta pueden estar efectivamente aislados debido a factores topográficos (Killeen *et al.* 2005). Algunos trabajos de investigación nos permiten evidenciar que son muy dinámicos, debido a las variaciones altitudinales y topográficas.

El conocimiento de la estructura y la composición florística de un bosque constituye el primer paso hacia el entendimiento de la dinámica ecológica, lo que a su vez es fundamental para comprender aspectos biológicos y productivos, incluyendo el manejo sostenible de los bosques tropicales (Araujo-Murakami & Seidel 2003).

El presente estudio contribuirá al conocimiento de la composición florística y estructura de un bosque montano pluvial, afectada por la pendiente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

- Conocer el efecto de la pendiente en la estructura horizontal y vertical de un bosque montano pluvial en el noreste del Área Natural de Manejo Integrado Apolobamba.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la estructura horizontal y vertical de un bosque montano pluvial.
- Analizar los cambios estructurales debido a la pendiente en parcelas permanentes de muestreo.
- Determinar la importancia ecológica de las especies, géneros y familias presentes en un bosque montano pluvial.

### **3. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1 Bosque montano**

Los bosques montanos son ecosistemas naturales y complejos dominado por especies arbóreas, lianas, helechos, hierbas y epifitas. Están distribuidos en América, África, Sureste Asiático y en las islas del Pacífico. En América están presentes en Centroamérica, el Caribe y a lo largo de la cordillera de Los Andes, estos bosques se caracterizan por tener un clima benigno, situado entre los 500 a 3500 m de altitud, mostrando variaciones fisonómicas, topográficas, geomorfológicos y climáticas, relacionadas a la altitud y latitud (Gentry 1995).

Estos bosques ofrecen una gran diversidad de especies de plantas y animales, con un alto grado de fragilidad ecológica debido a las características de los suelos y situaciones topográficas (Ribera *et al.* 2008).

Las principales características de este bosque es la presencia de árboles torcidos y nudosos, tiende a tener tallos múltiples, disminuye la altura del dosel, presentan hojas pequeñas y coriáceas (Zenteno 2000, Killen *et al.* 2007 citado en Young 2007).

El término de bosques montanos se utiliza para una vegetación de bosques con dosel cerrado, generalmente con árboles de hoja perenne; también son denominados “bosques nublados” en Honduras, “nebliselva” en Nicaragua, “bosque nuboso” en Costa Rica, “selva andina” en Colombia, “selva Tucumano boliviano” hasta “Yungas” en Argentina y Bolivia (Beck 1993, Brown & Kappelle 2001, Navarro & Maldonado 2002).

#### **3.2 Bosques Montanos en Bolivia**

Los bosques montanos andinos de Bolivia están distribuidos en los departamentos de La Paz Cochabamba y Santa Cruz. Estos albergan una gran cantidad de especies endémicas y únicas (Beck *et al.* 2003).

Se caracterizan por la presencia de helechos arbóreos, cyatheas y palmeras propios de cada formación ecológica de estos bosques y son siempre verdes y muy diversos (Lehnert 2001).

La estructura del bosque montano es muy compleja, caracterizado por tres estratos o más. Por ejemplo el dosel varía de 15 a 25 m, esta diferencia se debe a las diferentes etapas de sucesión (Killeen *et al.* 1993).

### 3.2.1 Clasificación de los bosques montanos en Bolivia

Actualmente en Bolivia no se cuenta con una clasificación clara de los bosques montanos (Kessler & Beck 2001), que se ajusten a todas las características de los bosques.

Existen trabajos de diferentes autores que establecen pisos altitudinales con ciertas diferencias de acuerdo al análisis de vegetación realizada por cada uno de ellos; el Cuadro 1 explica los equivalentes aproximados de los diferentes pisos ecológicos en el bosque montano.

**Cuadro 1.** Pisos de formaciones vegetales con sus equivalentes aproximados de los bosques montanos.

<b>Ribera et al. 1996</b>	<b>Müller et al. 2002</b>	<b>Beck et al. 2003</b>	<b>Navarro 2002</b>
Piso	Piso	Piso	Piso
Altitud (m)	Altitud (m)	Altitud (m)	Altitud (m)
Yungas inferior 400–700	Montano bajo 750–1.750	Montano inferior 500–1.500	Pluvial subandino superior de los Yungas. 1.200 2.100
			Pluvial subandino inferior de los Yungas < 1.200
Yungas medio 700–2.800	Montano 1.750–2.750	Montano medio 1.500–2.000	Montano 1.800–3.100
Yungas superior 2.800–3.000	Altimontano 2.750–3.500	Montano superior 2.000–3.000	Ceja de monte inferior 2.800–3.700

**Fuente:** Adaptado de Fuentes 2005.

La presente investigación utilizó la propuesta de clasificación de bosques montanos realizado por Navarro & Maldonado (2002), debido a que es la más detallada en cuanto a la composición florísticas y altitud se refiere.

#### 3.2.1.1 Bosque pluvial subandino de los Yungas

La vegetación de los Yungas subandinos se caracteriza por presentar clima húmedo a hiperhúmedo, situado por debajo de los 2000 m de altitud, existiendo una discontinuidad

florística (Navarro & Maldonado 2002), agrupados en selvas altas, siempre verdes, muy diversas y pluriestratificadas que crecen en laderas y crestas de serranías subandinas de Los Andes del Norte, compuesto de una altísima diversidad de especies con abundancia de palmas (Cuesta *et al.* 2009).

Ribera *et al.* (1996) indican que en estos bosques son frecuentes las especies con raíces tabulares, considerando que estos bosques se constituyen en zonas de transición entre los bosques montanos y las formaciones amazónicas (Navarro & Maldonado 2002).

Navarro & Maldonado (2002) señala que los bosques yungueño subandino se clasifican en dos sub formaciones de bosques yungueños (Cuadro 1), debido a que en este sector existe una gran amplitud espacial del piso, con alto desarrollo topográfico y bioclimático, dando lugar a un importante cambio en la composición florística.

#### **3.2.1.1.1 Bosque pluvial subandino inferior de los Yungas**

Es una formación boscosa de elementos amazónicos y andinos, muy húmedos, con mayor cobertura, ocupa parte de las laderas por debajo de los 1.200 m, donde se puede observar la presencia de *Oenocarpus bataua* (majo) la cual le da una fisonomía característica a estos sitios (Navarro & Maldonado 2002, Fuentes 2005, Antezana 2007), siendo la más abundante. Sin embargo no se pueden definir los límites altitudinales exactos, ya que éstos varían según las condiciones locales de humedad, temperatura, suelos y topografía.

Estos bosques son denominados: bosque yungueño subandino inferior pluvial (Fuentes, 2005); bosque montano húmedo inferior (Beck *et al.* 2003); Bosque siempre verde montano bajo (Muller *et al.* 2002).

Florísticamente estos bosques pertenecen a una zona de transición entre el bosque montano y la Amazonía (Gentry 1995, Fuentes 2005).

Fuentes (2005) y Antezana (2007) mencionan que las familias más abundantes son: Melastomataceae, Rubiaceae, Arecaceae, Lauraceae, Moraceae y Cyatheaceae, y entre las especies abundantes *Miconia* spp., *Oenocarpus bataua*, *Cyathea caracasana*,



*Podocarpus oleifolius*, *Ilex vismiifolia* y *Matayba steinbachii*, *Sloanea sp.*, *Euterpe sp.*, *Hevea brasiliensis*. Asimismo García *et al.* (2004) presenta familias típicas como: Fabaceae, Moraceae, Arecaceae y Lauraceae, y entre las especies más representativas *Clarisia biflora*, *Perebea guianensis* subsp. *guianensis*, *Pourouma bicolor*, *P. cecropiifolia*, *Myroxylon balsamum*, *Socratea exorrhiza*, *Oenocarpus bataua*, *Dictyocaryum lamarckianum*, *Ocotea*, *Aniba* y *Nectandra*, *Protium bangii*, *Protium meridionale*, *Tetragastris altísima*.

### **3.2.1.1.2 Bosque pluvial subandino superior de los Yungas**

Estos bosques se encuentran ubicados a una altitud de 1200 hasta 2100 m. La característica principal es la presencia de *Dictyocaryum lamarckianum* (tola), ya que se encuentra en mayor abundancia en el área (Fuentes 2005). Este mismo autor señala que las familias más diversas son Melastomataceae, Rubiaceae, Lauraceae, Moraceae y Myrtaceae. Las especies que menciona son: *Protium altsonii*, *Alchornea glandulosa*, *Cyathea caracasana* y *Psychotria tinctoria*. Una notoria característica de este bosque es la escasez de trepadoras leñosas, existen pocas especies. Estas características hacen notar que tiene pocos elementos amazónicos. Asimismo estos bosques son siempre verdes con presencia de lauroides (Navarro & Maldonado 2002, Fuentes 2005)

Estos bosques se intercalan en el paisaje yungueño subandino superior con palmeras (Tola), los cuales tienden a desplazarse en laderas poco abruptas, en piedemontes y fondos de valle, con pendientes medias, en suelos de poco drenados a mal drenados (Navarro & Maldonado 2002, Fuentes 2005).

Esta formación recibe otros denominativos: bosque yungueño subandino superior pluvial; bosque montano húmedo superior, bosque montano húmedo medio, bosque montano inferior (Beck *et al.* 2003); bosque montano (Killen *et al.* 2005); bosque siempre verde montano bajo (Muller *et al.* 2002).

### **3.2.2 Importancia de los bosques montanos**

Los bosques montanos son de gran importancia ecológica y biológica debido a que cumplen roles importantes como:

- La regulación de los ciclos hidrológico, la relación entre los ecosistemas forestales, la regulación de la cantidad y calidad de agua (Andreassian 2004)
- Almacenamiento, depuración, liberación de agua a las masas de agua superficiales y a los acuíferos subterráneos.
- Eslabón fundamental en el ciclo del carbono por su capacidad de absorber el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y almacenarlo en su biomasa.
- Cumplen funciones de protección como prevenir la erosión del suelo y la desertificación, limitar la escorrentía y frenar la velocidad del viento, contribuye a la fertilidad y productividad.
- Proporciona productos no maderables y maderables que sustentan los medios de vida de las poblaciones locales por medio de recursos de subsistencia o comercio, incluyendo alimentos, materiales de construcción, fibras, medicinas y combustible (Martín 1994).
- La diversidad en bosques montanos aumenta considerablemente con epifitas, briofitas y líquenes, así como en cobertura y biomasa (Gentry & Dodson 1987). Asimismo proveen hábitat y alimento para muchos insectos, aves y animales (Miranda 2005).
- Regulan los ciclos de los elementos minerales del suelo ayudando a mantener la fertilidad de este, al absorber los nutrientes y reciclar las hojas en las capas superiores, además está cubierta actúa como regulador térmico, evitando el sobrecalentamiento diurno de los suelos y un enfriamiento nocturno (García *et al.* 2004)
- Estos complejos de vegetación extraen o capturan de la nube en movimiento la humedad atmosférica que se suma a las precipitaciones normales, fenómeno conocido como lluvia horizontal (Hamilton 2001).

### 3.3 Estructura de un bosque

Es la disposición de los individuos en el espacio y la representación proporcional de las diferentes etapas de desarrollo de una especie, que permitan determinar la relación entre el estrato y la especie (Malleux 1976), también es considerada como el arreglo espacial vertical y horizontal de las especies.

Según Finegan (1992), la estructura de los bosques montanos húmedos, se describe según sus variables cuantitativas donde las más utilizadas son los diámetros y alturas totales. Asimismo la estructura de los bosques tiene que ver con la ubicación relativa y forma de vida de las plantas (Wadsworth 2000).

Según CATIE (2001), la estructura vertical y horizontal son herramientas valiosas para una mejor comprensión de la dinámica de los bosques, considerando la distribución de estos en el espacio.

La estructura y la composición florística de este tipo de bosque se debe a diferentes factores que interactúan en el tiempo. Asimismo varios autores indican que los bosques montanos son el producto del levantamiento final de Los Andes, que produjo la aparición de nuevos ambientes con características excepcionales que contribuyan a la especiación y adaptación (Webster 1995, Van Der Hammen & Hooghiemstra 2001).

Según Schönenberger (2001) la característica estructural de este tipo de bosque está dada por las capas y la mezcla vertical de especies arbóreas. Las estructuras de los bosques de montaña son muy diferentes a los de tierras bajas y está estrechamente relacionado con soporte de estabilidad, la resistencia y topografía (Bachhofen & Zingg 2001).

Un factor importante que ha influenciado en estos últimos tiempos es el cambio climático que ha causado cambio en la estructura y la heterogeneidad de las especies a escalas más pequeñas que pueden ser especialmente frecuente en los bosques de montaña; sistemas donde los paisajes son más complejos (Elkin 2009).

Alvis (2009) menciona que el análisis estructural de una comunidad vegetal, se realiza con el propósito de valorar sociológicamente una muestra y establecer su categoría en

la asociación. Puede realizarse según las necesidades puramente prácticas de la silvicultura o siguiendo las directrices teóricas de la sociología vegetal.

### **3.3.1 Estructura horizontal**

Es el arreglo espacial de los organismos, en este caso árboles. Este fenómeno es reflejado en la distribución de individuos por clase de diámetro que permite evaluar el comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie. Algunas especies presentan una distribución de "j" invertida. Otras no parecen presentar una tendencia identificable en su distribución debido a sus propias características (Manzanero 2003). Sin embargo, existen gran concentración de individuos jóvenes en las categorías diamétricas inferiores y a la vez pocos individuos en las categorías superiores. En otros casos, la distribución se asemeja a una recta, donde el número de árboles se mantiene constante (Finegan 1992).

Según Hawey & Smith (1972 citado en Louman & Quiroz. 2001) la estructura horizontal de un bosque en su conjunto que se puede describir a través de la distribución del número de árboles por clases diamétricas donde se puede clasificar en dos principales estructuras, las regulares y las irregulares.

La estructura horizontal permite evaluar el comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie del bosque. Esta estructura puede evaluarse a través de índices que expresan la ocurrencia de las especies, lo mismo que su importancia ecológica dentro del ecosistema, es el caso de las abundancias, frecuencias y dominancias, cuya suma relativa genera el índice de valor de importancia (Alvis 2009).

### **3.3.2 Estructura vertical**

Es la distribución que presentan las masas foliares en el plano vertical o distribuciones cuantitativas de las variables medidas en el plano vertical tales como la altura (Manzanero 2003). La estructura vertical de los bosques montanos húmedos responde a las características de las especies que la componen, condiciones micro climáticas presentes en las diferentes alturas y situaciones topográficas.

Según Finegan (1992) el tamaño es una variable de predicción mucho más confiable que la edad con respecto a la tasa de crecimiento, capacidad de reproductiva y otros factores. Además, la estructura vertical responde a las características de las especies que la componen y estas se desarrollan de acuerdo a sus necesidades de radiación, temperatura, humedad relativa, concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (BOLFOR *et al.* 1997).

Según Lamprecht (1990) señala que dentro de la estructura vertical se distinguen tres diferentes estratos de acuerdo a la altura de los árboles.

**Piso superior (emergente):** altura mayor 2/3 de la altura superior del vuelo.

**Piso medio (dosel):** entre 2/3 y 1/3 de la altura superior del vuelo.

**Piso inferior (sotobosque):** altura menor a 1/3 de la altura superior del vuelo.

Según Guardia & Alberola (2007) la estructura vertical permite conocer la dinámica de sucesión del bosque y permite conocer a gran escala su equilibrio. La presencia de las mismas especies encontradas en el estrato dominante es una de las características que permite conocer que este sitio se encuentra, en equilibrio, ya que cuando estos árboles del dosel perezcan y caigan, más árboles de la misma especie ocuparan su lugar y no así otras especies. Además, la estructura responde a características de las especies que la componen y a las condiciones micro ambientales presentes en las diferentes alturas del perfil de bosque (Louman & Quiroz 2001).

Una de las variables para analizar la estructura vertical como horizontal es la posición de la copa ya que se refiere al acceso a la luz directa que tenga la copa de un árbol de manera individual (Louman & Quiroz 2001).

### **3.4 Biomasa**

Según Zamora & Quiroz (2000) biomasa es la cantidad de organismos vivos de una o más especies o de todas las de una comunidad, por unidad de superficie en un momento dado. Aunque también biomasa se refiere a organismos que existen sobre y debajo del suelo (Wadsworth 2000).

La biomasa se caracteriza por presentar una variedad de elementos que caracterizan a la biomasa aérea (tallos, ramas y hojas), subterránea (raíces) y partes muertas (hojarasca, árboles caídos) que pueden llegar a ser parte de un árbol, palma o liana (Wadsworth 2000).

Brown (1997) señalan que la estimación de la biomasa para árboles con diámetros mayores a 10 centímetros, existe diferentes métodos, de los cuales se mencionan los más importantes:

- Utilizando ecuaciones de regresión que relacionan la biomasa de árboles individuales con variables (diámetro). Estas ecuaciones son denominados modelos alométricos (Araujo *et al.* 1999, Chave *et al.* 2005).
- Realizando el pesado de toda la vegetación en parcelas pequeñas y extrapolando los resultados a áreas de mayor dimensión (Klinge & Herrera 1983).
- Utilizando el volumen de la madera comercial de todas las especies para un diámetro mínimo conocido, con base en modelos simples que permiten convertir el volumen a biomasa usando factores de expansión de la biomasa (Brown & Lugo 1992).

### **3.5 Pendiente topográfica**

Es el desnivel o inclinación de una superficie con respecto a la horizontal (Omarini 2003).

Los bosques montanos presentan sistemas de pendientes capaces de perturbar las condiciones abióticas. Estas perturbaciones pueden causar insolaciones más cortas, lo que provoca una poderosa inversión térmica en los árboles (Foyo 1995).

La estructura de los bosques puede cambiar con la topografía específicamente la pendiente que es uno de los factores que determina el ángulo del terreno. Los mecanismos de cambio de la pendiente, dentro de la vegetación son variables que no

se comprenden con claridad. Esta configuración proporciona la diferencia de la vegetación a lo largo del gradiente topográfico (Takyu *et al.* 2002).

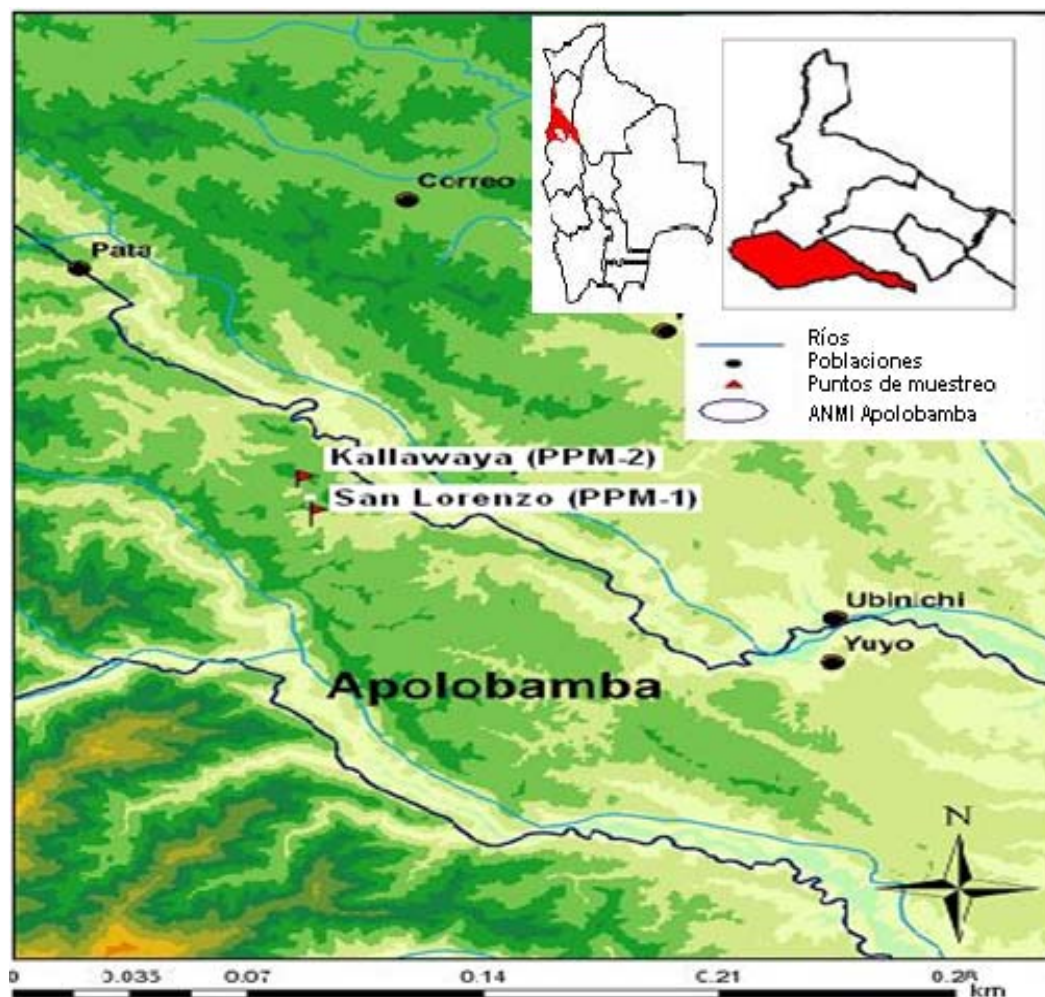
La inclinación de la superficie (pendiente), juntamente con la altitud y la orientación de la pendiente promueven una variación de la insolación los que son reflejados en la estructura, composición de la vegetación y regeneración natural.

