

**MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA  
TOTAL EN EL PÁRAMO DE ANAIME, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA**

**MARCO ANTONIO LERMA MARTÍNEZ  
ELIANA LORENA ORJUELA GÁLVEZ**

**Trabajo de tesis presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Forestal**

**Director**

**MILENA A. SEGURA MADRIGAL**

**Magister en Economía Ambiental**

**Co-director**

**JULIO CÉSAR BERMÚDEZ ESCOVAR**

**Magister en Tecnología de la madera**

**UNIVERSIDAD DEL TOLIMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA FORESTAL  
INGENIERÍA FORESTAL**

**IBAGUÉ**

**2014**

COMITÉ DE INVESTIGACIONES ACTA DE SUSTENTACIÓN TRABAJO DE GRADO			
<b>TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO</b> MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA EN EL PÁRAMO DE ANAIME, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA			
<b>NOMBRE DEL (LOS) ESTUDIANTE(S)</b> Marco Antonio Lerma Martínez Eliana Lorena Orjuela Gálvez			
<b>DIRECTOR</b> Milena Andrea Segura Madrigal (Directora) y Julio Cesar Bermúdez Escovar (Co-director)			
<b>NOMBRE Y NIVEL DE FORMACIÓN JURADO 1</b> JUAN CARLOS CAMARGO GARCÍA			
CALIFICACIÓN JURADO 1	Informe Escrito	3,7	Sustentación 4,4
<b>NOMBRE Y NIVEL DE FORMACIÓN JURADO 2</b> JOSE ALFREDO ORJUELA CHAVES y ANA MILENA LOPEZ (ad hoc sustentación)			
CALIFICACIÓN JURADO 2	Informe Escrito	3,7	Sustentación 3,9
CALIFICACIÓN PROMEDIO	Jurado 1	4,0	Jurado 2 3,8
CALIFICACIÓN FINAL	3,9	Reprobado	Aprobado *
Sobresaliente		Meritorio	Laureado
<b>RANGOS DE EQUIVALENCIA</b> Calificación menor de tres cero (3,0) Calificación entre tres cero (3,0) y tres nueve (3,9) Calificación entre cuatro cero (4,0) y cuatro cuatro (4,4) Calificación entre cuatro cinco (4,5) y cuatro nueve (4,9) Calificación de cinco cero (5,0)			
		REPROBADO	APROBADO
		SOBRESALIENTE	MERITORIO
		LAUREADO	
<b>OBSERVACIONES</b> En atención a que el Jurado 1 reside en otra ciudad, la sustentación se lleva a cabo vía Skype. La Ingeniera Ana Milena López es designada como jurado ad hoc de la sustentación del trabajo de grado, debido a que por problemas de agenda no fue posible contar con el Dr. José Alfredo Orjuela Chaves			
<b>FIRMAS</b>			
 NOMBRE Y FIRMA JURADO 1		 NOMBRE Y FIRMA JURADO 2 ANA MILENA LOPEZ	
 COORDINADOR INVESTIGACIONES ANTONIO GARCIA			
CIUDAD: Ibague	FECHA DE SUSTENTACIÓN: 25-02-2014		

## **ADVERTENCIA**

La Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima, la directora y codirector del trabajo y el jurado calificador, no son responsables de los conceptos ni de las ideas expuestas por los autores del presente trabajo.

Artículo 16, Acuerdo 032 de 1976 y Artículo 29, acuerdo 064 de 1991, Consejo Académico de la Universidad del Tolima.

## DEDICATORIA

A Dios por brindarme todo lo necesario para poder cumplir todas mis metas propuestas y ser hoy en día lo que soy.

A mí padre Marco Lerma y mi madre Gloria Martínez por ser ese apoyo incondicional, por ser ese motivo y motor que me impulsaron a continuar, cumplir mis sueños y objetivos propuestos.

A mi hermana Danna Lerma por ser esa compañía necesaria y fundamental.

**MARCO ANTONIO LERMA MARTINEZ**

A Dios padre de lo creado por ser mi guía y apoyo en todo momento y demostrarme el valor de la vida.

A mis abuelos maternos Hilda Gálvez de Orjuela y Alirio Orjuela Quijano por brindarme lo mejor de ellos en cada etapa de mi vida, siendo mí ejemplo.

A mi madre que es la fortaleza de mi vida.