## 4. LOCALIZACIÓN

### 4.1 Ubicación geográfica

El presente estudio se realizó en el departamento de La Paz, Provincia Bautista Saavedra, dentro del Área Natural de Manejo Integrado Apolobamba (ANMI). El área pertenece a la provincia biogeográficamente de los Yungas (Navarro & Maldonado 2002).

El sitio de estudio se encuentra entre los 15°04'44.9" de latitud Sur, 68°28'41.1" de longitud Oeste (Fig. 1) y a un rango altitudinal de 1054 – 1242 m. en la comunidad de Thola Pampa entre las poblaciones de Wayrapata y Paujeyuyo en dirección noreste, camino a Apolo (Anexo 5).



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio y de las parcelas de muestreo de la localidad de Tholapampa. Elaborado por: Isabel Loza Rivera (2011).



## 4.2 Geomorfología y suelo

Su geomorfología se caracteriza por los relieves de las cordilleras, con fuertes pendientes y pronunciadas diferencias de nivel, pendientes escarpadas de cimas amplias e irregulares, recortada por valles estrechos y profundos entre 800 a 6200 m, con pequeñas terrazas aluviales (Miranda & Quisbert 1994, Montes de Oca 1997).

En la Cuadro 2 se muestran las características edáficas particulares de la zona de estudio, los cuales fueron recolectados en campo y llevados a laboratorio de Ecología y registrados en el Herbario Nacional de Bolivia. (Base de datos Proyecto Madidi, 2010)

**Cuadro 2.** Resultado de las características edáficas de muestras compuestas de suelo del bosque montano pluvial de la comunidad de Tholapampa.

Parámetro	Unidad	Límite de determinación	San Lorenzo (PPM - 1)	Kallawayá (PPM - 2)
pH acuoso		1 - 4	3,3	3,7
Conductividad eléctrica	μS/cm	5,0	255	177
Nitrógeno total	%	0,0014	0,69	0,43
Fósforo disponible (P)	P/mg*kg-1	1,5	4,8	4,9
Carbón orgánico	%	0,060	7,1	4,2
Materia orgánica	%	0,10	12	7,1
Sodio intercambiable	cmolc/kg	0,0008	0,11	0,043
Potasio intercambiable	cmolc/kg	0,0053	0,0058	0,093
Calcio intercambiable	cmolc/kg	0,016	0,15	0,13
Magnesio intercambiable	cmolc/kg	0,00083	0,17	0,24
Acidez intercambiable	cmolc/kg	0,050	11	6
CIC	cmolc/kg	0,073	11	6,5
Arena	%	2,5	24	27
Limo	%	1,1	3	9
Arcilla	%	1,1	73	64
Clase textural			Arcilla	Arcilla

**Fuente:** © Proyecto Madidi LPB–MO, 2010.

El Área Natural de Manejo Integrado (ANMI) Apolobamba presenta suelos heterogéneos, desde suelo poco profundos hasta muy profundos (Miranda & Quisbert 1994).

### 4.3 Clima

Según Navarro & Maldonado (2002) este tipo de bosque se caracteriza por presentar un clima pluvial húmedo extendido en toda la cuenca subandina alcanzando niveles extraordinarios de pluviosidad (MDSP & SNAP 2001) llegando a precipitar de 1700 a 2500 mm con una estación seca de 2 meses áridos al año (Muller *et al.* 2002).

El sitio de estudio no cuenta con un centro meteorológico, las temperaturas indicadas corresponden a una interpolación de datos.

### 4.4 Vegetación

El presente estudio corresponde a un bosque pluvial subandino inferior de Yungas que se caracterizan por la diversidad de elementos florísticos de Yungas y elementos florísticos de la Amazonía (Navarro & Maldonado 2002).



**Figura 2.** Vista del bosque Pluvial Subandino Inferior de Yungas  
© Proyecto Madidi LPB-MO (Mayo 2004).

En este tipo de bosque la especie más abundantes es *Oenocarpus bataua* (Figura 2), combinado con mezcla de elementos andinos y amazónicos (Navarro & Maldonado 2002, Fuentes 2005).

Entre los elementos amazónicos presentes se encuentra: *Hevea brasiliensis*, *Caryocar microcarpum* y *Parkia nitida* y los elementos andinos son *Miconia* spp. y *Cyathea caracasana* (Navarro & Maldonado 2002, Fuentes 2005).

Según Navarro & Maldonado (2002) las familias y especies más abundantes de este tipo de bosque son: Araliaceae: *Schefflera herzogii*, Burseraceae: *Protium montanum*, Cunoniaceae: *Weinmannia pentaphylla*, Cyatheaceae: *Cyathea andina*.

Seguido por Euphorbiaceae: *Alchornea glandulosa*, *Hieronyma andina*, Clusiaceae: *Clusia polyantha*, *Tovomita weddelliana*, Lauraceae: *Nectandra laurel*, *Persea peruviana*, Melastomataceae: *Graffenrieda gracilis*, *Miconia dolichorrhyncha*; Rubiaceae: *Cinchona humboldtiana*, *Elaeagia mollis*, *Ladenbergia magnifolia*.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Materiales

#### 5.1.1 De campo

- Mapa de vegetación del PN y ANMI Madidi
- Carta topográfica
- Libreta de campo
- Planillas de campo
- Lápices y marcadores
- 15 Kg. de clavos de aluminio
- Global Positioning System (G.P.S)
- Cinta diamétrica de fibra de vidrio
- Bolsas de polietileno negras (30 x 42 y 40 x 80 cm)
- Papel periódico
- Alcohol al 70%
- Laminas de aluminio corrugado
- Cámara fotográfica
- Pico de loro
- Tijeras de podar
- Anafres a kerosén
- Prensas de madera
- Tubos PVC de ½"
- Lápices de cera
- Cinta métrica (50 m)
- Equipo de cocina
- Cinta flagging
- Cinta de embalaje
- Cuerda plástica
- Jalones de 1,5 m
- Secadora portátil
- Pintura roja en spray
- Cartón corrugado
- Martillo
- Pala
- Correas
- Brújula
- Altimetro
- Carpa
- Kerosén
- Machetes
- Trepadores
- Lupa (10 X)
- Trepadores
- Clinómetro
- Herborizador
- Binoculares
- Placas de aluminio

#### 5.1.2 De gabinete

- Claves botánicas
- Colecciones testigo del Herbario Nacional de Bolivia
- Lupa (10X)
- Material de escritorio
- Computadora
- Fólderes de Papel kraft
- Estéreo microscopio (100X)

## **5.2 Metodología**

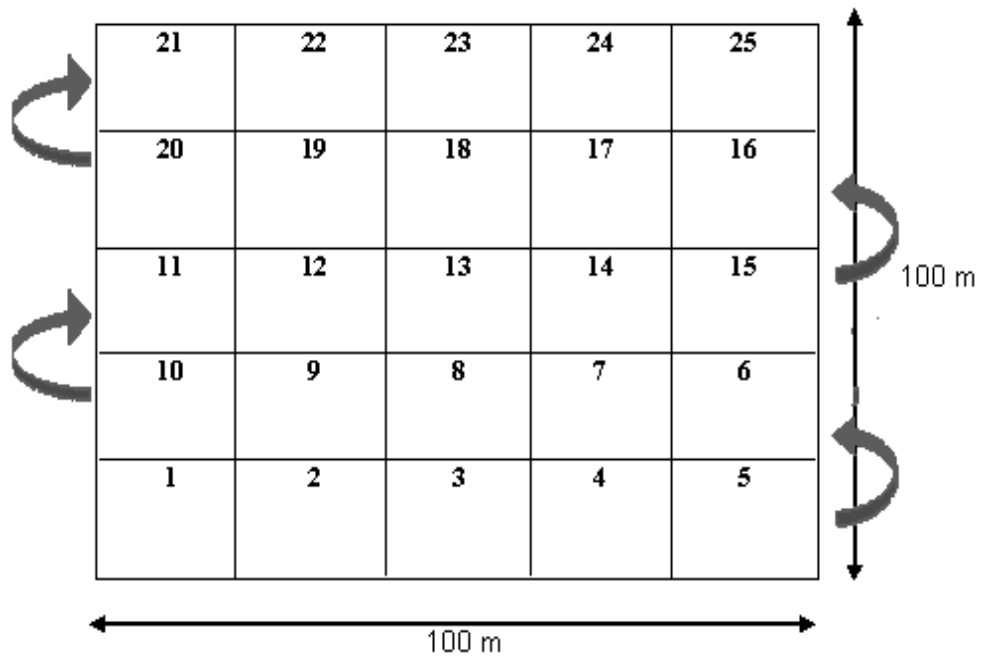
### **5.2.1 Definición del área de estudio**

El sitio de estudio fue definido mediante la consulta del Mapa de Vegetación del Madidi y Apolobamba (Departamento de Geografía, Museo Noel Kempff Mercado, escala 1:250.000, borrador preliminar) y una carta topográfica a escala 1:100,000 de Apolo (Serie H 632, Hoja 3.241) elaborada por el Defense Mapping Agency Center, Washington, D.C. También se consideraron factores como: la accesibilidad a la zona de estudio y el estado de conservación del bosque. Una vez en campo primero se realizó un reconocimiento del área, buscando ambientes representativos del bosque montano pluvial, sin perturbaciones recientes y lo suficientemente extensas como para instalar una parcela permanente de muestreo (PPM) de una ha.

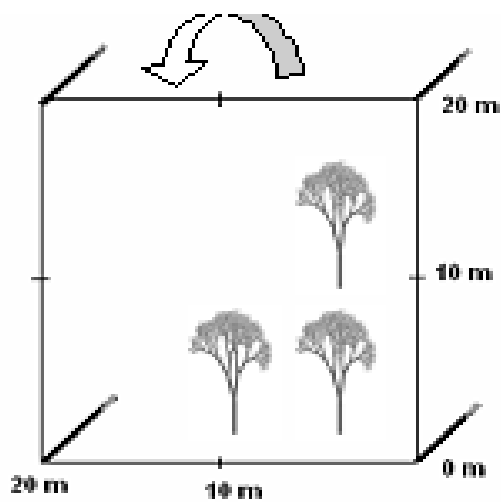
### **5.2.2 Instalación de las parcelas permanentes de muestreo (PPM)**

Se instalaron dos Parcelas Permanentes de Muestreo; la primera parcela estuvo ubicada a  $15^{\circ}05'25''\text{S}$   $68^{\circ}27'44''\text{W}$  y a una altitud de 1054 m.s.n.m. el sitio es conocido como San Lorenzo. La segunda parcela está ubicada a  $15^{\circ}04'31''\text{S}$   $68^{\circ}27'57''\text{W}$  y a una altitud de 1242 m.s.n.m. el sitio es conocido también como Kallawaya ambos situados en la comunidad de Tholapampa, Provincia Bautista Saavedra.

Para su instalación se tomó un punto base en la esquina sudoeste, el cual fue marcado con una estaca de madera a partir de este punto y con ayuda de una brújula se tomó el rumbo ( $135^{\circ}$ ) para delinear la senda principal (Fig. 3). Siguiendo el mismo rumbo se traza la línea base de 100 m, marcando cada 20 m con estacas de madera debidamente identificadas con un color definido de cinta bandera. Adicionalmente se marca cada 10 m (Fig. 3A) con estacas identificadas con otro color para ayudar en la toma de coordenadas de los árboles en el momento de la evaluación. Las estacas que marcan cada 20 m servirán para trazar las líneas verticales. De la misma forma se realizó la línea perpendicular desde el punto 00 con rumbo de  $225^{\circ}$ , para la delimitación de las subparcelas.



**Figura 3.** Diseño de las Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM)

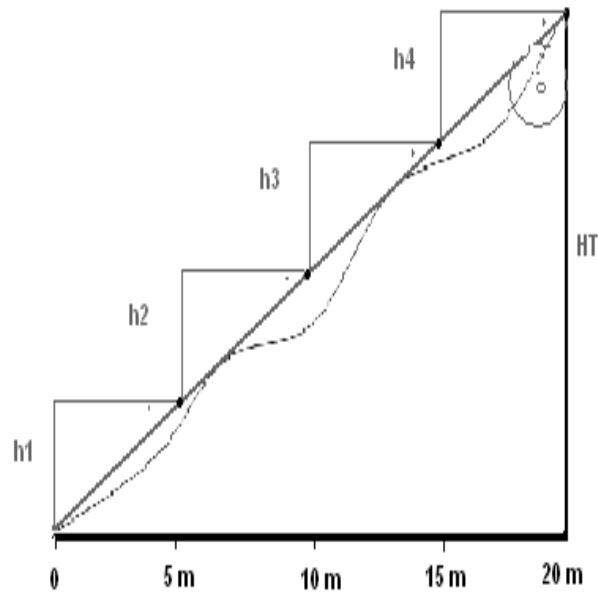


**Figura 3A.** Diseño de una Sub parcela de 20x20 m

### 5.2.2.1 Corrección de la distancia

Para la corrección de la distancia entre diferentes puntos en una superficie con inclinación heterogénea, se recomienda realizar las mediciones a un mismo nivel como se muestra en la Figura 5. De esta manera se corrige el error que podría provocar medir sobre la superficie con pendiente.

En la parcela se opto por medir la distancia cada 2 y 5 metros, utilizando una vara de madera de 1.5 m de largo, que permita poner al mismo nivel el punto que se encontraba más bajo de esta forma obtuvimos una distancia horizontal correcta.



**Figura 4.** Corrección de las distancias entre diferentes puntos a lo largo de la pendiente.

## 5.2.3 Toma de datos de la parcela

### 5.2.3.1 Diámetro a la altura del pecho (dap)

Se inventariaron todos los individuos (árboles, palmeras, helechos arbóreos y lianas) con diámetro a la altura del pecho (dap) mayor o igual a 10 cm que se encontraban dentro de la parcela de estudio en el momento de la evaluación. Aquellos individuos que estuvieron sobre el límite de la parcela fueron evaluados siempre y cuando al menos la mitad del área basal o sección trasversal de su tronco principal se encuentra dentro de la parcela.

El dap fue medido a 1,3 m desde el suelo o pie de cada individuo previa limpieza de musgos, epifitos, lianas que pudieran entorpecer la precisión de medida. Para evitar errores en la altura de medición usamos una vara marcada a los 1.3 y 1.5

m. En casos especiales como troncos bifurcados o deformaciones en el tronco a la altura de medición de dap, se empleo lo que indica la Figura 6.

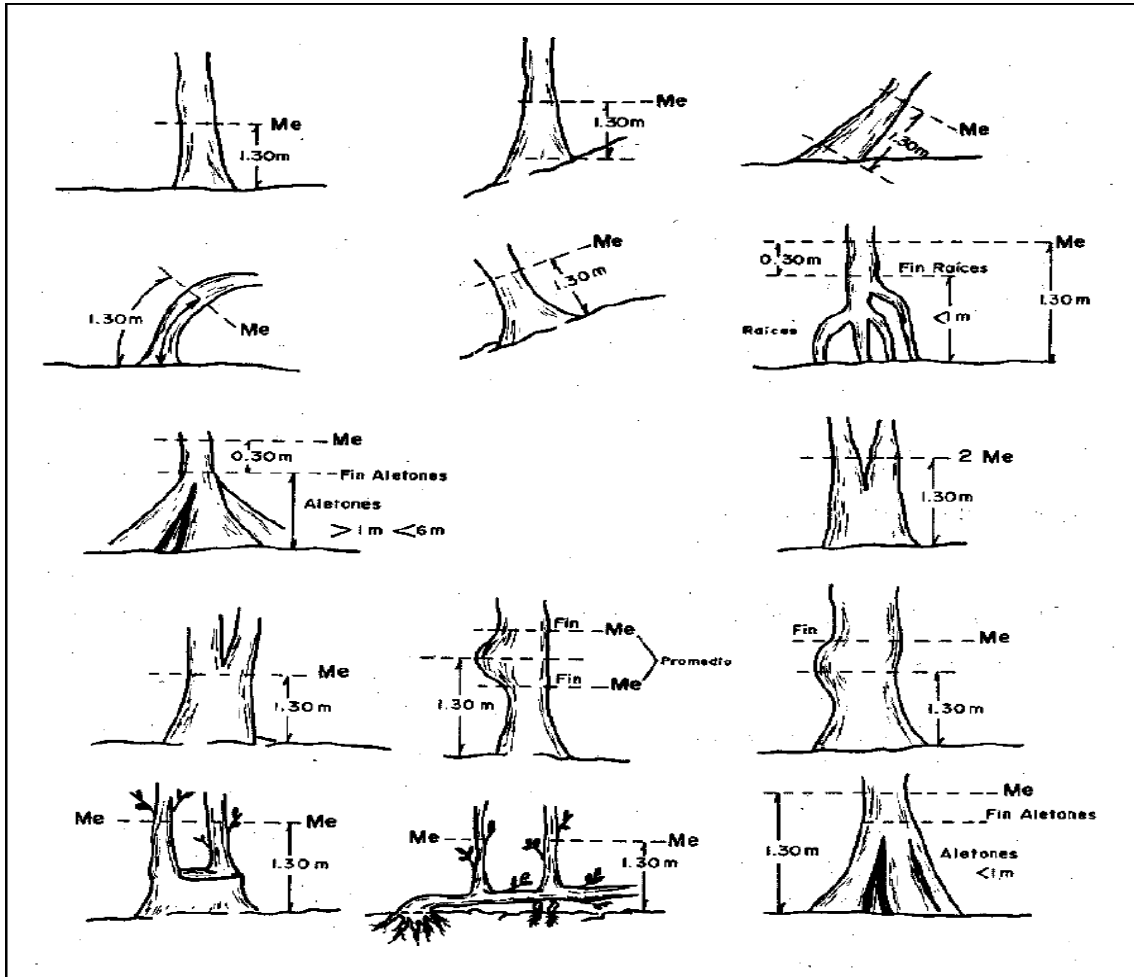
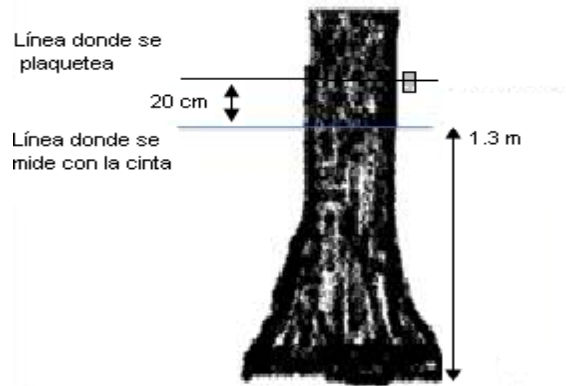


Figura 5. Formas para medir el diámetro a la altura del pecho (dap en cm.) en casos especiales.

### 5.2.3.2 Plaqueteado

Se efectuó 20 cm arriba del punto de medición del dap (Fig. 7), se utilizó para ello las placas de aluminio numeradas correlativamente y clavos de aluminio. Los árboles fueron numerados sistemáticamente, moviéndose alrededor de cada subparcela cerrando con el último árbol plaqueteado en cada subparcela y empezando la próxima subparcela, golpeando ligeramente el clavo en un ángulo hacia abajo tanto que pueda penetrar la corteza, pero dejando un espacio libre para que cuando el árbol crezca no cubra o absorba la placa de aluminio.





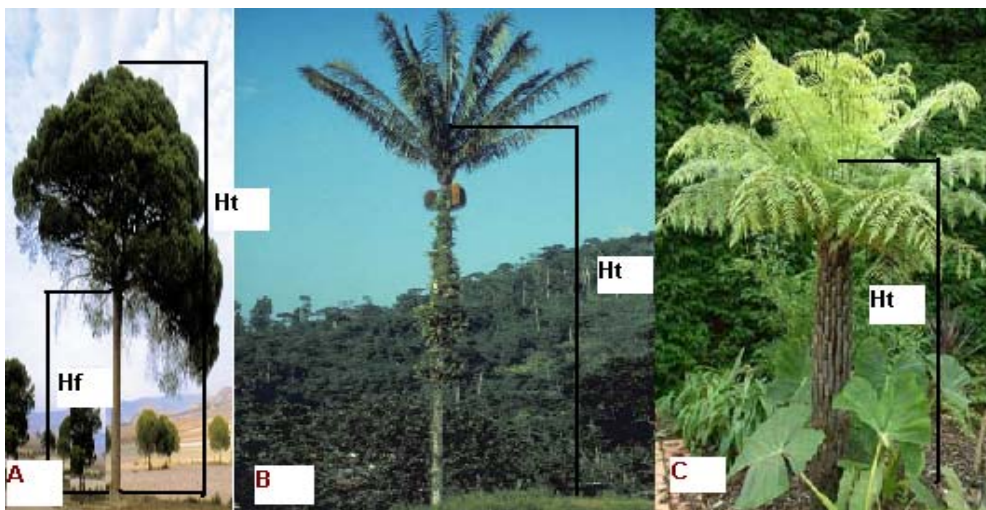
**Figura 6.** Forma de plaquetear por encima del diámetro medido.

### 5.2.3.3 Altura de los árboles

En los bosques tropicales y subtropicales es muy difícil determinar la altura de los árboles con alta precisión, debido a que es complicado identificar exactamente la parte superior de las copas cuando están totalmente llenas de follaje. Para el presente estudio la medición de alturas se realizó de forma visual (Fig. 8), debido a la topografía accidentada del área.

La altura total (Ht) se considero la distancia entre la base y el ápice de los árboles.

La altura al fuste (Hf) se considero como la distancia entre la base y la primera bifurcación principal que defina el inicio de la copa.

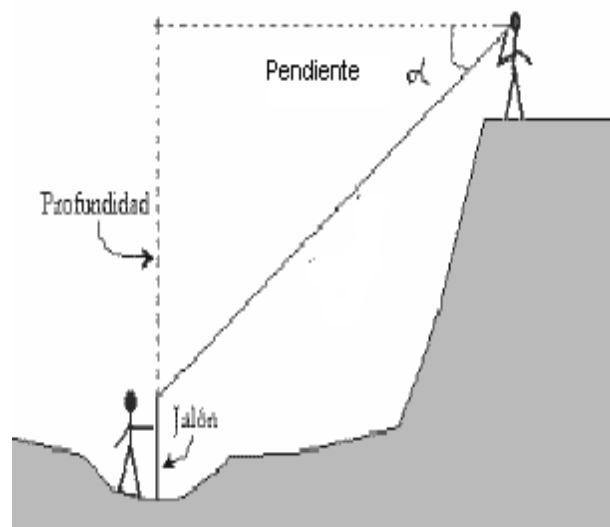


**Figura 7.** Forma de medir la altura al fuste (Hf) y la altura total (Ht).A: árbol, B: Palma, C: Helecho arbóreo.

#### 5.2.3.4 Pendiente topográfica

Se tomaron datos de la pendiente con ayuda de un clinómetro, en porcentaje (%), cada 2 y 5 m de distancia. Para lo cual se utilizó una vara recta de madera marcada con una cinta Flagging a la altura de los ojos de la persona que realizo la medición.

El responsable de la medición se ubico en el punto 00 de una sub parcela (20×20 m) y miro hacia la vara marcada que fue sujeta por un ayudante de campo ubicado a 5 metros de distancia. De esta forma se obtuvieron los datos de la pendiente (Fig. 9).



**Figura 8.** Forma de medir la pendiente en una superficie de pendiente heterogénea.

#### 5.2.4 Toma de datos de las colecciones

##### 5.2.4.1 Colección e identificación de las muestras botánicas

Se colectó 4 muestras por individuo estéril y 8 muestras (cuando hubieron) por individuo fértil, empleando una tijera telescópica y tijera de podar de mano. Las colecciones fueron etiquetadas con un código conformado por las iniciales del colector seguidas de un número correlativo (Arturo Escalante Cruz, AEC 01). Se guardaron en bolsas de colecta para ser transportadas hasta el campamento

base, en donde fueron herborizadas con métodos tradicionales y luego preservadas en alcohol al 70%.

Adicionalmente se tomo nota de todas las características morfológicas que pudieran perderse con el secado de la planta, como presencia de exudados, olor y color de hojas y flores y detalle de otras características singulares que podría presentar en el individuo.

#### 5.2.4.2 Fenología

Para la fenología de las especies leñosas inventariadas se considero los siguientes aspectos (Cuadro 3):

**Cuadro 3.** Descripción de la fenología de los arboles, palmeras y lianas presentes en las parcela permanentes de muestreo (PPM).

Nombre	Valor Categórico	Descripción
Estéril	1	Sin presencia de órganos reproductivos
Botón floral	2	Flor en proceso de formación
Flores	3	Estructura reproductiva de una planta
Fruto inmaduro	4	Fruto en proceso de formación
Fruto maduro	5	Fruto consistente
Fruto viejo	6	Fruto en proceso de descomposición
Semillas	7	Es cada uno de los cuerpos que forma el fruto
Sin hojas	8	Sin presencia de hojas
Agallas o enfermo	9	Mal formaciones en hojas, ramas o frutos. Presencia de hongos o parásitos que dañen al individuo.

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

#### 5.2.5 Preservado de las muestras botánicas

Para preservar las muestras se utilizó alcohol industrial mezclado con agua 25/75. Las colecciones deben estar herborizadas, estas son empaquetadas en periódico sujetadas con monófil o cinta rafia. Cada paquete fue puesto dentro una bolsa de plástico, posteriormente, se vacía el alcohol en cantidad suficiente

como para empapar todo el paquete, teniendo cuidado especial de echar alcohol al centro para asegurarse que estas parte también se preservara. Una vez empapados en alcohol, se elimina todo el aire contenido en las bolsas, estas se cierran e introducen en otra bolsa de plástico.

### **5.2.6 Prensado y secado de las muestras**

En las instalaciones del Herbario Nacional de Bolivia, las muestras botánicas fueron retiradas de las bolsas plásticas para ser herborizadas usando cartones y papel secante; en caso necesario se usaron láminas de aluminio corrugado, cuando las muestras eran muy carnosas. Terminado el proceso, las muestras son prensadas, usando prensas de madera y correas, luego fueron colocadas en los secadores eléctricos, a una temperatura de 60°C durante 24 a 48 horas hasta que las muestras estén completamente secas.

### **5.2.7 Identificación botánica de las colecciones**

Se realizo la identificación taxonómica con ayuda de lupa estereoscopio y claves botánicas, por comparación con especies montadas del herbario, y con el apoyo de especialistas botánicos del Jardín Botánico de Missouri e investigadores del Proyecto Inventario Florístico de la Región Madidi.

Cabe destacar que al momento de la colección la mayoría de las muestras se encontraban estériles. Esto complica dificultad en la identificación a nivel de especie. Para solucionar el problema se realizaron morfoespecies, es decir agrupando las muestras de una determinada familia o género de acuerdo a sus características morfológicas. Diferenciándolas unas de otras mediante una colección testigo, es así que se obtuvo por ejemplo, las morfoespecies *Hevea* sp. 1 y *Hevea* sp. 2 que representan a especies diferentes del mismo género y familia.

Un juego de colecciones testigo fueron depositados en el Herbario Nacional de Bolivia y otro fue enviado al Jardín Botánico de Missouri. Además los datos de

los especímenes son accesibles por Internet en la base de datos TRÓPICOS ([www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)) del Jardín Botánico de Missouri.

### **5.2.8 Base de datos**

Las planillas de campo fueron digitalizadas en el programa Excel, una vez realizada la identificación de los especímenes coleccionados se actualizó la información de familia y nombre científico en la base de datos para iniciar los análisis.

## **5.3 Diseño de investigación**

En el presente estudio se usó un diseño de investigación “no experimental descriptivo”

La investigación no experimental es sistemática y empírica en la que las variables independientes no se manipulan porque ya han ocurrido. Las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa y dichas relaciones se observan tal y como se han dado en su contexto natural, para después analizarlas, esto se observa en su ambiente natural (Hernández *et al.* 2003).

### **5.3.1 Muestreo al azar**

Es un subconjunto de individuos (muestra) elegido de un sistema más grande (población). Cada uno se elige aleatoriamente y enteramente por casualidad, tales que cada uno tiene igual probabilidad de ser elegido en cualquier etapa del proceso de muestreo, y de cada subconjunto tiene la misma probabilidad de ser elegido para la muestra como cualquier otro subconjunto de individuos (Starnes 2008).

### **5.3.2 Diseño de campo**

Se empleó parcelas permanentes de muestreo (PPM). Este es un método estándar que nos permite instalar una parcela cuadrada de una hectárea de superficie, en la cual son inventariados todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (dap) igual o mayor a 10 cm. El uso de este método permite una

comparación cuantitativa y cualitativa de los sitios estudiados, ofreciendo posibilidades de observación a largo plazo sobre la dinámica del bosque.

### 5.3.3 Variables de respuesta

#### 5.3.3.1 Evaluación de la composición florística

Para determinar la distribución de individuos en el espacio se utilizó las variables de abundancia, dominancia y frecuencia de las categorías vegetales en la comunidad se utilizaron los parámetros descritos por Matteucci & Colma (1982).

##### 5.3.3.1.1 Abundancia (A)

- **Absoluto:** Es el número de Individuos de un taxón en un área determinada. Para evaluar la abundancia se utilizó la siguiente fórmula:

$$Ab = N/A$$

$N$  = Numero de individuos de un taxón

$A$  = Área determinada

- **Relativa:** Es el número de individuos por unidad de área o la abundancia de un taxón o clase de plantas.

- 

$$A.R. = (N^{\circ} \text{ de individuos de un taxón} / N^{\circ} \text{ total de individuos}) * 100$$

##### 5.3.3.1.2 Dominancia (D)

- **Absoluta:** Es la sección determinada en la superficie del suelo por el haz de proyección horizontal del cuerpo de la planta, equivale en análisis forestal a la proyección horizontal de las copas de árboles. En este tipo de bosques resulta a menudo imposible de determinar dichos valores, debido

a la existencia de varios doseles dispuestos unos encima de otro y la entremezcla de copas. Y esta dada por:

$$D = (\pi/4) * dap^2$$

$$\pi = 3.1416$$

$Dap$  = diámetro a la altura del pecho

- **Relativa:** Es la partición en porcentaje que corresponde a cada especie del área basal total.

$$D.R. = (Dominancia\ absoluta\ de\ cada\ especie / Dominancia\ absoluta\ total) * 100$$

#### 5.3.3.1.3 Frecuencia (F)

- **Absoluta:** Es la regularidad de distribución de cada especie dentro del terreno. Se da como el porcentaje del número de subparcelas en que aparece una especie en relación al total de subparcelas muestreadas.

$$F.A. = (N^{\circ}\ de\ subparcelas\ en\ que\ aparece\ la\ especie / N^{\circ}\ total\ de\ subparcelas\ observadas) * 100$$

- **Relativa:** se refiere al porcentaje de la frecuencia absoluta de una especie en relación con la suma de las frecuencias absolutas de las especies presentes.

$$F.R. = (Frecuencia\ absoluta\ de\ una\ especie / Total\ de\ frecuencia\ absoluta) * 100$$

#### 5.3.3.2. Índice de Valor de Importancia por Especie (IVI)

Este índice está referido a aspectos numéricos de la población de árboles, dimensión de los árboles y las distribuciones de las especies en un área. Esta evaluación se realiza con fines de expresar de forma sencilla los parámetros de estructura del bosque, para este fin se plantea usar valores de abundancia, frecuencia y dominancia.

$$IVI = (Ar + Dr + Fr)/3$$

Donde:

Ar = Abundancia relativa de la especie

Dr = Dominancia relativa de la especie

Fr = Frecuencia relativa de la especie

### 5.3.3.3 Índice de Valor de Importancia por Familia (IVIF)

Se basa en la abundancia relativa y dominancia relativa de cada familia, además de la proporción de la diversidad florística que la familia presenta.

La diversidad Relativa es medida en porcentajes (Lamprecht 1990), para el cual se calcula con la formula:

$$DivR = (N^{\circ} sp / \sum sp) * 100$$

Donde:  $DivR$  = Diversidad relativa por familia.

$N^{\circ} sp$  = Número de especies por familia.

$\sum sp$  = Sumatoria de todas las especies en la parcela.

Una vez calculado los valores de  $DivR$  de cada familia se procedió a calcular el Índice de Valor de Importancia por Familia (IVIF)

$$IVIF = DrF + ArF + DivR / 3$$

### 5.3.3.4 Estructura del bosque

#### 5.3.3.4.1 Estructura vertical



Para realizar el análisis de los resultados de la estructura vertical, se agrupo los datos de altura en 6 clases con datos representativos, para este cometido se ordeno los datos de mayor a menor, seleccionando valores mínimos y máximos en las dos parcelas permanentes, los cuales son restados y dividido entre 6 de acuerdo a la metodología de Malleux (1982), dando como resultado intervalos de 3.8 m, en ambos casos.

$$\frac{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}}{6}$$

#### **5.3.3.4.2 Estructura horizontal**

El diámetro de los árboles fue distribuido en 6 clases con datos representativos, para lo cual se ordeno los valores de diámetro en la base de datos de Excel de donde se extrajo los diámetros máximos y mínimos en los 2 casos. En cierto modo las clases diamétricas son factores que influyen sobre la forma o curva de distribución de diámetros del número de árboles, una agrupación por clases diamétricas, rangos menores determinan curvas más suaves y bastante sensibles.

El rango óptimo para una buena representación de la curva estaría dada por la siguiente formula de acuerdo a Loetsch (1964) y Malleux (1982).

$$\frac{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}}{6}$$

#### **5.3.3.5 Evaluación del efecto de la pendiente en la estructura**

##### **5.3.3.5.1 Pendiente**

Para este caso se organizo los datos en forma ascendente de donde se extrajo los valores máximos y mínimos, los que fueron restados y divididos entre 6 (Malleux 1982), para obtener las 6 clases de pendiente (Cuadro 4) dando como

resultado intervalos de 10. En este análisis no se tomo en cuenta los valores de cero, ya que el área de muestreo se encuentra con una pendiente mayor o igual al 10% la cual dificulta obtener datos representativos en este primer intervalo de 0 a 10.

**Cuadro 4.** Rango para cada clase de pendiente

<b>Clases de Pendiente</b>	<b>Rango (%)</b>
1	≤ 20
2	21 - 30
3	31 - 40
4	41 - 50
5	51 - 60
6	61 - 70
7	≥ 71

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

#### **5.3.3.5.2 Número de individuos y pendiente**

Para evaluar la relación de número de individuos y pendiente topográfica se utilizó una gráfica con puntos de dispersión que nos refleja la tendencia entre el número de individuos y pendiente. Asimismo se utilizó una correlación de Pearson para determinar el grado de relación que existe entre el número de individuos y la pendiente, en este caso en particular se optó por trabajar con promedios, ya que permite una uniformidad de datos.

#### **5.3.3.5.3 Estructura vertical y pendiente**

Para analizar la relación entre la estructura vertical y la pendiente topográfica se realizó la selección de alturas máximas de las muestras de cada parcela, la cual fue llevada a un programa informático de SPSS (Pasw stastisc 18), donde se obtuvo una gráfica de puntos de dispersión, que nos muestra la tendencia de

esta relación. Para obtener mejores resultados y coadyuvar la relación, se utilizó un coeficiente de correlación de Pearson.

#### **5.3.3.5.4 Estructura horizontal y pendiente**

Para determinar la relación de diámetro y pendiente se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, el que nos permite observar la relación existente entre el diámetro y pendiente, para este caso en particular se utilizó los diámetros máximos para cada unidad de muestreo, estos datos fueron llevados a una base de datos de Excel y SPSS (Pasw statistisc 18), desde donde se realizó un análisis de puntos de dispersión, lo que nos permite observar la tendencia que existe entre el diámetro y la pendiente topográfica

#### **5.3.3.5.5 Biomasa y pendiente**

Para determinar la relación existente entre la biomasa y la pendiente se realizó la estimación indirecta de la biomasa mediante el uso de una ecuación alométrica que requiere los datos de diámetro, altura y la densidad de la madera, que incrementa la precisión en la estimación (Overman *et al.* 1994).

Para la densidad de la madera se aplicó los índices de densidad especies, géneros y familias.

Para la presente investigación se aplicó la ecuación de estimación de biomasa de Brown (1997) de tipo exponencial.

$$B_t = e^{(-2,4090 + 0,9522 \ln (d^2 h \delta))}$$

Donde:

$B_t$  = Biomasa aérea arbórea (kg)

$e$  = Base del logaritmo natural (2,718271)

$\delta$  = Densidad de la madera en  $g/cm^3$  a  $t/m^3$

$d$  = Diámetro a la altura del pecho o dap (cm).

$h$  = Altura total en m.

Se utilizo planillas de Excel para ordenar los datos de todos los individuos presentes en las dos parcelas permanentes.

Para su análisis se utilizo el coeficiente de correlación de Pearson, el cual nos permite observar el grado de relación existente entre la biomasa y la pendiente en un programa de SPSS (Pasw statistisc 18).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1 Composición florística

En las dos parcelas permanentes de muestreo (PPM) instaladas en la comunidad de Tholapampa encontramos 1618 individuos, de los cuales 1530 son árboles, 56 palmeras, 7 helechos arbóreos y 6 lianas. Registrándose un total de 151 especies, 92 géneros y 79 familias entre las dos parcelas (Cuadro 5).

El Cuadro 5 nos presenta la distribución de especies, géneros y familias presentes en las parcelas

**Cuadro 5.** Detalle de la composición florística en las dos parcelas permanentes de muestreo en la comunidad de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawayá PPM -2).

<b>Parcela Permanente de Muestreo (PPM)</b>	<b>Número de individuos</b>	<b>Número de familias</b>	<b>Número de géneros</b>	<b>Número de especies</b>
Kallawayá	766	42	51	76
San Lorenzo	852	37	41	73
<b>Total general</b>	<b>1618</b>	<b>79</b>	<b>92</b>	<b>151</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

Si comparamos con otros estudios realizados a una altitud, tipo de bosque y métodos similares ( $dap \geq 10$  cm), veremos que las parcelas de Tholapampa tienen una similitud en familias, géneros y especies con las parcelas de Paujeyuyo y Wayrapata (Antezana 2007), considerando que el área de muestreo tiene menor superficie (0,5 ha) que en el presente estudio (1 ha). Sin embargo, si comparamos con los estudios realizados por Vargas (1996), Cabrera (2004), Bascopé (2004) tiene una relativa riqueza en la composición florísticas como se observa en el Cuadro 6.

Dentro el estudio realizado por Antezana (2007) reporta que las parcelas de Wayrapata (1300 m), presentan mayor número de especies en relación a las parcelas de Paujeyuyo (900 m). En el presente estudio se puede evidenciar que también sucede lo mismo, existe mayor número de especies y familias en la

parcela Kallawayá (1242 m) que está cercana a las parcelas de Wayrapata a 1300 m y sucede lo contrario con la parcela San Lorenzo (1054 m). Hay que considerar que ambos estudios fueron realizados en la misma localidad con diferencia de altitudes.

**Cuadro 6.** Comparación con otros estudios realizados a diferentes altitudes en un bosque montano ( $dap \geq 10$  cm.)

Localidad	Altitud	Tipo de bosque	Nº Familia	Nº Géneros	Nº Especies	Nº Individuos	Área (ha)	Fuente
Wayrapata	1300	Montano Inferior	44	114	129	384	0,5	Antezana (2007)
Paujeyuyo	900	Montano Inferior	31	117	74	379	0,5	Antezana (2007)
Río Chiriuno	1850	Montano Medio	34	46	82	692	1	Bascope F. (2004)
Río Amparo	2000	Montano Medio	24	42	35	918	1	Vargas I. (1996)
Mamacoma	1600	Montano Medio	32	58	102	860	1	Cabrera H. (2004)
San Lorenzo	1054	Montano Inferior	37	41	73	852	1	Presente estudio
Kallawayá	1242	Montano Inferior	42	51	76	766	1	Presente estudio

**Fuente.** Elaboración propia, 2011.

De la misma forma, Bascope (2004) y Cabrera (2004) muestran un mayor número de especies a mayores altitudes en un bosque montano medio. Sin embargo Muller *et al.* (2002) y Balslev (2006) menciona que en los bosques montanos son más diversos en árboles a bajas altitudes y a mayores altitudes el número de familias, géneros y especies disminuye dando lugar al cambio de composición florística.

Las diferencias encontradas en la composición entre los diferentes estudios comparados pueden deberse a la cantidad de especies e individuos presentes en una muestra, que suele ser la fuente de variabilidad en la riqueza de especies.

Condit *et al.* (1996 citado en Berry 2002) menciona que se debe considerar que el número de especies se acumula de manera sencilla y predecible en función al número de especies (individuos) muestreados y no así en función del área, lo cual explicaría la similitud entre las parcelas de Wayrapata y Paujeyuyo

(Antezana 2007) comparados con las parcelas de San Lorenzo y Kallawaya en el presente estudio que son evaluados en diferentes áreas (0,5 y 1 ha) de muestreo.

Este comportamiento en los bosques subandinos yungueños se debe a la influencia de componentes amazónicos y andinos (Gentry y Ortiz 1993, Gentry 1995, Fuentes, 2005). Ya que por debajo de los 1.400 m de altitud los componentes amazónicos tienen mayor abundancia de especies y pasa lo contrario por encima de esta altitud (Kessler & Beck 2001, Navarro & Maldonado 2002).

La composición de especies en las diferentes formaciones boscosas cambia con las condiciones climáticas prevalecientes de acuerdo a las condiciones de adaptación de las especies como *Sloanea pubescens* y *Hevea guianensis* (Colinvaux *et al.* 1997 citado en Brown & Kapelle 2001).

Existen factores climáticos que influyen en la composición y diversidad florística como la temperatura, humedad y precipitación (Kozlowski 1982 cit. en Wadsworth 2000) de la misma forma Gentry (1995) indica que los factores que determina la riqueza de especies son: ubicación geográfica, variación de temperatura, disponibilidad de luz y tipo de suelo.

Los factores edáficos constituyen uno de los principales determinantes fitogeográficos, ya que la diferencia de un área con suelos ricos a lo largo de Los Andes es evidente, constituidos por sedimentos jóvenes y por otro lado existen zona más viejas con suelos pobres y altamente lixiviados mas allá de las montañas, entonces esta variación también es responsable de estas diferencias florísticas (Vásquez & Givnish 1998). En el presente estudio se tiene un suelo arcillo rico en materia orgánica, lo cual favorecería a la diversidad de especies adaptadas a estas condiciones.

Según Ibisch & Mérida (2003) menciona que los derrumbes naturales ocasionan aperturas en el dosel, dando lugar a las fases de sucesión sobre los cuales se pueden formar microambientes favorables para el establecimiento de las

especies que contribuyen a la heterogeneidad de los bosques. Sin obviar que las perturbaciones naturales se adicionan a los factores cambiantes que en su manera provocan el dinamismo en la estructura y composición de los bosques (Young 2006) en las parcelas evaluadas se encontraron varios árboles caídos que permiten la sucesión de nuevos individuos, debido a la condición accidentada del terreno.

Finalmente la composición del bosque no perturbada se debe a que existe la oportunidad para una selección entre especies y competencia que establece un equilibrio dinámico en la estructura.

### **6.1.1 Abundancia**

Las especies más abundantes fueron *Hevea guianensis* (Euphorbiaceae) con 7,18 % (55 individuos) y *Sloanea pubescens* (Elaeocarpaceae) con 89 individuos ocupando más del 10.84% de total de individuos, estas dos especies son las más abundantes con diferentes valores relativos en ambas parcelas.

Las especies con mayor importancia en segundo lugar en la PPM – 1 son *Miconia bangii* (62 individuos), *Ferdinandusa chlorantha* (51 individuos), *Mabea klugii* (48 individuos), *Pseudolmedia laevigata* (37 individuos), *Ladenbergia carua* (36 individuos) quedando especies con menos de 23 individuos. La PPM – 2 se constituye por las especies *Mabea cf. anadena* (53 individuos), *Symphonia globulifera* (48 individuos), *Iriartea deltoidea* (38 individuos), *Perebea guianensis* (27 individuos), *Tapirira guianensis* (25 individuos). Las especies presentes en las parcelas de investigación se manifiestan con un valor de abundancia relativa diferente en los dos sitios de estudio.

Antezana (2007) señala que las especies abundantes en este tipo de bosque son: *Miconia centrodesma*, *Protium montanum*, *Pseudolmedia laevigata*, *Oenocarpus bataua*, *Helicostylis towarensis*. Sin embargo Chapi (2008) señala que las especies más abundantes en este tipo de bosque y una altitud superior (1400 m) son *Socratea exorrhiza*, *Alchornea glandulosa*, *Dictyocaryum lamarkianum*, *Hieronyma alchorneoides*. Hay que considerar que existen

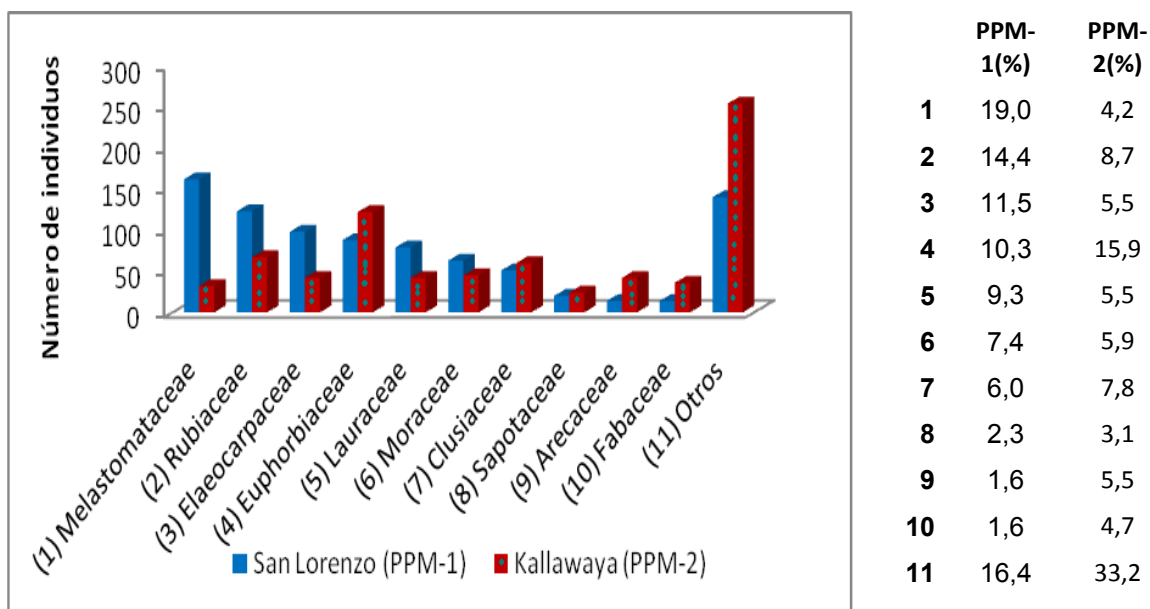


especies no citados en los resultados de abundancia, pero si se encuentran en la composición de este bosque las especies mencionadas por otros autores.

La abundancia de las especies se debe a la amplia distribución y la capacidad de adaptación y sobrevivencias.

En la Figura 9 se muestran las familias más abundantes para la PPM – 1 y fueron Melastomataceae, Rubiaceae, Elaeocarpaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae y Moraceae, el resto de las familias tiene menor a 50 individuos.

En la PPM – 2 son Euphorbiaceae, Rubiaceae, Clusiaceae, Moraceae, Arecaceae y Elaeocarpaceae de la misma forma las restantes familias tienen menor a 40 individuos.



**Figura 9** . Las familias abundantes en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).

En las dos parcelas las familias presentes tienen una similitud con diferencias en los valores de abundancia (Fig. 9), esto probablemente se debe a la distancia entre las dos parcelas y la distribución de familias y especies en la zona.

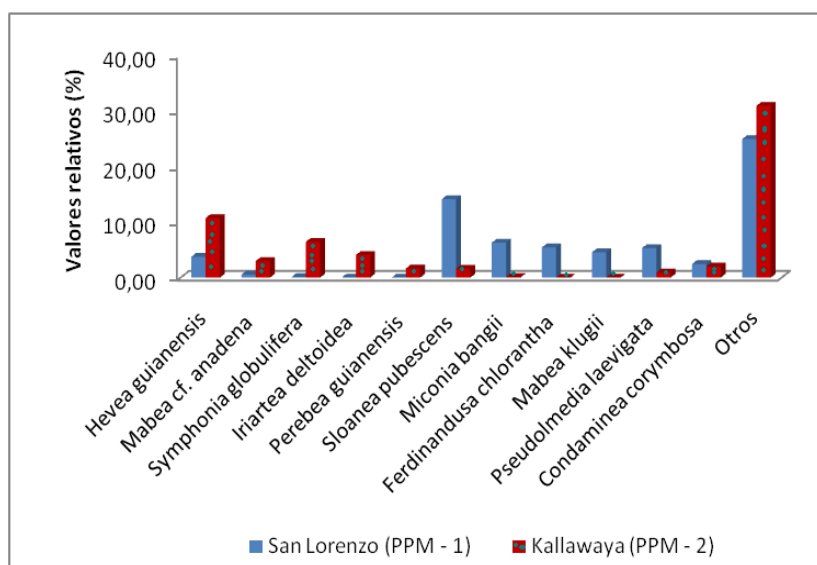
Realizando una comparación con otros estudios de García *et al.* (2004), Cabrera (2004), Fuentes (2005), Antezana (2007) y Chapi (2008) mencionan que las

familias más abundantes en este tipo de bosque son Lauraceae, Melastomataceae, Euphorbiaceae, Moraceae, Rubiaceae, Arecaceae, Clusiaceae, Fabaceae, Sapotaceae, considerando que hay una diferencia en el orden. Pero si se encuentran entre las 8 familias de mayor abundancia en los montanos yungueños pluviales.

### 6.1.2 Dominancia

El área basal total de la PPM – 1 (Fig. 10), en el bosque montano pluvial fue de 21,87 m<sup>2</sup>/ha y las especies más dominantes fueron *Sloanea pubescens* (3,09m<sup>2</sup>/ha), *Miconia bangii* (1,38m<sup>2</sup>/ha), *Ferdinandusa chlorantha* (1,19m<sup>2</sup>/ha), *Mabea klugii* (1m<sup>2</sup>/ha) y *Pseudolmedia laevigata* (1,17m<sup>2</sup>/ha), *Ladenbergia carua* (0,64m<sup>2</sup>/ha) y *Condaminea corymbosa* (0,54m<sup>2</sup>/ha) que representan 47,14% del total del área basal.

La dominancia en la PPM – 2 (Fig. 10), fue 28.55 m<sup>2</sup>/ha las especies más dominantes fueron *Hevea guianensis* (3,07m<sup>2</sup>/ha), *Mabea* cf. *anadena* (0,85m<sup>2</sup>/ha), *Symphonia globulifera* (1,84m<sup>2</sup>/ha), *Iriartea deltoidea* (1,16m<sup>2</sup>/ha), *Tapirira guianensis* (1,69m<sup>2</sup>/ha) y *Virola elongata* (0,77m<sup>2</sup>/ha) que representan 38,24% de toda el área basal en la parcela.



**Figura 10.** Distribución de las especies dominantes (%) en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).

Desglosando la dominancia o área basal por las formas de vida existente en la PPM – 1 tenemos: 21,24 m<sup>2</sup>/ha árboles, 0,51 m<sup>2</sup>/ha palmeras, 0,07 m<sup>2</sup>/ha helechos arbóreos y 0,04 m<sup>2</sup>/ha lianas. Para la PPM – 2, se registran 27,1 m<sup>2</sup>/ha para arboles, 1,38 m<sup>2</sup>/ha palmeras, 0,04 lianas y 0,01 m<sup>2</sup>/ha para los helechos arbóreos. Como se puede observar en la parcela Kallawaya (PPM – 2) las palmeras acumulan mayor área basal en comparación a la parcela de San Lorenzo (PPM –1).

En el Cuadro 7 representa la dominancia por las formas de vida en la de San Lorenzo y Kallawaya.

**Cuadro 7.** Dominancia o área basal por las formas de vida existente en las parcela de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).

Forma de vida	San Lorenzo (PPM – 1)	Kallawaya (PPM – 1)
	AB (m <sup>2</sup> /ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)
Árbol	21,24	27,1
Palmera	0,51	1,38
Helechos arbóreos	0,07	0,04
Lianas	0,04	0,01

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

Realizando una comparación por sus formas de vida, se puede notar que las palmeras existentes en la parcela Kallawaya tienen mayor área basal que las parcelas de San Lorenzo. De la misma forma Chapi (2008) reporta que las palmeras ocupan un lugar considerable en relación al área basal.

La comparación con otro estudio realizados por Antezana (2007) reportan que las especies con mayor dominancia o área basal son *Oenocarpus bataua*, *Helicostylis towarensis*, *Protium montanum*, *Tapirira guianensis*, *Pseudolmedia laevigata*.

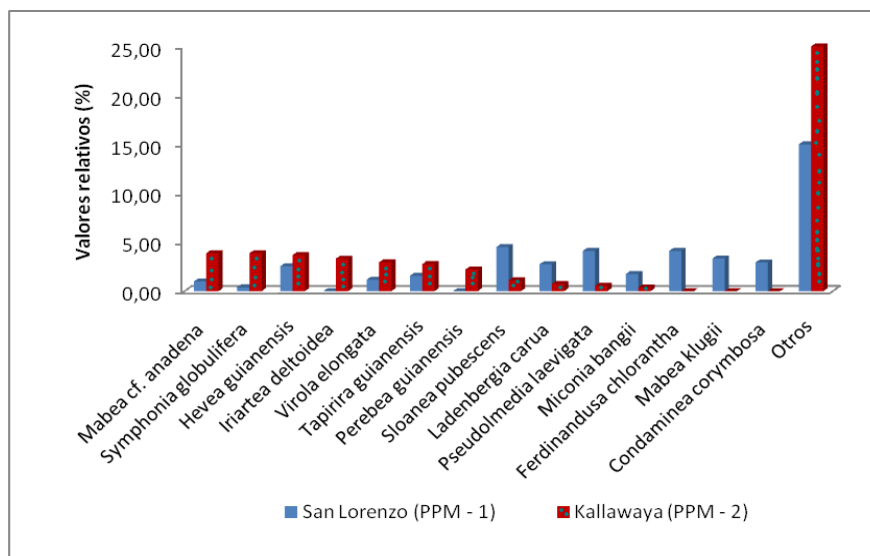
Chapi (2008) señala que las especies más dominantes son *Topobea multiflora*, *Ocotea aciphylla*, *Aniba muca*, *Inga alba*, *Socratea exorrhiza* y *Hieronyma alchorneoides*.

En esta comparación se puede notar que algunas especies tienen semejanza, considerando que el valor de dominancia que presentan cada especie es

diferente, debido a factores climáticos, suelos y topográficos que causan la diferencia entre los estudios realizados.

### 6.1.3 Frecuencia

Las especies frecuentes en las parcelas de estudio son (Fig. 11) *Sloanea pubescens* (89%), *Miconia bangii* (62%), *Ferdinandusa chlorantha* (51%), *Mabea klugii* (48%) para la PPM – 1 y para la PPM – 2 es *Hevea guianensis* (55%), *Mabea cf. anadena* (53%), *Symphonia globulifera* (48%), es decir que aparecen en más de la mitad de la superficie de la parcela de (1 ha) considerando el 100% a las 25 subparcelas.



**Figura 11.** Las especies frecuentes (%) en las parcelas de Tholapàmpa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawayá PPM – 2).

Las especies frecuentes en este estudio también se registran en otras de investigaciones de Antezana (2007) y Chapi (2008), considerando que la frecuencia de estas se encuentran en un orden diferente al encontrado en este estudio.

## 6.2 Importancia ecológica

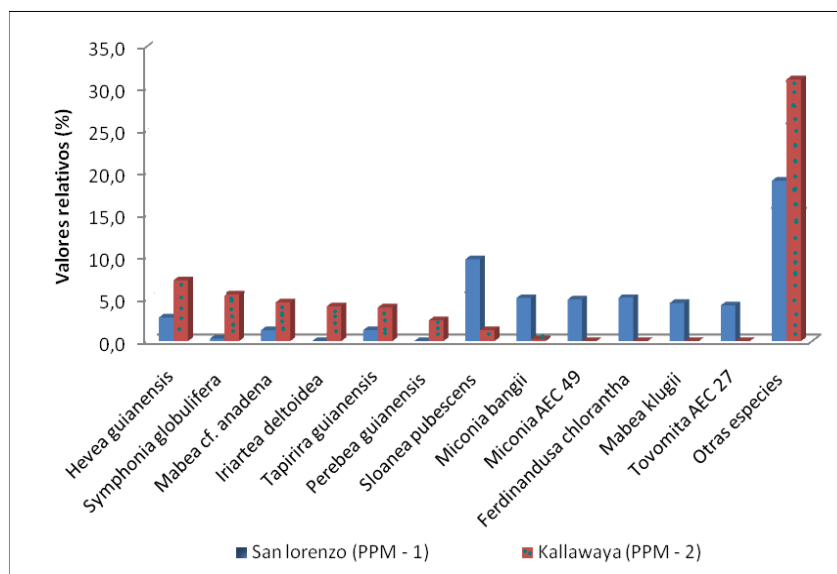
### 6.2.1 Índice de Valor de Importancia por Especie (IVI)

La especie de mayor importancia ecológica en la PPM – 1 fue *Hevea guianensis* (Euphorbiaceae) con 7,2% por ser la más abundante y frecuente en las 25

subparcelas. La segunda especie con mayor peso ecológico fue *Symphonia globulifera* (Clusiaceae) con 5,5% seguida por *Mabea* cf. *anadena* (Euphorbiaceae) con 4.5%. El género *Hevea* es una de las características de los bosques yungueños subandinos reportados por Fuentes (2005)

En la PPM – 2 la especie con mayor índice de importancia ecológica fue *Sloanea pubescens* (Elaeocarpaceae) con 9,7%, al ser una especie de dosel, a veces emergente y con tallo grueso muestra una mayor dominancia. Las especies que ocupan lugares similares al primero en orden descendente son *Ferdinandusa chlorantha* (Rubiaceae) con 5,1%, *Miconia bangii* (Melastomataceae) con 5,1%, *Miconia AEC 49* (Melastomataceae) con 4,9% y *Mabea klugii* (Euphorbiaceae) con 4,5%, estas especies encontradas en el estudio son poco frecuentes a esta altitud, se las reportan también en los bosques amazónicos (Navarro & Maldonado 2002, Fuentes 2005).

La Figura 12 representa las 13 especies de mayor peso ecológico (IVI) en las parcelas de Tholapampa (San PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).



**Figura 12.** Distribución de las especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).

Antezana (2007) realizó estudios en la misma localidad en una altitud de 900 a 1300 m reportando que las especies de mayor importancia ecológica fueron

*Miconia centrodesma* con 3,89%, seguida por *Protium montanum* y *Pseudolmedia laevigata*, *Sloanea sp. 4*. *Oenocarpus bataua*.

Bascope (2005) reporta que las especies importantes son *Nectandra sp. 1* con 8.2% y *Ilex sp. 1* representando el 7.5% en un bosque montano húmedo a una altitud de 1850 a 2023 m.

Chapi (2008) registra en sus resultados como las especies con mayor peso ecológico a *Socratea exorrhiza* (8,6%), *Alchornea glandulosa* (4%), *Popobea multiflora* (4%) y *Ocotea aciphylla* (3,8%) realizado a una altitud de 1.400 a 1.468 m.

**Cuadro 8.** Comparación de índices de valor de importancia (IVI) con otros estudios realizados en bosques montanos de la Región del Madidi.

Localidad	Altitud (m)	Especies	IVI (%)
<b>San Lorenzo (Presente estudio)</b>	1.054	<i>Sloanea pubescens</i>	9,7
		<i>Miconia bangii</i>	5,1
		<i>Miconia</i> AEC 49	4,9
		<i>Ferdinandusa chlorantha</i>	5,2
<b>Kallawaya (Presente estudio)</b>	1.242	<i>Hevea guianensis</i>	7,2
		<i>Mabea</i> cf. <i>anadena</i>	4,6
		<i>Symphonia globulifera</i>	5,5
		<i>Iriartea deltoidea</i>	4,1
<b>Santo Domingo</b>	1.400	<i>Socratea exorrhiza</i>	8,63
		<i>Alchornea glandulosa</i>	4,09
		<i>Topobea multiflora</i>	4,05
		<i>Ocotea aciphylla</i>	3,88
<b>Paujeyuyo</b>	930-1.070	<i>Oenocarpus bataua</i>	10,15
		<i>Euterpe</i> vel sp. nov.	4,21
		<i>Sloanea</i> AEC 21	3,84
		<i>Helicostylis towarensis</i>	3,38
<b>Wayrapata</b>	1.300 - 1.470	<i>Miconia centrodesma</i>	3,89
		<i>Protium montanum</i>	2,52
		<i>Pseudolmedia laevigata</i>	2,46

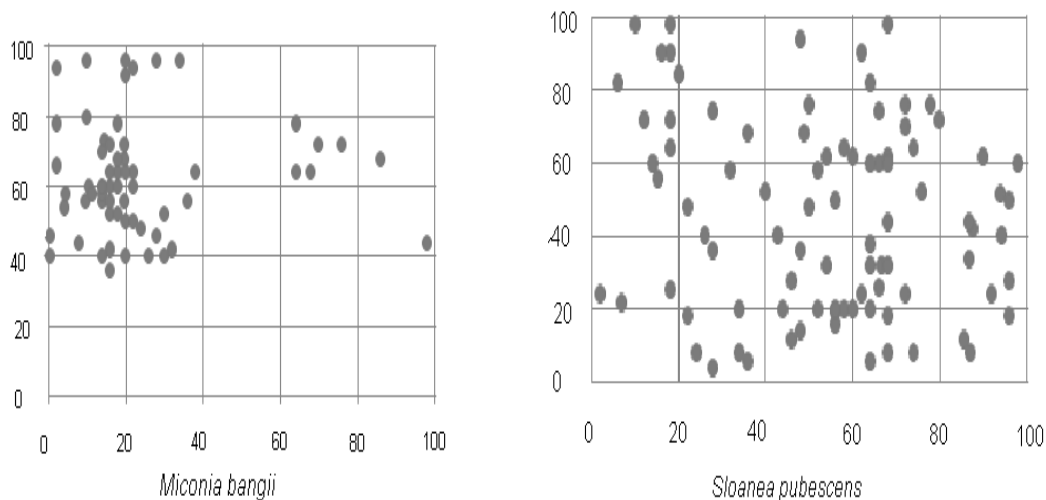
**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

Esta comparación de estudios realizados en bosques montanos pluviales demuestra que las especies encontradas en el presente estudio difieren de otros estudios (Cuadro 8). Estos sucesos se deben a factores ambientales como la altitud y régimen hídrico del suelo y la topografía ya que es de gran importancia la participación de estos factores en desarrollo de los árboles (Finegan, 1992).

Sin embargo hay que considerar que algunas especies tienen una amplia distribución en los bosques del neotrópico principalmente en la cordillera de Los Andes (Foster *et al.* 2001). Sin embargo, se pueden apreciar que existen especies de las zonas amazónicas y andinas permitiendo que el área sea una mezcla florística, esta característica no permite tener una clara diferencia en las composición (Navarro & Maldonado 2002), constituyéndose en una zonas de transición entre los bosques montanos y las formaciones amazónicas (Beck *et al.* 1993; Navarro & Maldonado 2002).

Algunas especies tienen un linaje amazónico como *Tapirira guianensis*, *Iriarte deltoidea*, *Protium montanum*, *Perebea guianensis*, *Pourouma bicolor*, *Tovomita weddeliana*, *Alchornea glandulosa*, *Hieronyma alchorneoides* y *Ocotea cuprea* que se han registrado también en el presente estudio a una altitud 1242 m, lo que quiere decir que estas especies tienen amplia distribución (Navarro & Maldonado 2002).

Las especies con mayor peso ecológico en el presente estudio no tienen un peso ecológico considerable en otros estudios realizados por Navarro & Maldonado (2002), Fuentes (2005), Bascope (2004) y Antezana (2007).



**Figura 13.** Distribución de las especies de mayor importancia en la parcela de San (Lorenzo PPM – 1).

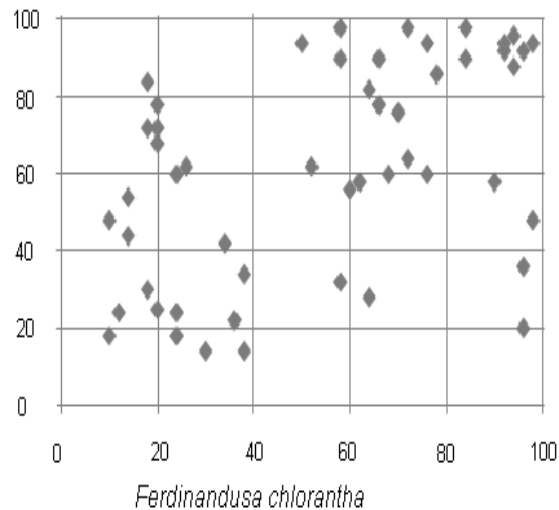
En la PPM – 1 (San Lorenzo) la especie con mayor peso ecológico es *Sloanea pubescens* (Fig. 13) distribuida en 22 subparcelas y ausente en las subparcelas

1, 22 y 25; su distribución es restringida en estas subparcelas, debido a los dispersión de semillas u otras causas desconocidas.

La importancia ecológica que representa *Slonea pubescens* se debe al amplio rango distribución, que va desde 0 hasta 2.300 m de altitud a lo largo del Neotrópico (Smith & Smith 2001), prospera en bosques maduros, condiciones con la que se encuentra la parcela de San Lorenzo.

Las especies que ocupa puestos similares es *Miconia bangii* (Fig. 13) que hace su presencia en solo en 10 subparcelas, considerando que es la segunda especie con mayor peso ecológico en esta parcela; según Navarro & Maldonado (2002), Fuentes (2005) y Antezana (2007) señalan que la familia Melastomatacea (*Miconia Bangii*) es la más diversa en los bosques subandinos, lo que podría deberse a amplia distribución.

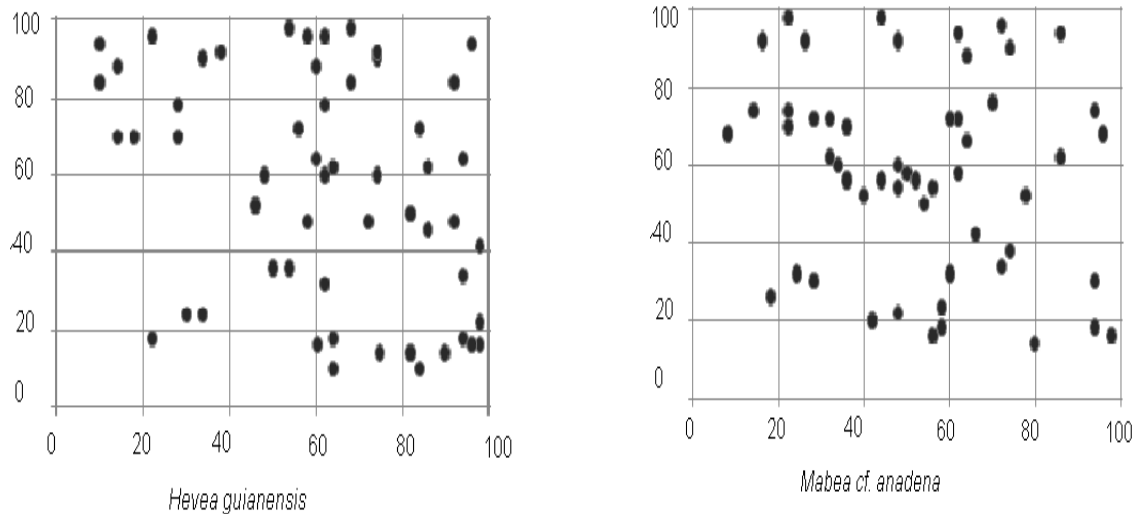
Por lo general la familia Melastomataceae en muchas áreas del mundo abarca altos porcentajes en la flora y generalmente tiene una importancia ecológica considerable, a pesar de ser un componente muy visible de la mayoría de ecosistemas tropicales (Fernández 2005).



**Figura 14.** Distribución de las especies de mayor importancia en la parcela de San (Lorenzo PPM – 1).



La tercera especie con mayor peso ecológico es *Ferdinandusa chlorantha* (Fig. 14) ocupado 20 subparcelas, distribuidas relativamente en estas parcelas.



**Figura 15.** Distribución de las especies de mayor importancia en la parcela de Kallawayá (PPM – 2).

*Hevea guianensis* (Fig. 15) es la especie de mayor peso ecológico en el presente estudio para la PPM – 2 (Kallawayá), debido a su distribución en las 20 subparcelas y la dominancia que representa.

Antezana (2007) no registra esta especie en sus datos. Pero la familia Euphorbiaceae es la que se menciona en los estudios realizados con otras especies.

La importancia ecológica que registra *Hevea guianensis* respecto a otras especies en la parcela Kallawayá, se debe a que esta especie está mejor distribuida en un clima ecuatorial (trópico húmedo) que se caracteriza por presentar temperaturas de 25°C, precipitación pluvial de 1.500 mm, suelo con buena capacidad de retención de humedad y arcilloso, prospera en terrenos planos y quebradas. Estas condiciones son las que caracterizan a las parcelas evaluadas (Cuadro 2), por lo que favorece a la especie (*Hevea guianensis*) a ser la más importante dentro de la parcela.

La especie con mayor importancia ecológica en el segundo puesto es *Mabea cf. anadena* (Fig. 15) registrándose en las 20 subparcelas quedando como uno de

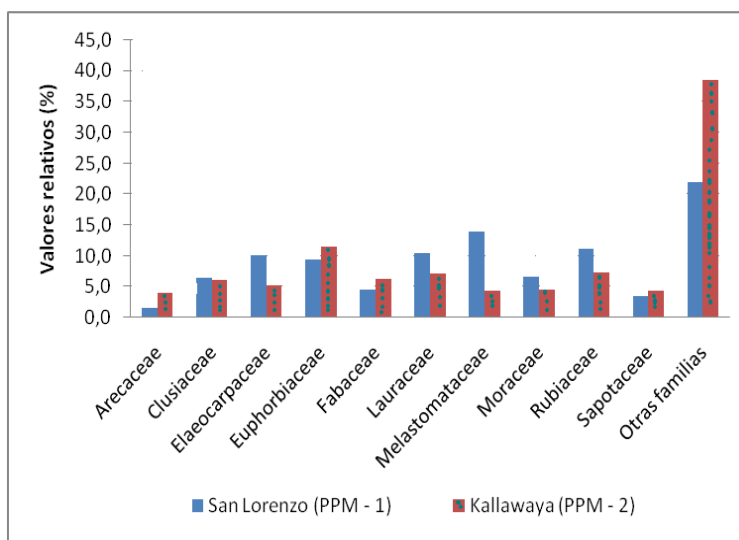
los más importantes en el presente estudio. Sin embargo los estudios realizados por Antezana (2007) y Chapi (2008) no reportan a esta especie, pero si la familia Euphorbiaceae

La composición y la distribución de los bosques no se encuentran en equilibrio, ya que los cambios no ocurren en forma predecible, sino en forma neutral (Hubbell 2001).

Las diferencias encontradas entre los sitios de estudio y otras investigaciones realizadas podrían explicarse por características particulares como perturbaciones, topografía del lugar, regeneración, dispersores, suelo y otros factores. (Kennard 2001). Estas se reflejan en las características de los bosques como la composición y la riqueza de especies.

### 6.2.2 Índice de Valor de Importancia por Familia (IVIF)

Las familias de mayor importancia que caracterizan esta formación boscosa están representadas en la Figura 16, constituyendo el 78 % del IVIF total en la PPM – 1, por las familias Melastomataceae (162), Rubiaceae (123), Lauraceae (98), Elaeocarpaceae (98), Euphorbiaceae (98) y Moraceae (63) son las más importantes en este tipo de bosque.



**Figura 16.** Representación porcentual del Índice de Valor de Importancia por Familia (IVIF) en la comunidad de

Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).

La PPM – 2 está representada por el 66 % del IVIF total, dando lugar a las familias Euphorbiaceae (122), Rubiaceae (67), Clusiaceae (60), Lauraceae (42), Elaeocarpaceae (42), Fabaceae (36), Melastomataceae (32).

En el presente estudio se ha encontrado que las familias importantes son Melastomataceae con 13.9% (PPM – 1) y Euphorbiaceae con 11.5% (PPM – 2).

Las familias con más especies en estos bosques (Fig. 16) en un grado orden diferente corresponden a las mismas encontradas por Antezana (2007) como Melastomataceae (10.4%) a una altitud de 900 a 1300 m. De la misma forma, Bascopé (2005) reporta que las familias de mayor importancia son Euphorbiaceae (16.9%) y Lauraceae (16.7%), ocupando los dos primeros lugares. Y las familias Melastomataceae, Rubiaceae y Moraceae también fueron registrados como las de mayor peso ecológico por Navarro & Maldonado (2002) y Fuentes (2005).

Esta diferenciación en los bosques montanos está influenciado por dos factores principales la latitud y altitud. Altitudinalmente, los bosques montanos parecen incrementar el número de especies hasta cierta altitud de 1,000 a 1,500 m (Gentry 1995), donde se puede apreciar componentes amazónicos y andinos; por encima de esta altitud son diferentes en su composición de especies y familias. Ya que estos factores (latitud y altitud) generan diferencias en suelo, temperatura y precipitación entre otros (Steege *et. al.* 2003).

**Cuadro 9.** Comparación con otros estudios realizado de las familias de mayor importancia en bosque montano de la Región del Madidi.

Fuentes 2005 (1.300 m)	Antezana 2007 (930 - 1.470 m)	Chapi 2008 (1.400 - 1.468 m)	Presente Estudio (1054 – 1242 m)	
			San Lorenzo	Kallawaya
Melastomataceae	Arecaceae	Lauraceae	Melastomataceae	Euphorbiaceae
Rubiaceae	Melastomataceae	Arecaceae	Rubiaceae	Lauraceae
Arecaceae	Rubiaceae	Euphorbiaceae	Lauraceae	Rubiaceae
Moraceae	Moraceae	Melastomataceae	Elaeocarpaceae	Clusiaceae
Cyatheaceae	Lauraceae	Fabaceae	Euphorbiaceae	Arecaceae

El Cuadro 9 representa las familias de mayor importancia en los diferentes estudios realizados por Fuentes (2005), Antezana (2007) y Chapi (2008) sugiere que en el presente estudio se reflejan las mismas familias, difiriendo en el grado de importancia, pudiendo deberse a factores como la altitud al igual que la topografía, por tanto estas variaciones no se deben al azar (Whitmore 1984 citado en Finegan 1992).

Muchas de las familias encontradas en el presente estudio se encuentran en bosques amazónicos preandinos (Gentry 1995, Calzadilla 2004, Quisbert 2004) como Fabaceae, Moraceae, Rubiaceae, Arecaceae, Sapindaceae, Annonaceae y Sapotaceae.

También existen familias altoandinas como Clusiaceae, Melastomataceae, Lauraceae, Aquifoliaceae, Solanaceae y Araliaceae (Gentry 1995, Bascopé 2004).

Las familias más frecuentes en el presente estudio son Melastomataceae, Rubiaceae, Euphorbiaceae, Moraceae, Clusiaceae y Fabaceae las mismas son consideradas por Gentry (1995) como las familias andinas más diversas, lo que podría deberse a que presenta una distribución muy amplia y una adaptación a las condiciones topográficas.

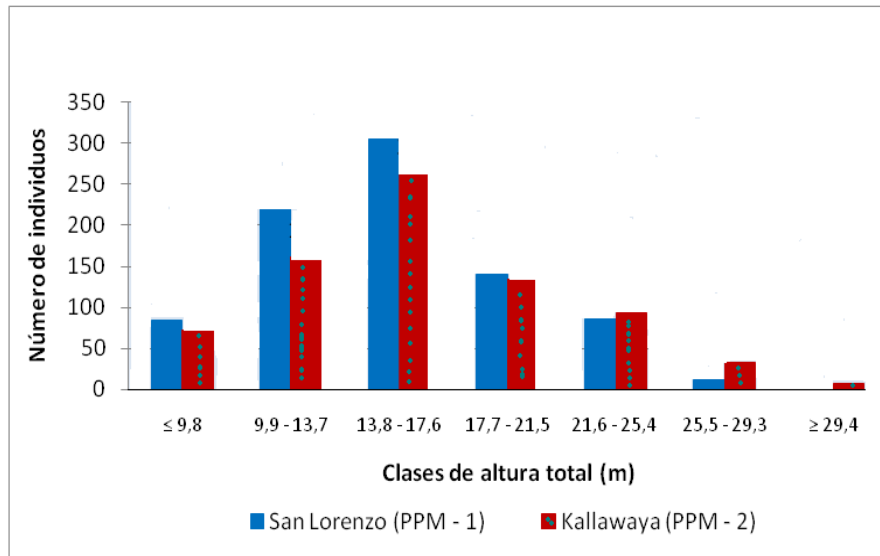
En efecto estas familias también se encuentran entre las más abundantes en otros inventarios realizados en bosques montanos, considerando la posición de importancia que tenga cada una de las familias (Kessler & Beck 2001).

### **6.3 Estructura del bosque**

#### **6.3.1 Estructura vertical**

En la Figura 17 se puede observar que la clase 3 agrupa a un mayor número de individuos (altura) en relación al resto de las clases. Esto significa que los

árboles de este bosque se concentran entre 13.8 a 17.6 m de altura, de acuerdo a la distribución de clases de Malleux (1976).



**Figura 17.** Distribución del número de individuos por clases altimétricas encontradas en las parcelas de San Lorenzo (PPM - 1) y Kallawayá (PPM - 2).

Este comportamiento se debe a la distribución de rangos de altura, ya que en otros estudios se realiza con rangos de 5 m, teniendo varias clases de altura. Para este estudio se utilizó la metodología de Malleux (1976) que sugiere tener 6 clases de altura como datos representativos.

Este comportamiento de alturas es igual al de los diámetros, que a medida que aumenta las alturas disminuye el número de individuos, característico de los bosques tropicales húmedos (Finegan 1992).

Se puede notar que las especies típicas del dosel en bosques primarios son relativamente tolerantes a la sombra; debido a que se desarrollan despacio en las etapas de plántulas; sin embargo una vez desarrolladas las especies, la necesidad de obtener luz se convierte en un factor esencial, principalmente para la mayoría de las especies de estrato medio y superior (Wandsworth 2000).

En el Cuadro 10 se muestra el resumen de todas las especies importantes por clases altimétricas, donde se observa que algunas especies se presentan en los diferentes estratos arbóreos causados por su alta distribución en los dos sitios.

**Cuadro 10.** Las especies abundantes por clases de altura en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).

Clases (m)	San Lorenzo (PPM - 1)	Kallawaya (PPM - 2)
1 (≤ 9,8)	<i>Mollinedia ovata</i> <i>Sloanea pubescens</i> <i>Graffenrieda emarginata</i>	<i>Iriartea deltoidea</i> , <i>Mabea</i> cf. <i>anadena</i> <i>Perebea guianensis</i>
2 (9,9 – 13,7)	<i>Sloanea pubescens</i> <i>Ferdinandusa chlorantha</i>	<i>Perebea guianensis</i> <i>Mabea</i> cf. <i>anadena</i>
3 (13,8 – 17,6)	<i>Sloanea pubescens</i> <i>Ferdinandusa chlorantha</i> <i>Mabea klugii</i>	<i>Mabea</i> cf. <i>anadena</i> <i>Virola elongata</i> <i>Symphonia globulifera</i>
4 (17,7 – 21,5)	<i>Miconia bangii</i> <i>Sloanea pubescens</i> <i>Mabea klugii</i>	<i>Symphonia globulifera</i> <i>Hevea guianensis</i> <i>Iriartea deltoidea</i>
5 (21,6 – 25,4)	<i>Sloanea pubescens</i> <i>Miconia bangii</i> <i>Ferdinandusa chlorantha</i>	<i>Hevea guianensis</i> <i>Symphonia globulifera</i> <i>Tapirira guianensis</i>
6 ≥ 25,5	<i>Pseudolmedia laevigata</i> <i>Miconia bangii</i> <i>Sloanea pubescens</i>	<i>Hevea guianensis</i> <i>Symphonia globulifera</i> <i>Helicostylis tomentosa</i>

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Las especies predominantes en la clase altimétrica 3 son *Sloanea pubescens* (29 individuos), *Ferdinandusa chlorantha* (21 individuos), *Mabea klugii* (20 individuos), representando el 35,7% del total de los individuos en la PPM – 1.

En la PPM – 2 se registraron las especies *Mabea* cf. *anadena* (26 individuos), *Virola elongata* (13 individuos) y *Symphonia globulifera* (12 individuos) siendo las que se constituyen con el mayor número de individuos para la clase 3 que acumula el 34,4% del total de especies presentes por clases de altura.

En el Cuadro 11 se muestra el número de individuos por clases de altura, registrando para la PPM – 1, 305 individuos con mayor abundancia en la clase 3 (13,8 – 17,6 m) seguido por clase 2 (9,9 – 13,7 m) con 223 individuos. En la

PPM – 2 se registraron 208 individuos en la clase 3 (13,8 – 17,6), juntamente a la clase 2 (9,9 – 13,7 m) con 136 individuos, mostrando una diferencia entre las clases de altura constituidos por diferente cantidad de individuos. Sin embargo en el presente estudio existen pocos árboles de tamaño grande ( $\geq 25$  m), debido a las distintas tasas de crecimiento y reclutamiento de algunas especies existentes en el lugar (Baur 1964b, Jones 1955 citado en Wandsworth 2000).

**Cuadro 11.** Número de individuos por clases de altura en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).

Clases altimétricas (m)	San Lorenzo (PPM - 1)				Kallawaya (PPM - 2)			
	Individuos		Especies		Individuos		Especies	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
$\leq 9,8$	85	10,0	62	9,4	73	9,5	51	8,5
9,9 - 13,7	223	26,2	154	23,2	162	21,1	136	22,6
13,8 - 17,6	305	35,8	247	37,3	264	34,5	208	34,5
17,7 - 21,5	141	16,5	113	17,0	134	17,5	108	17,9
21,6 - 25,4	86	10,1	75	11,3	93	12,1	69	11,4
$\geq 25,5$	12	1,4	12	1,8	40	5,2	31	5,1

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

Realizando una comparación con otros estudios realizado por Young (2006) menciona que los individuos registrados llegan a medir 25 metros de altura máxima en un bosque montano que está ubicado entre 1000-2500 m de altitud. Mientras que Bussmann (2005) registró individuos con 20-35 metros de altura a una altitud de 1.800-2150 m, en ambos casos las alturas son para el estrato emergente.

En el presente estudio se registra 28 m de altura representado por la especie *Miconia bangii* (Melastomataceae) para la parcela de San Lorenzo (PPM – 1). Y para la parcela Kallawaya (PPM – 2) se registra 33 m constituido por la especie *Dacryodes aff. Belemensis* (Burseraceae) para la categoría emergente en ambos casos. Como se puede observar la altura de los árboles se encuentra dentro de los rangos que se menciona en los estudios realizados por Young (2006) y Bussmann (2005).

Por otro lado las familias más abundantes en el sotobosque y subdosel son: Rubiaceae, Elaeocarpaceae, Clusiaceae y Euphorbiaceae para PPM – 1. Para la

PPM – 2, son: Moraceae, Melastomataceae, Lauraceae, Fabaceae con gran número de individuos distribuidos en diferentes clases de altura y diferentes valores porcentuales.

Sin embargo las especies más pequeñas en altura (6-8 m) están representadas por las especies *Miconia aureoides* (Melastomataceae), *Sloanea pubescens* (Elaeocarpaceae), *Faramea* AEC 305 (Rubiaceae), *Iriartea deltoidea* (Arecaceae).

Lo interesante de este estudio es la presencia de algunas especies como *Sloanea pubescens*, *Hevea guianensis* y *Miconia bangii* que se encuentran en la mayoría de clases de altura dando lugar a considerar que es una especie abundante en el lugar. Según Valerio & Salas (2001) señala que los grupos ecológicos de especies se agrupan en virtud a sus características biológicas y ecológicas, estos grupos comparten patrones similares de exigencia de radiación lumínica, regeneración y crecimiento, los cuales conducen a compartir las superficie entre las diferentes especies.

La presencia de especies en las diferentes clases altimétricas hace suponer que se debe a que las especies arbóreas se desarrollan en altura hasta alcanzar las mejores posiciones lumínicas para luego entrar en una fase de desarrollo diamétrico (BOLFOR *et al.* 1997).

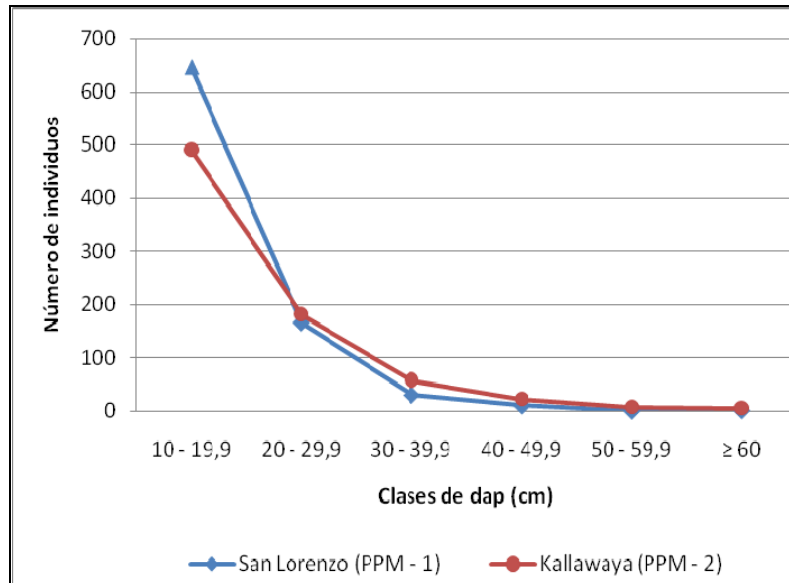
### **6.3.2 Estructura horizontal**

El comportamiento característico de los bosques tropicales es una “J” invertida. Esta es una representación proporcional de las diferentes etapas del desarrollo del bosque, donde la mayoría de los individuos se concentra en la clase diamétrica 1 (10 – 19,9 cm). De los 1618 individuos registrados en ambas parcelas, la mayoría de los individuos (75%) se encuentran relativamente con diámetros menores a 20 cm (Fig. 18).

Entre las especies con mayor número de individuos en la clase 1 (10 – 19,9) son *Sloanea pubescens* (52 individuos), *Miconia bangii* (52 individuos), *Miconia* AEC



49 (49 individuos), *Ferdinandusa chlorantha* (42 individuos) para la PPM – 1. De la misma forma la PPM – 2 se constituyen las especies *Mabea cf. anadena* (49 individuos), *Symphonia globulifera* (27 individuos), *Hevea guianensis* (26 individuos) y *Perebea guianensis* (23 individuos).



**Figura 18.** Distribución del número de individuos por clases diamétricas encontrados en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).

A medida que aumenta el diámetro de los árboles disminuye el número de individuos como se observa en la Figura 18, registrándose para la clase 6 ( $\geq 60$  cm) de 1 a 6 individuos que representan el 0,8%.

Por otro lado *Hevea guianensis* (PPM – 1) y *Sloanea pubescens* (PPM – 2) son las únicas especies que se encuentran distribuidas en las 5 clases diamétricas. El comportamiento de estas especies se debe a la abundancia y dominancia que presenta en las parcelas evaluadas y a la vez se encuentran en todos los estratos de desarrollo.

Las especies más abundantes suelen establecerse en gran número y ser poco exigentes, ya que son tolerantes a la sombra en las primeras etapas de su desarrollo y probablemente necesiten luz para llegar a etapas de madurez, ya

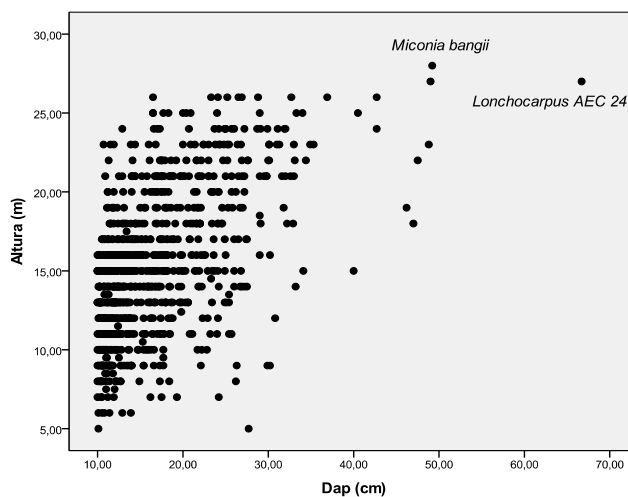
que los niveles de competencia aumenta en los árboles grandes como en este caso *Hevea guianensis* y *Sloanea pubescens* (Valerio & Salas 2001).

**Cuadro 12.** Área basal por clases diamétricas en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).

Clase diamétrica (cm)	San Lorenzo (PPM - 1)				Kallawaya (PPM - 2)			
	Individuos		Área basal		Individuos		Área basal	
	N°	(%)	m <sup>2</sup> /ha	(%)	N°	(%)	m <sup>2</sup> /ha	(%)
10 - 19,9	645	75,7	9,8	44,8	490	64,0	8,3	29,1
20 - 29,9	166	19,5	7,6	34,9	181	23,6	7,6	26,6
30 - 39,9	30	3,5	2,5	11,3	58	7,6	5,2	18,3
40 - 49,9	10	1,2	1,6	7,4	23	3,0	3,5	12,3
50 - 59,9	0	0,0	0,0	0,0	8	1,0	1,9	6,7
≥ 60	1	0,1	0,3	1,6	6	0,8	2,0	7,0

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

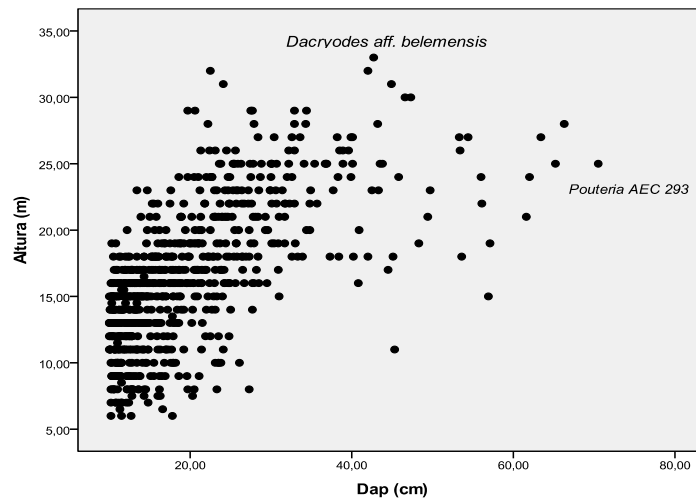
El Cuadro 12 representa la concentración de individuos en la clase de diámetro 1 (10 – 19,9) representado por 645 individuos para San Lorenzo (PPM – 1) y 9,8 m<sup>2</sup>/ha de área basal y para la parcela de Kallawaya (PPM – 2) es 490 individuos y 8,3 m<sup>2</sup>/ha de área basal.



**Figura 19.** Correlación de altura y diámetro en la parcela de San Lorenzo (PPM – 1).

Las especies con mayor diámetro son *Lonchocarpus* AEC 24 (Fabaceae) con 66,7 cm y una altura de 27 m seguido por *Miconia bangii* (Melastomataceae) con

42,6 cm de diámetro y una altura de 28 m para la parcela de San Lorenzo (PPM – 1).



**Figura 20.** Correlación de altura y diámetro en la parcela de Kallawayá (PPM – 2).

En la parcela Kallawayá (PPM – 2) las especies con mayor diámetro son *Pouteria* AEC 293 (Sapotaceae) con 69 cm de diámetro y 25 m de alto seguido por *Dacryodes* aff. *belemensis* (Burseraceae) con una altura de 33 m y un diámetro de 42,7 cm.

El diagrama de dispersión de puntos para el diámetro y altura en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawayá (PPM – 2) fueron particularmente densa entre 10 y 23 m de altura y 10 y 20 cm de diámetro.

La correlación diámetro y altura (Fig. 19; Fig. 20) tiene una tendencia positiva lo que podría indicar que en estos bosques se encuentran árboles con diámetros y alturas que se relacionan entre sí, permitiendo deducir que a mayor altura, mayor es el diámetro y de forma contraria.

El bosque estudiados presenta un comportamiento similar con respecto a los estudios realizados por Antezana (2007), Cabrera (2004) y Chapi (2008) quienes registraron mayor número de individuos en los diámetros menores (10 a 20 cm) a una altitud entre 900 a 1600 m.

El Cuadro 13 presenta la lista de especies abundantes por parcela de estudio distribuidos por clases de diámetro. La clase 1 presenta mayor número de especies con un 75,7% para San Lorenzo (PPM – 1) y 64% para Kallawaya (PPM – 2) del total de especies.

**Cuadro 13.** Las especies abundantes por clase de diámetro en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).

Clase diamétrica (cm)	San Lorenzo (PPM 1)	Kallawaya (PPM2)
1 (10 – 19,9)	<i>Miconia bangii</i> <i>Sloanea pubescens</i>	<i>Mabea cf. anadena</i> <i>Symphonia globulifera</i>
2 (20 – 29,9)	<i>Sloanea pubescens</i> <i>Tovomita AEC 27</i> <i>Oenocarpus bataua</i>	<i>Iriartea deltoidea</i> <i>Hevea guianensis</i> <i>Hieronyma scabra</i>
3 (30 – 39,9)	<i>Sloanea pubescens</i> <i>Ferdinandusa chlorantha</i> <i>Hevea guianensis</i>	<i>Hevea guianensis</i> <i>Tapirira guianensis</i> <i>Symphonia globulifera</i>
4 (40 – 49,9)	<i>Sloanea pubescens</i> <i>Pseudolmedia laevigata</i> <i>Mollinedia ovata</i>	<i>Hevea guianensis</i> <i>Hieronyma alchorneoides</i> <i>Inga thibaudiana</i>
5 (50 – 59,9)	<i>Alchornea glandulosa</i> <i>Pouteria caimito</i>	<i>Tapirira guianensis</i> <i>Symphonia globulifera</i>

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

La distribución diamétrica del presente estudio refleja que los individuos de diámetros menores se encuentran en mayor cantidad y pocos individuos con mayor diámetro, lo cual se podría deber a la mortalidad de los individuos y la competencia de vida entre las diferentes especies (Valerio & Salas 2001) lo que explicaría la “J” invertida. Existiendo una disminución del número de individuos en forma geométrica a lo largo de las clases diamétricas, representando la situación de equilibrio entre individuos que mueren y crecen (Finegan 1992).

El mayor número de individuos en la clase diámetro menor demuestra una reserva de individuos para sustituir a individuos grandes cuando mueren (Lamprecht 1990). En los bosques tropicales andinos generalmente se observa una disminución progresiva en el número de individuos a medida que aumenta el diámetro de los árboles (Dueñas *et al.* 2007, Cantillo *et al.* 2004).

Los valores obtenidos de las clases diamétricas representan una clase de edad, dando lugar a una estructura piramidal que estaría representando por varios individuos de las clases diamétricas menores (García *et al.* 2004). Considerando este comportamiento que también se presenta en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2) se diría que es una población estable, lo que da lugar a una dinámica del bosque (crecimiento, mortalidad y reemplazo de individuos) manteniendo la estructura de los bosques (Smith & Smith 2001).

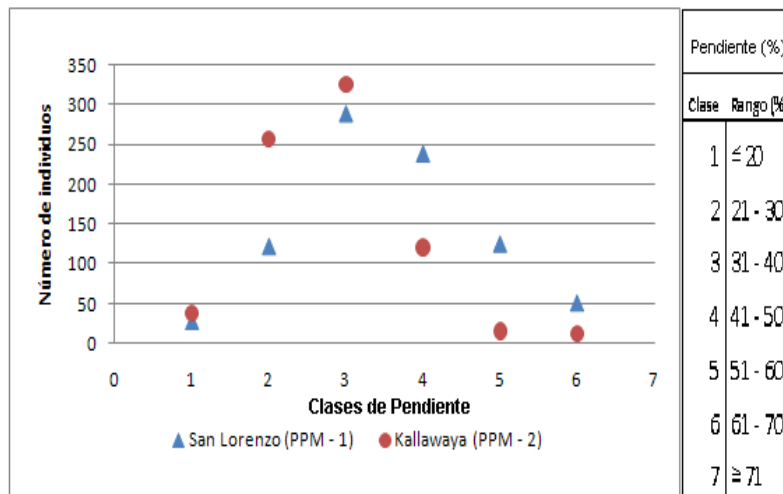
El crecimiento y desarrollo de individuos en altura y grosor (área basal) se debe a factores como la cantidad de nutrientes, agua, radiación solar; factores que limitan el desarrollo de las especies (Perea 2005). Otro factor que afecta al crecimiento es la topografía al igual que la temperatura ya que decrece en 0,6 °C por cada 100 m de altitud (Goitia 2000).

#### **6.4 Efecto de la pendiente en la estructura**

##### **6.4.1 Numero de individuos y pendiente**

En el Figura 21 se muestra el número de individuos por clases de pendiente, donde los individuos registrados en la parcela de San Lorenzo (PPM – 1), se encuentran situado en la clase de pendiente 3 (31% - 40%) con el 32,7% de individuos seguido por la clase 4 (41% – 50%).

De la misma forma la Parcela de Kallawaya (PPM – 2) presenta 36,6% del total de individuos en la clase de pendiente 3 (31% – 40%) juntamente a la clase de pendiente 2 (21% – 30%).



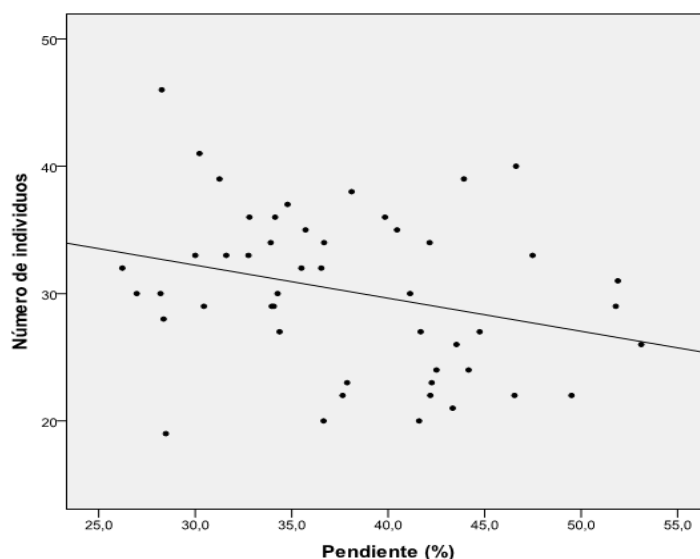
**Figura 21.** Número de individuos por clases de pendiente en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallaway (PPM – 2).

Las características que presentan las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallaway (PPM – 2) (Fig. 21) se deben a que la superficie de muestreo se encuentran situados en inclinaciones del 31% al 40% de pendiente; considerando que la media de pendiente para San Lorenzo (PPM – 1) es 36,1% y 33,7% para Kallaway (PPM – 2).

Este comportamiento se debe a que Los Andes Centrales son topográficamente heterogéneos y existen pocas superficies planas.

Sin embargo, la pendiente es un factor de mucha importancia en el establecimiento de las plantas debido a que es un factor determinante en la posición de los individuos con respecto a la luz, la cual es un factor necesario para el desarrollo de los árboles.

La Figura 22 presenta la correlación del número de individuos y pendiente, en el cual los puntos de dispersión se ajustan a una línea de tendencia negativa; esto permite explicar que los individuos disminuyen a medida que aumenta la pendiente; pero no hay que dejar de considerar que existe otros mecanismos que también afectan en el establecimiento de los individuos.



**Figura 22.** Correlación del número de individuos y pendiente en las parcelas de San Lorenzo (PPM -1) y Kallawaya (PPM – 2) de la comunidad de Tholapampa.

La correlación de Pearson (Cuadro 14) presenta un valor de -0.28 a un nivel de significancia del 5%, permitiendo explicar que la pendiente afecta en un 28%. Este valor indica que la pendiente tiene su valor de importancia en el establecimiento de los individuos. El resto del porcentaje se debe a otros factores que también aportan con un porcentaje en la correlación evaluada en los bosques subandinos de Yungas.

**Cuadro 14.** Correlación del número de individuos y pendiente en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).

		Número de individuos
<b>Pendiente (%)</b>	Correlación de Pearson	-0,28(*)
	Sig. (bilateral)	,04
	N	49

\* Significativo (5%)

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

La pendiente al ser un factor de importancia para el establecimiento de individuos necesita ser evaluada conjuntamente a otros factores. Sin embargo el valor de correlación (Cuadro 14) encontrado en el presente estudio es significativo para las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).

También hay que considerar que la pendiente es un factor complejo que está estrechamente relacionado con la hidrología, disponibilidad de nutrientes, exposición, que son difíciles de comprender (Liedey & Breckle 2008).

Según Bellingham & Tanner (2000) y Roberto & Moravie (2003) señalan que las características de la pendiente topográfica parecen ser las fuentes principales de la complejidad, que a su vez están fuertemente ligados a las características del suelo y temperatura.

Para realizar una mejor discusión analítica sobre la pendiente existe poca información sobre el efecto que está causa de forma específica en la estructura de árboles, ya que existe poca información documentada en los bosques montanos pluviales (Takyu *et al.* 2002; Luizao *et al.* 2004).

#### **6.4.2 Número de especies y pendiente**

La especies que se caracterizan para este análisis son: *Miconia bangii* (Melastomataceae), *Sloanea pubescens* (Elaeocarpaceae) y *Miconia* AEC 49 (Melastomataceae) para la clase de pendiente 3 (31 - 40%) seguido por la Clase 4 (41 - 50%) con *Mabea klugii* (Euphorbiaceae), *Ferdinandusa chlorantha* (Rubiaceae) como las abundantes para cada clase en las parcela de San Lorenzo (PPM – 1).

La parcela de Kallawaya (PPM – 2) registra las especies *Hevea guianensis* (Euphorbiaceae) *Mabea* cf. *anadena* (Euphorbiaceae) y *Symphonia globulifera* (Clusiaceae) para la clase 3 (31 – 40%), seguido por la clase 2 (21 – 30%) registrando a *Mabea* cf. *anadena* (Euphorbiaceae) *Symphonia globulifera* (Clusiaceae) y *Iriarteia deltoidea* (Arecaceae) como las representativas.

Existen especies que se encuentran en las diferentes Clases de pendiente como *Sloanea pubescens*, *Miconia bangii*, *Miconia* AEC 49, *Hevea guianensis* y *Symphonia globulifera*, debido a la abundancia y frecuencia que presentan estas especies en las parcelas permitiendo que estén establecidos en las clases de pendientes.



La pendiente topográfica es un factor que influye al igual que la altitud (Clark *et al.* 1999), Phillips *et al.* 2003), las características edafológicas (Harms *et al.* 2001) y otros, permitiendo que las especies experimenten cambios (Aiba & Kitayama 1999; Leuschner *et al.* 2007; Homeier *et al.* 2008).

El Cuadro 15 representa las especies abundantes en todas las clases de pendientes, donde se puede observar que la clase de pendiente 3 (31 - 40%) es la que tiene más representatividad de especies en los dos sitios de estudio. Por otro lado existen especies que son únicas como *Chrysochlamys macrophylla* (Clusiaceae), *Humiriastrum mapiriense* (Humiriaceae) para la parcela San Lorenzo (PPM -1) y *Dacryodes aff. belemensis* (Burseraceae) y *Miconia chrysophylla* (Melastomataceae) para la parcela Kallawaya (PPM - 2) que registran en la Clase de pendiente 6 (61 – 70%).

**Cuadro 15.** Riqueza de especies en las clases de pendientes en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).

<b>Clases Pendiente (%)</b>	<b>San Lorenzo (PPM 1) Especies</b>	<b>Kallawaya (PPM2) Especies</b>
1 (≤20)	<i>Ladenbergia carua</i> <i>Miconia bangii</i>	<i>Bathysa obovata</i> <i>Mabea cf. anadena</i>
2 (21 – 30)	<i>Miconia bangii</i> , <i>Sloanea pubescens</i> <i>Pseudolmedia laevigata</i>	<i>Mabea cf. anadena</i> <i>Symphonia globulifera</i> <i>Iriartea deltoidea</i>
3 (31 – 40)	<i>Miconia bangii</i> <i>Sloanea pubescens</i> <i>Miconia AEC 49</i>	<i>Hevea guianensis</i> <i>Mabea cf. anadena</i> <i>Symphonia globulifera</i>
4 (41 – 50)	<i>Sloanea pubescens</i> <i>Mabea klugii</i> <i>Ferdinandusa chlorantha</i>	<i>Mabea cf. Anadena</i> <i>Hevea guianensis</i>
5 (51 – 60)	<i>Sloanea pubescens</i> <i>Miconia AEC 49</i>	<i>Symphonia globulifera</i> <i>Iriartea deltoidea</i>
6 (61 - 70)	<i>Sloanea pubescens</i> <i>Miconia AEC 49</i>	<i>Hevea guianensis</i> <i>Alchornea glandulosa</i>
7 (≥71)	<i>Persea peruviana</i> <i>Miconia AEC 49</i>	Sin especies

**Fuente:** Elaboración propia, 2011

De acuerdo a Young (2006) menciona que los bosques montanos se caracterizan por sus fuertes pendientes, así como los procesos morfológicos de erosión y transporte de sedimento lo que no permite el desarrollo de suelos profundos en las partes altas. Muchas de las especies se adaptan a las características del medio formando raíces capaces de penetrar las rocas y así utilizar suelos superficiales, lo que permite un mejor aprovechamiento para algunas especies como *Miconia bangii* (San Lorenzo PPM – 1) y *Hevea guianensis* (Kallawaya PPM – 1) que puede ser el caso. Sin embargo no es para todos los casos, ya que puede estar influenciada por otros factores como los medios de dispersión y tolerancia a los suelos ácidos.

Según Figueroa & Olvera (2000) la pendiente es un factor que está relacionado con la distribución de las plántulas en un bosque, lo que podría darnos a entender que algunas especies no se desarrollan en sitios desfavorables, permitiendo que algunas especies tengan ventaja para desarrollarse en estos sitios.

Estas características son aspectos que pueden explicar los resultados heterogéneos encontrados en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2), ya que estos factores contribuyen a la variedad de hábitat (micro), permitiendo el incremento de la diversidad heterogenia de especies en los bosques montanos (Homeier *et al.* 2008).

Por otro lado se debe considera que el comportamiento de las especies en las diferentes clases es causado por las necesidad de sobrevivencia y competencia que permiten que las especies se adapten a las condiciones de las inclinaciones.

#### **6.4.3 Estructura vertical y pendiente**

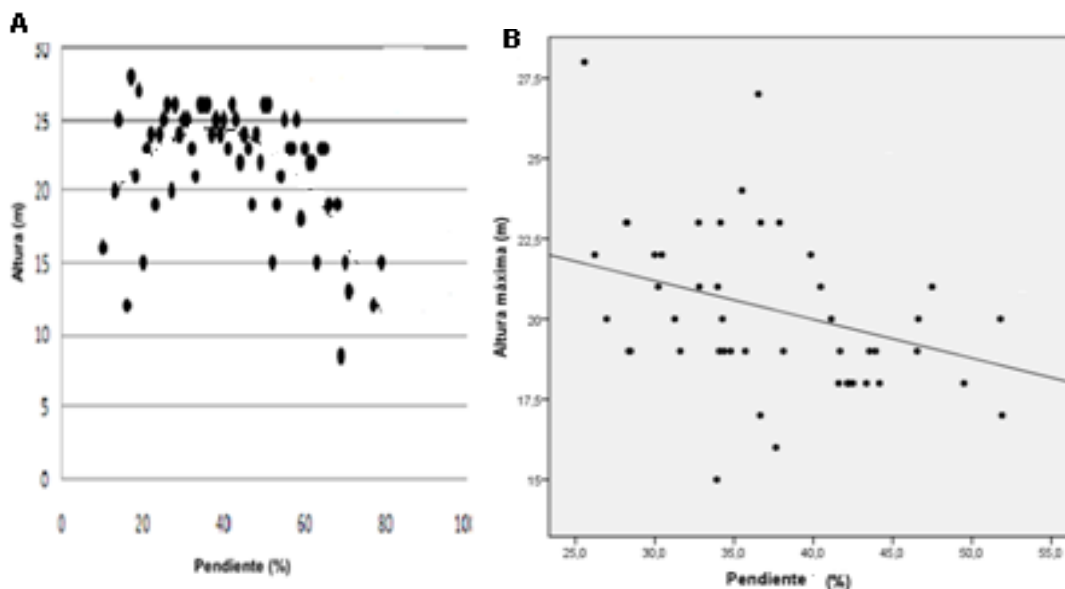
Para este caso se considero las alturas máximas ya que reflejan mejor su comportamiento en relación a las pendientes.

En el primer caso (Fig. 23-A) se observa que la altura de los árboles con respecto a las pendientes forma una curva, cuando se realiza un análisis con

todos los individuos sin considerar la selección del tamaño de los árboles, esto nos señala que la mayoría parte de los estratos arbóreos (altura) se ubican en la clase de pendiente 3 (31% - 40%) y 4 (41% - 50%) con alturas que sobrepasan los 20 m. Sin embargo las clases de pendientes 5 (51% - 60) y 6 (61% - 70%) presentan alturas menores a medida que se incrementa la pendiente.

El comportamiento de las clases de pendientes 3 y 4 son explicados por la inclinación de la superficie de estudio, donde el promedio para las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) es 33,7% y 36,1% para la parcela de Kallawaya (PPM – 2).

Al realizarse una correlación con alturas máximas (Fig. 23-B) en las dos parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2) se determino que las alturas máximas se establecen mejor en pendientes menores, lo cual podría indicar que en lugares con pendientes pronunciadas no se puedan establecer los árboles de gran tamaño debido a que los suelos son superficiales en pendientes pronunciadas causando que las raíces no puedan penetrar con facilidad las rocas, lo cual podría explicar la presencia de individuos con alturas máximas en pendientes menores.



**Figura 23.** Comportamiento de la altura con relación a la pendiente en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2). **A)** Altura versus pendiente **B)** Correlación entre la altura máxima y pendiente.

La correlación de altura y pendiente es -0,33 con un nivel significancia del 5% (Cuadro 16), este valor señala que el 33% afecta al crecimiento de altura cuando se realiza el análisis con alturas máximas (Fig. 23-B) en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2).

**Cuadro 16.** Correlación de altura y pendiente en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya (PPM – 2).

		Altura máxima (m)
<b>Pendiente</b>	Correlación de Pearson	-0,33(*)
	Sig. (unilateral)	0,017
	N	50

\* Significativo (5%)

Fuente: Elaboración propia, 2011

La correlación (Cuadro 16) señala que la pendiente tiene su efecto en la altura máxima de los árboles considerando que es significativo. Para este resultado en particular solo se considero la inclinación de la superficie y no si otros factores que también están relacionados con la altura.

En el Cuadro 17 se representa los datos estadísticos de las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM -2). Donde la media de la pendiente para San Lorenzo (PPM – 1) es de 36,1% y para Kallawaya (PPM – 2) es 33,7%, Esto podría ser una de las razones por la cual existe mayor representatividad en la clase de pendiente 3 (31% - 40%) en la Figura 23-A.

**Cuadro 17.** Datos de altura y pendiente en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2) de la comunidad de Tholapampa.

	San Lorenzo (PPM - 1)		Kallawaya (PPM - 2)	
	Pendiente topográfico (%)	Altura (m)	Pendiente Topográfico (%)	Altura (m)
<b>Media</b>	36,1	15,4	33,7	16,3
<b>Máximo</b>	79	28	69	33
<b>Mínimo</b>	10	5	11	6
<b>Desviación estándar</b>	12	4,5	9,5	5,2

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Para constatar esta investigación no existe material suficiente y específico relacionado al tema referido en el presente estudio.

Sin embargo, para la discusión se considera algunos estudios realizados con topografía, suelo y otros.

Si consideramos lo mencionado por Young (2006) que señala que los bosques ubicados entre 1.000 a 2.500 m de altitud son más diversos en cuanto a alturas que alcanzan hasta los 25 metros.

En el presente estudio el estrato arbóreo se encuentra situado en emergente (> 24 m) en pendientes del 31 al 40% de inclinación y dosel (12 a 24 m) en pendientes menores al 41%, estos datos corroboran los resultados obtenidos por Young (2006). Sin embargo estas características permiten conocer la dinámica de sucesión del bosque y su equilibrio, considerando que la estructura responde a características de las especies que la componen y a las condiciones micro ambientales presentes en las diferentes alturas del perfil de bosque creados por la pendiente (Louman & Quiroz 2001, Guardia & Alberola 2007).

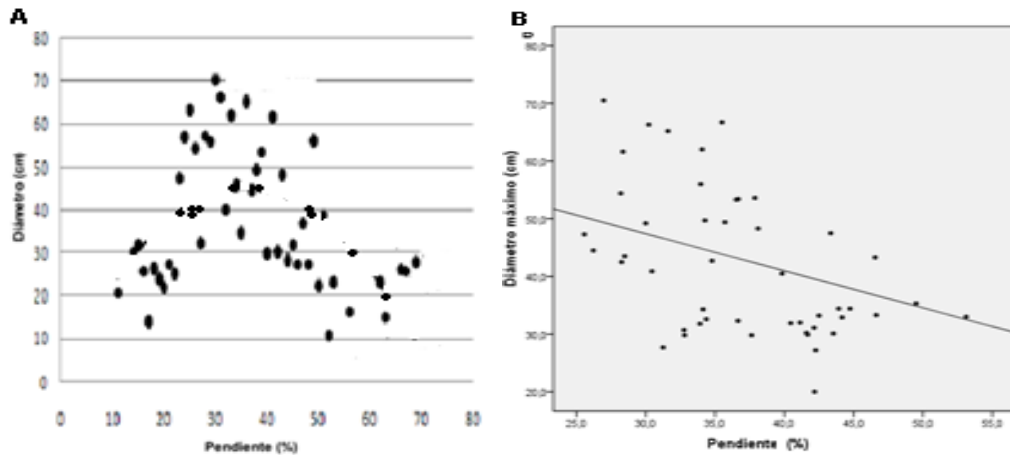
#### **6.4.4 Estructura horizontal y pendiente**

El comportamiento del diámetro en relación a la pendiente se muestra en la Figura 24.

Para la primera figura (24-A) se considero todos los diámetros de los individuos relacionados con la pendiente; la cual presento una curva en el que se puede observar que los diámetros se agrupan en la clase de pendientes 3 (31% - 40%), al igual que para las alturas; este comportamiento se debe a que las superficie de evaluación tiene una media de 33,7%.

En la Figura 24-B representa la correlación diámetro y pendiente, donde el diámetro de los individuos se concentran en pendientes del 25% al 35% de inclinación, permitiendo reflejar que los individuos con diámetros máximos ( $d_{ap} > 40$  cm) se establecen mejor en estas pendientes. De la misma forma existen diámetros menores ( $d_{ap} < 20$  cm) que se encuentran en pendientes mayores al 50% de inclinación. Este comportamiento presenta una tendencia negativa,

dando lugar a que el tamaño de los diámetros se reduce a medida que se incrementa la inclinación de la pendiente.



**Figura 24.** Comportamiento del diámetro con relación a la pendiente en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2)  
**A)** Diámetro versus pendiente **B)** Correlación entre el diámetro máximo y pendiente.

La correlación Pearson (Cuadro 18) presenta un valor de - 0,31 con un nivel de significancia del 5; este resultado señala que la pendiente influye en un 31% en el diámetro de los individuos.

**Cuadro 18.** Correlación de diámetro y pendiente en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).

		Diámetro máximo (cm)
<b>Pendiente</b>	Correlación de Pearson	-0,31(*)
	Sig. (unilateral)	0,02
	N	50

\* Significativo al 5%

**Fuentes:** Elaboración propia, 2011.

Sin embargo, realizando una comparación con otro estudio realizado por Aiba & Kitayama (1999) señala que los individuos con diámetros de 10 a 40 cm, no son relacionados claramente con la pendiente topográfica en un 100%, sino que se debe a otros factores. Este mismo caso se presenta en nuestro estudio, ya que la pendiente explica su efecto en un 31%, con individuos que tienen diámetros de 10 a 70 cm.

En el cuadro 19 se muestra los valores promedios de cada parcela; así como valores máximos que permiten observar las características de cada parcela.

**Cuadro 19.** Datos de diámetro y pendiente en las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2) de la comunidad de Tholapampa.

	San Lorenzo (PPM - 1)		Kallawaya (PPM - 2)	
	Pendiente topográfico (%)	Diámetro (cm)	Pendiente Topográfico (%)	Diámetro (cm)
<b>Media</b>	36,1	16,7	33,7	19,4
<b>Máximo</b>	79	66,7	69	70,5
<b>Mínimo</b>	10	10	11	10
<b>Desviación estándar</b>	12	6,8	9,5	9,8

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

Estos resultados pueden ser explicados por varios factores por ejemplo, lo mencionado por Thiers & Gerding (2007) señala que cuando se trabaja a altitudes mayores a 200 m se encuentran con superficies que presenta inclinaciones mayores al 30% y sucede lo contrario a altitudes menores, estas características descritas explican las condiciones del sitio de estudio ubicadas a 1254 m de altitud.

Itoh *et al.* (2003) en los estudios que realizó en los bosques de Borneo registro un área basal 40.7 m<sup>2</sup>/ha de pendientes menores al 25%. Para el caso de esta investigación se registro 11.1 m<sup>2</sup>/ha para San Lorenzo (PPM – 1) y 23,7 m<sup>2</sup>/ha para Kallawaya (PPM – 2) en pendientes menores al 30%, esto nos deja entender que la pendiente tiene su efecto en la estructura horizontal (diámetro) sin olvidar que también existen otros factores que complementan a la pendiente.

Entre estos otros factores de acuerdo al grado de importancia, esta la profundidad de los suelos que disminuye a medida que aumenta la pendiente, por ejemplo en pendientes moderadas menores a 20% se pueden encontrar suelos con una profundidad mayor a 30 cm en cambio en sectores con pendientes mayores a 20%, la profundidad del suelo está por debajo de los 30 cm (Thiers & Gerding 2007). Esta relación entre la profundidad del suelo y la pendiente podría ser uno de los factores que influyen en la relación pendiente y diámetro de los árboles ya que tiene una relación directa entre el suelo y planta. Esta consideración explicaría la existencia de árboles con diámetros menores a

30 cm a medida que aumenta la pendiente, ya que en suelo poco profundos no podrían desarrollarse los árboles con diámetros mayores lo que sucede en nuestro caso, ya que a partir de cierta pendiente (40%) disminuye relativamente el diámetro.

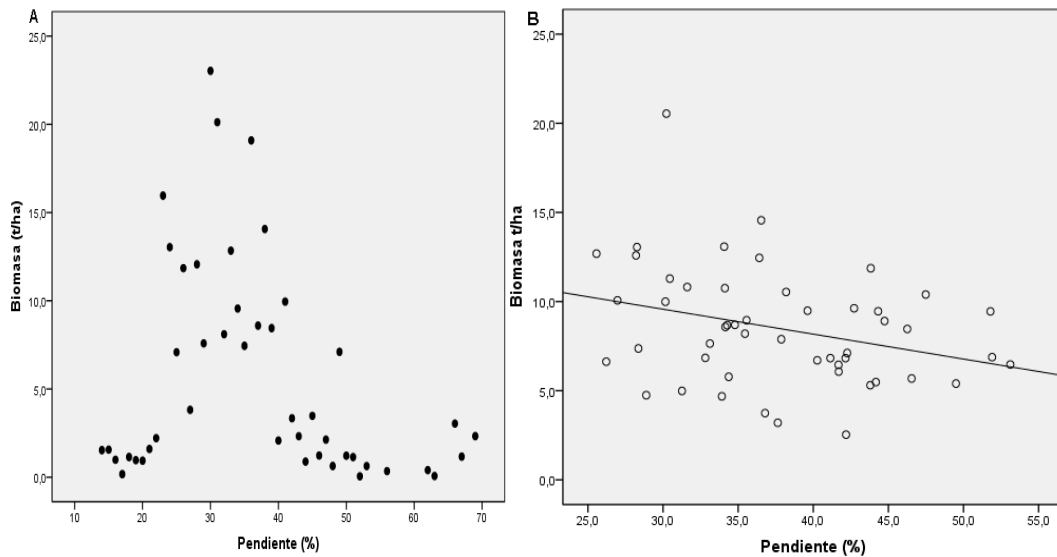
La pendiente topográfica tiene una estrecha relación con la cubierta edafológica ya que determina la dinámica hídrica y los controles de la incidencia de la radiación solar (Clark *et al.* 1998). Esta influencia es más evidente en la región montañosa como en nuestro caso.

La variabilidad de las condiciones de elevación, topografía y suelo influyen de manera importante en la distribución de las comunidades boscosas (Gerding & Thiers 2002). En la presente investigación las muestras de suelos no fueron estudiadas de forma puntual, ya que se realizó muestras compuestas de 15 y 30 cm de profundidad, dando como resultado un suelo con clase textural arcillosa que influyen en el establecimiento de las especies (Burnett *et al.* 1997).

#### **6.4.5 Biomasa y pendiente**

La Figura 25-A representa la concentración de biomasa en las clases de pendientes; donde se observó que en pendientes del 20% al 40% tiene la mayor acumulación de biomasa, cuando se realiza el análisis con la biomasa total de las parcelas (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 1). Sin embargo; existe menor acumulación de biomasa en pendientes menores al 20% y mayores al 50% de inclinación, representando una curva.





**Figura 25.** Comportamiento de la Biomasa con relación a la pendiente en la parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2) **A)** Biomasa versus pendiente. **B)** Correlación de biomasa máxima y pendiente.

Esta situación de la curva se debe a que existen pocos individuos en las pendientes menores (< 20%) y mayores (>50%) y además que la media de la superficie es de 33,7% de inclinación.

La Figura 25-B constituye la correlación que existe entre la pendiente y la biomasa, la cual señala que la pendiente tiene su efecto en la acumulación de biomasa, al igual que para los otros casos (altura máxima y diámetro máximo).

La correlación que existe entre la biomasa y la pendiente es -0,3, que señala que la pendiente afecta en la acumulación de biomasa en un 30%. Este valor es significativo cuando se correlaciona al 5%.

**Cuadro 20.** Correlación de biomasa y pendiente en las parcelas de Tholapampa (San Lorenzo PPM – 1; Kallawaya PPM – 2).

		Biomasa t/ha
<b>Pendiente (%)</b>	Correlación de Pearson	-0,3(*)
	Sig. (bilateral)	,002
	N	50

\* Significativo (5%)

**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

Estas particularidades descritas de la relación de biomasa y pendiente pueden ser contrastadas de manera parcial por las investigaciones realizadas por Jiménez & Arias (2004) señalan que el factor determinante en la producción de biomasa es la pendiente (topografía). Considerando que los bosques amazónicos se desarrollan en pendientes planas, dando lugar a que exista mayor concentración de biomasa. Lo contrario sucede en bosques montanos debido a que se encuentran en sitios accidentados con pendiente pronunciada, lo cual provoca la disminución de biomasa.

Sin embargo las condiciones topográficas de los bosques montanos dan lugar a la producción de biomasa gracias a las características de la disponibilidad de agua y energía (Brown & Lugo 1992).

Al realizar un análisis de forma individual de la biomasa en la parcela de San Lorenzo (PPM – 1) se logra obtener  $257,8 \text{ t ha}^{-1}$  y para Kallawaya es  $177,3 \text{ t ha}^{-1}$ . Efectuando una comparación con los estudios de Brown & Lugo (1992) señalan que la acumulación de biomasa en los bosques montanos varían de  $36 \text{ t/ha}$  a  $382 \text{ t/ha}$ . Estos valores nos permiten deducir que los valores encontrados en el presente estudio se encuentran dentro de los rangos mencionados.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Conclusiones**

Los resultados obtenidos en la ejecución del estudio realizado en la comunidad de Tholapampa, permiten puntualizar las siguientes conclusiones:

- Uno de los principales componentes en la investigación fue la composición florística de este bosque representado por dos parcelas permanentes de Muestreo San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2) donde se registraron 1618 individuos de los cuales 1530 fueron árboles, 56 palmeras, 7 helechos arbóreos y 6 lianas distribuidos en 76 especies, 51 géneros y 42 familias para la parcela San Lorenzo. Para la parcela Kallawaya en 73 especies, 41 géneros y 37 familias.
- Las familias con mayor importancia fueron Melastomataceae (13.9%), Euphorbiaceae (11.5%), Elaeocarpaceae (10.9%), Rubiaceae (9.7%) y Lauraceae (9.4%), estos resultados son similares a los encontrados en otras investigaciones realizadas en los bosques de Yungas Subandinos Pluviales en la Región de Apolobamba.
- Las especies más importantes en el presente estudio fueron *Hevea guianensis* (7.2%), *Sloanea pubescens* (9.7%), *Symphonia globulifera* (5.5%), *Mabea* cf. *anadena* (4.5%), *Ferdinandusa chlorantha* (5.1%), *Miconia bangii* (5.1%), *Miconia AEC 49* (4.9%) y *Mabea klugii* (4.5%) que tiene su importancia en los diferentes estudios realizados en la Región de Apolobamba.
- La estructura horizontal (diámetro) en estos bosques evaluados presentan una “J” invertida característico de bosques tropicales. Las parcelas de San Lorenzo (PPM – 1) y Kallawaya (PPM – 2) presentan individuos que se encuentran en diámetros de 10 a 19,9 cm que representan el 75,7% del total.
- La estructura vertical (altura) se concentra en la clase altimétrica de 13,8 m a 17,6 m que representa el 35,7% del total de individuos, formando una curva en U invertida para ambas parcelas.

- La correlación entre el número de individuos y la pendiente resulta ser significativo en un 28% lo que permite deducir que los individuos disminuyen a medida que aumenta la pendiente en zonas accidentadas.
- Las especies predominantes en la clase de pendiente 3 (31% - 40%) son *Miconia bangui* y *Sloanea pubescens* para la parcela de San Lorenzo (PPM – 1) y *Hevea guianensis* y *Mabea cf .anadena* para la parcela de Kallawaya (PPM – 2), considerando que están adaptados a las condiciones accidentadas del lugar.
- Se determino que la altura y el diámetro de los árboles está influenciado en un 30% por la pendiente, cuando se realiza el análisis con individuos de alturas y diámetros máximas, lo que permitió deducir que existen individuos de menor tamaño en las pendiente pronunciadas.
- La pendiente influye en un 30% en la acumulación de biomasa, lo cual refleja que los individuos que sufre mayor inclinación en la superficie presentan menor acumulación de biomasa.
- Sin embargo; en la influencia de la pendiente con respecto a la estructura (altura, diámetro y biomasa) existen otros factores que merecen ser investigados para coadyuvar estos resultados.

## 7.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio completo del suelo, (calicatas y análisis de horizonte) para relacionar las características del suelo con la pendiente topográfica y las especies arbóreas.
- Realizar las respectivas remediciones de las parcelas instaladas, para conocer mejor la dinámica del bosque en estudio, así como la ecología de determinadas especies (dispersión, distribución, estructura).
- Se deben realizar investigaciones en superficie de muestreo más representativo que engloben un rango altitudinal de mayor dimensión.
- Desarrollar estudios de la relación de la biomasa y la pendiente topográfica, que permitan determinar la acumulación de carbono en forma específica.
- Efectuar estudios de suelos, precipitación, temperatura, exposición que se correlacionen con la pendiente y la vegetación para determinar la dinámica de los bosques.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Aiba, S. & K. Kitayama. 1999. Structure, composition and species diversity in an altitude substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology* 140: 139–157.
- Alvis, J. F. 2009. Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. Facultad de Ciencias Agrícolas. Grupo de investigación TULL. Universidad de Cauca. Vol. 7 (1):16–122.
- Andreassian, V. 2004. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology* 291:1–27.
- Antezana, A. 2007. Composición florística y estructura del bosque montano de Yungas en dos rangos altitudinales en el Área Natural de Manejo Integrado Apolobamba, Bolivia. Tesis de Licenciatura en Ciencias Biológicas. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. 127 p.
- Araujo, T., N. Higuchi & J. A. Carvalho. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 117: 43–52.
- Araujo-Murakami, A. & R. Seidel. 2003. Diversidad de especies leñosas con DAP  $\geq 2.5$  cm. En la zona del Río Quendeque, PN-ANMI Madidi. II Reunión Nacional de Investigación Forestal “Hacia el manejo forestal sostenible: Logros y estrategias para la investigación forestal en Bolivia”. Presentation & poster, abstract. 3 p.
- Bachhofen, H. & A. Zingg. 2001. Effectiveness of structure improvement thinning on stand structure in subalpine Norway spruce (*Picea abies*) stands. *Forest Ecology and Management* 145:37–149.
- Balslev, H. 2006. Introducción. Pp: 3–9. En: Moraes, R. M., Ollgaard, L. P. Kvis, F. Borchsenius & H. Balslev (eds.). *Botánica Económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. Editorial Plural.

- Bascope, F. 2004. Estructura y composición de la flora en parcelas permanentes de un bosque montano húmedo en el Parque Nacional Madidi, La Paz – Bolivia. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz. 59 p.
- Beck, S., T. Kille & E. García. 1993. Vegetación de Bolivia Pp: 6–25. En: T. Killen, E. García & S. Beck (eds.). Guía de Árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia, Missouri Botanical Garden. La Paz, Bolivia.
- Beck, S., E. García & F. Zenteno. 2003. Plan de Manejo. Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi: Documento Botánico. En: CARE – Bolivia (ed) Madidi de Bolivia, Mágico, Único y Nuestro. La Paz. 63 p.
- Bellingham, P. & E. Tanner. 2000. The Influence of Topography on Tree Growth, Mortality, and Recruitment in a Tropical Montane Forest. *Biotropica* 32(3): 378–384.
- Berry, P. 2002. Diversidad y endemismo en los bosques neotropicales de bajura. Pp 125–151. En: Guariguata, M.R. & H Kattan (eds.). *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Asociación de Editoriales Universitarias de América Latina y el Caribe (EULAC) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Costa Rica.
- BOLFOR, 1997. Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales. Manual técnico. BOLFOR 2: 77 p.
- Brown, D. & M. Kapelle. 2001. Introducción a los bosques nublados del Neotrópico, una síntesis regional. Pp. 27–40. En Kapelle & D. Brown (eds.) *Bosques Nublados del neotrópico*. 1ra Edición. INBIO-FUA-UICN Santo Domingo de Heredia Costa Rica.
- Brown, S. & A. E. Lugo. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciencia* vol. 17: 8–18.

- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. Food and Agriculture Organization, Roma. UN FAO. Forestry Paper N° 134: 25 p.
- Burnett, M., R. August, P. Brown, J. Killingbeck. 1997. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. I. A patch-scale perspective. *Conservation Biology*. 12: 363–370.
- Bussmann, R. 2002. Estudio fitosociológico de la vegetación en la reserva biológica de San Francisco, Zamora-Chinchipe, Sur de Ecuador. *Publicaciones Herbario Loja N°8*:106 p.
- Bussmann, R. 2005. Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. Perú. *Biol.* 12(2):203–216.
- Cabrera, H. 2004. Composición florística y estructura de la vegetación de un bosque montano húmedo en la región central del Área Natural de Manejo Integrado Madidi, La Paz – Bolivia. Tesis de Licenciatura en Ciencias Biológicas. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. 72 p.
- Calzadilla, M. 2004. Estructura y composición de un bosque amazónico de pie de Monte. Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi. La Paz – Bolivia. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz. 55 p.
- Cantillo, E., K. Rodríguez & A. Avella. 2004. Caracterización Florística, Estructural, Diversidad y Ordenación de la Vegetación, en la Reserva Forestal Cárpatos, Guasca Cundinamarca. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Fondo de publicación. Bogotá, Colombia. *Revista científica* 2: 49–57.
- CATIE, 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico N°46. Turrialba, Costa Rica. 265 p.



- Cavelier, J. & A. Etter. 1995. Deforestation of montane forest in Colombia as a result of illegal plantations of Opium. 549 p.
- Chapí, N. 2008. Composición florística, biomasa y carbono de un bosque montano pluvial, sud oeste de Apolo, Región Madidi. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia. 156 p.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, A. Cairns, Q. Chambers, D. Eamus, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, P. Lescure, W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riera & T. Yamakura, 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87–99.
- Churchill, S., 1995 Moss diversity of the tropical Andes. Biodiversity and Conservation Proceeding of the Neotropical Montane Forest. Symposium. The New York Botanical Garden. Nueva York. 346 p.
- Clark, D. & J. Read. 1998. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a Neotropical rain forest. *Journal of Ecology* 86: 101–112.
- Clark, D., M. Palmer & D. Clark. 1999. Edaphic factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. *Ecology* 80: 2662–2675.
- Cuesta, F., M. Peralvo & N. Valarezo. 2009. Los Bosques Montanos de Los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático. Regional de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Quito, Colombia. ECOBONA–INTERCOOPERATION 2:20–52.
- Dueñas, A., A. Betancur & R. Galindo. 2007. Estructura y composición florística de un bosque húmedo tropical del Parque Nacional Natural Catatumbo Barí, Colombia. *Colombia Forestal* 10 (20): 26–35.

- Elkin, Ch., B Reineking, H. Bugmann. 2009. Climate driven shifts in mountain forest heterogeneity: the impact of large scale shifts on smaller scale forest structure. Swiss Federal Institute of Technology's ETH, Institute of Terrestrial Ecosystems, Zurich, Switzerland. 38 p.
- Fernández, E. 2005 Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medio ambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la cubeta. *Ecosistemas* 14 (3): 133–139.
- Figueroa, B. L. & Olvera V. M. 2000. Generation patterns in relation to Canopo species composition and site variables in mixed oak forest in the Sierra of Monantlan. Biosphere Reserve, Mexico. *Ecological research* 15: 249–261.
- Finegan, B. 1992. Bases Ecológicas para la Silvicultura En V Curso Intensivo Internacional de Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales CATIE Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido Área de Producción Forestal y Agroforestal. Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales. Turrialba. 27: 64–69.
- Foster, R., H. Beltrán & W.S. Alverson. 2001. Flora y vegetación de la Cordillera del Condor. Pp. 50–64. En: W.S. Alverson, L.O. Rodríguez & D.K. Mosckovits (eds.), Perú: Biabo Cordillera Azul. Rapid Biological Inventories Report 2. The Field Museum, Chicago.
- Foyo, A. 1995. Conceptos de geomorfología. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Ed. Santander. 242 p.
- Fuentes, A. 2005. Una introducción a la vegetación de la región Madidi. *Ecología en Bolivia* 40(3): 1–31.
- García, E., F. Zenteno, S. Beck & N. Nagashiro. 2004. Identificación y caracterización de especies de uso forestal del área natural de manejo integrado nacional de Apolobamba. Estudio de usos y potencialidades para un manejo racional de recursos vegetales. Bolhispania Araucaria. Informe Técnico N° 1. La Paz. 58 p.

- Gentry, A. H. & C. H. Dodson. 1987. Contribution of nontrees to species richness of a tropical rain forest. *Biotropica*, (19): 149–156.
- Gentry, A. & R. Ortiz. 1993. Patrones de composición florística en la Amazonia Peruana. Pp. 156–166. En: R. Kalliolla, M. Puhakka & W. Danjoy (eds.). *Amazonia peruana, vegetación húmeda tropical en el llano subandino*. PAUT & ONERN. Finland.
- Gentry, A. 1995. Patterns of diversity and floristic composition in Neotropical montane forest. Pp. 103–126.
- Gerding, V. & Thiers O. 2002. Caracterización de suelos bajo bosques de *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume, en Tierra del Fuego, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 819-833.
- Goitia, L. (2000) *Dasonomía y Silvicultura*. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía texto preliminar. La Paz. 57 p.
- Guardia, F. & G. Alberola 2007 *Estructura de la vegetación del Parque Nacional Volcán Barú, Alto Respingo*. Tesis de Biología Ambiental, Escuela de Biología, Universidad de Panamá. 89 p.
- Hamilton, L. 2001. Una campaña por los bosques nublados. Ecosistemas únicos y valiosos en peligro. Pp: 41–49. En: M. Kapelle & D. Brown (eds.). 2001. *Bosques Nublados del Neotrópico*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Santo Domingo de Heredia Costa Rica.
- Harms, E., Wright S., Calderón O., Hernández A. & Herrera E. 2000. Pervasive density dependent recruitment enhances seedling diversity in a tropical forest. *Nature* 404: 493–495.
- Hernández, R., C. Fernández & P. Baptista. 2003. *Metodología de la investigación*, 3ª edición, Edit. McGRAW HILL. Interamericana, México. 705 p.

- Heywood, H. 1995. Global biodiversity assessment. Cambridge, Reino Unido, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Cambridge. *Flora Mediterránea* 5: 31–60.
- Homeier, J. 2008. The influence of topography on forest structure and regeneration dynamics in an Ecuadorian montane forest. *Biodiversity and Ecology*. 97 p.
- Hubbell, S. P. 2001. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography: a synopsis of the and some challenges ahead. Pp. 393–411. En: Silvertown and Antonovics, J. (eds). *Integrating ecology and evolution in a spatial context*. Blackwell Scientific.
- Ibisch, P. L. & G. Mérida. 2003. Biodiversidad: la riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN. Santa Cruz. 638 p.
- Itoh, A., T. Yamakura, T. Ohkubo, M. Kanzaki, P. Palmiotto, J. Frankie, P. Ashton & H. Seng. 2003. Importance of topography and soil texture in the spatial distribution of two sympatric dipterocarp trees in a Bornean rain forest. *Malasia. Ecological Research* 18: 307–320.
- Jiménez, C. & Arias, D. 2004. Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en un gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 24 p.
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacón-Moreno, E., Ferreira, W. Peralvo, M., Saito, J. y Tovar, A. 2009. Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaría General de la Comunidad Andina. Lima. ECOBONA, Nature Serve. 93 p.

- Kennard, K. K. 2001. Secondary forest succession in a tropical dry forest: patterns of development across a 50-year chronosequence in lowland Bolivia. *J. Trop. Ecol.* 18: 53–66 p.
- Killen, T., Siles T., Soria L. & Correa L. 2005. Estratificación de la vegetación y cambio de uso del suelo en los yungas y Alto Beni de La Paz. *Ecología en Bolivia* Vol. 40(3): 32–69.
- Klinge, H. & R. Herrera. 1983. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela. The tall Amazon caatinga forest. *Vegetation* 53: 65–84.
- Lamprecht, H. 1990. Los Ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Instituto de Silvicultura de la Universidad de Göttingen GTZ. Cooperación Técnica República Federal de Alemania Eschborn. 335 p.
- Lehnert, M. 2001. Revisión der Baumfarne Boliviens die Familien Cyatheaceae und Dicksoniaceae. Diplomarbeit Vorgelegt aus neustradt in Holstein angefertigtim. Albrecht-von-Haller-Institut-für Pflanzenwissenschaften, Abteilung Systematische Botanik, an der Biologischen Fakultät der Georg-August-Universität Zu Göttingen. 133 p.
- Leuschner, C., G. Moser, C. Bertsch, M. Röderstein, D. Hertel. 2007. Large altitudinal increase in tree shroot/shoot ratio in tropical mountain forests of Ecuador. *Basic and Applied Ecology* 8: 219–230
- Liede, S. & S. Breckle. 2008. Provisional Checklists of Flora and Fauna of the San Francisco valley and its surroundings. Estación Científica San Francisco. Southern Ecuador. *Ecotropica Monographs* 4: 23–45.
- Loetsch, F. 1964. Forest Inventory. Vol. I BLV-München Basel, Wien. 436 p.

- Long, G. 1968. Conceptions generales sur la cartographie biogeographique intégrée vegetation son ecologie. Document No. 46. Montpellier. CNRS – Centre detudes phytosociologiques et ecologiques. 25 p.
- Louman, B. & Quiroz D. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba, Costa Rica. Serie técnica. Manual técnico CATIE N°. 46: 79–129.
- Luizao, R., F. Luizao, R. Paiva, T. Monteiro, L. Sousa, B. Kruijt. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology* 10: 592–600.
- Maier, B., Tiede, D., Dorren, L., 2006. Assessing mountain forest structure using airborne laser scanning and landscape metrics. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36: 3–6.
- Malleux, J. 1976. Inventarios forestales en bosques tropicales. Perú. 80 p.
- Manzanero, M. 2003. Importancia de las parcelas permanentes de muestreo, en el manejo forestal sostenible y en la certificación forestal y otras alternativas en la metodología de parcelas permanentes de muestreo. Taller de monitoreo de la respuesta dinámica del bosques; Proyecto BIOFOR; Santa Elena, Peten-Guatemala. 3 p.
- Marino, G. D. & J. Pensiero. 2001. heterogeneidad florística y estructural de los bosques *Schinopsis balansae* (Anacardiaceae) en el sur del chaco húmedo Cátedra de Botánica Sistemática Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. *Darviniana* 41(4): 17–28.
- Martin, J. G. 1994. Conservation and ethnobotanical exploration. Pp. 228–245. En: Chadwick, D. J. & J, Marsh (Eds.). *Ethonobotany and the search for new drugs*. Jhon Wiley y Sons. England.

- MDSP & SNAP. 2001. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación; Servicio Nacional de Áreas Protegidas. 2da edición, 2001. Editado por el Servicio Nacional de Áreas Protegidas. La Paz-Bolivia. 218 p.
- Miranda, F. 2005. Diversidad alfa, beta y distribución vertical de epifitas vasculares en dos rangos altitudinales de un yungueño pluvial submontano en el ANMI Apolobamba, La Paz. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 74 p.
- Miranda, V. & M. Quisbert. 1994. Mapa de provincias fisiográficas de Bolivia. Instituto Federal de geociencias y Recursos Naturales. Memorias Explicativas. La Paz. 75 p.
- Montes, de Oca I. 1997. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. 3ra. Edición. Editorial EDOBOL, La Paz. 614 p.
- Müller, R., S. Beck & R. Lara. 2002. Vegetación potencial de los bosques de Yungas en Bolivia, basado en datos climáticos. *Ecología en Bolivia* 37 (2): 5–14.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858
- Navarro, G. & M. Maldonado. 2002. Geografía Ecológica de Bolivia: vegetación y ambientes acuáticos. Centro de Ecología Simón I. Patiño. Departamento de Difusión. Cochabamba. 720 p.
- Omarini, R. 2003. Introducción a la geología. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales UNSA. Argentina. Pp. 7–8.
- Overman, P., H. Witte & J. G. Saldarriaga. 1994. Evaluation of regression models for above; ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology* 10: 207–218.
- Perea, J. R. 2005. Composición y estructura de especies arbóreas de un bosque montano, en el Parque Nacional de Yanachaga Chemillen, Oxopampa,

- Paco, Perú. Tesis de licenciatura en Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos. 160 p.
- Phillips, O., P. Núñez, L. Monteagudo, P. Cruz, Ch. Zans, 2003. Habitat association among Amazonian tree species: a landscape-scale approach. *Journal of Ecology* 91: 757–775
- Quisbert, J. M. 2004. Composición y estructura florística de los bosques de tierra firme en dos sitios del Área Natural de Manejo Integrado Madidi. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 64 p.
- Ribera, M., M. Liberman, S. Beck y M. Moraes. 1996. Vegetación de Bolivia. Comunidades, territorios indígenas y biodiversidad en Bolivia. Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno CIMAR. Santa Cruz. 222 p.
- Ribera, M. 2008. El Norte de La Paz en la línea de fuego. Observatorio ambiental de Lidera. Ed. Eloisa Molina. La Paz. 141 p.
- Scaneta, F. 2002. El bosque Neotropical desde una perspectiva jerárquica Pp. 25–32. En M. Guariguata & G. Kattan eds. *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Editorial LUR EULAC/GTZ. Costa Rica.
- Schönenberger, W. 2001. Structure of mountain forests: Assessment, impacts, management, modelling. *Forest Ecology and Management* 145:1–2.
- Smith, L. & T. M. Smith. 2001. *Ecología*. Cuarta Edición. Editorial Addison Wesley, Madrid. 664 p.
- Stadmuller, T. 1987, *Los Bosques nublados en el trópico húmedo*. UNU, CATIE. Costa Rica. 85 p.
- Steege, H., N. A. Pitman, D. Sabatier, H. Castellanos, P. Van Der Hout, D. C. Daly, M. Silveira, O. Phillips, R. Vasquez, T. Van Andel, J. Duivenvoorden, A. A. De Oliveira, R. Ek, R. Lilwah, R. Thomas, J. Van Essen, C. Baider, P. Maas, S. Mori, J. Terborgh, P. P. Núñez Vargas, Hugo Mogollon & Wilfried



- Morawetz. 2003. A spatial model of tree  $\alpha$ -diversity and tree density for the Amazon. *Biodiversity and Conservation* 12: 2255–2277.
- Takyu, M., S. Aiba & K. Kitayama. 2002. Effects of topography on tropical lower montane forests under different geological conditions on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology* 159: 35–49.
- Thiers, O. & V. Gerding. 2007. Variabilidad topográfica y edáfica en bosques de *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume, en el suroeste de Tierra del Fuego, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 80 (2): 201–211.
- Valerio, J. & C. Salas. 2001. Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales. Manual técnico. 2º edición BOLFOP, Cobija. 77 p.
- Van Der Hammet, T. & H. Hooghiemstra. 2001. Historia y paleoecología de los bosques montanos andinos neotropicales. pp. 63–84. En: M. Kappelle & A. D. Brown (eds), *Bosques Nublados del Neotrópico*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Costa Rica.
- Vargas, I. (1996) Estructura y composición florística de cuatro sitios en el Parque Nacional Amboro. Tesis para licenciatura en Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz. 841 p.
- Vásquez, A. & T. Givnish. 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure and diversity in the Sierra de Manantlan. Wisconsin Madison. British Ecological Society. *Ecology* 86: 999–1020.
- Wadsworth, F. 2000 Los bosques primarios y su productividad. Departamento de Agricultura de los EE.UU. (USDA). Servicio Forestal. Manual de Agricultura. 76 p.
- Webster, G. 1995. The panorama of Neotropical cloud forests. Pp 53–77 En: Churchill, S.P., Balslev, H., Forero, E. and Luteyn, J. (eds.). *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. Proceedings of the

Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium.  
The New York Botanical Garden.

Young, K. 2006. Bosques húmedos. Pp. 121–129. En: Moraes, M., B. Ollgaard, P. Kvist, F. Borchsenius & H. Baslev (eds.). Botánica económica de Los Andes Centrales. Herbario Nacional de Bolivia. Instituto de Ecología. La Paz.

Young, E. B. 2007. Distribución de las especies endémicas de la vertiente oriental de Los Andes de Perú y Bolivia. Nature Serve, Arlington, Virginia. 90 p.

Zamora, J. & D. Quiroz. 2000. Terminología forestal de uso común en Centro América. Manejo forestal tropical. CATIE. Unidad de manejo de bosques Naturales. NO 14:1409–3456.

# **ANEXOS**