A mi padre que desde el cielo es mi guía y ángel protector.

A mis tíos y tías por estar en los momentos más especiales de mi vida, por escucharme y ser mis consejeros.

Especialmente a mi tía Gloria Lucia Orjuela G., por ser mi mayor apoyo dándome la oportunidad de formarme como profesional, a mi hermano Sergio Nader Orjuela por ser la luz que ilumina mi vida.

**ELIANA LORENA ORJUELA GALVEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

A los Ing. Milena Segura y Julio Bermúdez por permitirnos ingresar y lograr ser parte del grupo de investigación Producción Ecoamigable de Cultivos Tropicales (PROECUT), apoyarnos y guiarnos en los momentos fundamentales para el desarrollo de este trabajo de grado y aún más, por confiar en nosotros.

Al Ing. Hernán Andrade por su apoyo y colaboración en cuanto a las dudas que se presentaron durante la elaboración del trabajo de grado, por sus asesorías y disposición de tiempo al momento de necesitarlo.

A Diana Canal por la atención prestada al momento de necesitar el Laboratorio de Fisiología vegetal, por colaborarnos en todo lo que podía y estaba a su alcance; igualmente a Carol Fajardo García por colaborarnos en el Laboratorio de Tecnología de Maderas , disponer de su tiempo y asesorarnos en las diferentes actividades realizadas.

A la ONG Semillas de Agua por creer en nosotros, facilitarnos los medios, su apoyo financiero parcial y brindarnos las herramientas adecuadas y necesarias para el desarrollo del trabajo de grado. A la oficina de Investigación de la Universidad del Tolima por su apoyo económico y a cada una de las personas que nos recibieron en el campamento y nos ayudaron a recorrer la zona, brindándonos lo fundamental, lo que hizo posible la ejecución como tal del trabajo de grado.

A nuestra Facultad de Ingeniería Forestal y Universidad del Tolima, ya que fueron ellos los que nos acogieron, nos formaron y permitieron que fuéramos parte de su legado.

## **CONTENIDO**

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>1. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>17</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
<b>4. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES</b>	<b>20</b>
4.1 EFECTO INVERNADERO	20
4.2 CAMBIO CLIMÁTICO	21
4.3 ACTIVIDADES POTENCIALES DE MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO	22
4.4 ECOSISTEMAS DE PÁRAMO	23
4.5 LA VEGETACIÓN DE PÁRAMO	24
4.5.1 <i>Miconia sp.</i>	25
4.5.2 <i>Weinmannia auriculata.</i>	25
4.5.3 <i>Baccharis sp.</i>	26
4.6 CLIMA DE PÁRAMO	27
4.7 BIOMASA	28
4.8 CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA EN BOSQUE NATURAL	29
4.8.1 Método Tradicional.	30
4.8.2 Método Destructivo.	30
4.8.3 Estimación de la Biomasa a través de Sensores Remotos.	31
4.9 GRAVEDAD ESPECÍFICA	31
4.9.1 Medición Directa o Estereométrica.	34

pág.

4.9.2	Desplazamiento de Fluidos.	34
4.9.3	Porosímetro de Mercurio.	35
4.10	FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA (FEB)	36
4.11	MODELOS ALOMÉTRICOS	37
4.12	SELECCIÓN DEL MODELO ALOMÉTRICO DE MEJOR AJUSTE	39
<b>5.</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>42</b>
<b>6.</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>43</b>
6.1	ÁREA DE ESTUDIO	43
6.2	SELECCIÓN DE LAS ESPECIES	44
6.3	SELECCIÓN DE INDIVIDUOS	45
6.4	GRAVEDAD ESPECÍFICA	45
6.4.1	Procesamiento de las Muestras Recolectadas.	46
6.4.2	Determinación del Peso Seco al Horno (PSH).	46
6.4.3.	Cálculo del Volumen en Verde.	47
6.5	CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA.	47
6.6	DESARROLLO DE MODELOS ALOMÉTRICOS	48
6.6.1	Medición de Volumen y Biomasa.	49
6.6.2	Construcción de Modelos Alométricos para Estimar la Biomasa Aérea Total	51
6.7	DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA (FEB)	52
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>53</b>
7.1	CÁLCULO DE ÁREA BASAL	53
7.2	GRAVEDAD ESPECÍFICA	54
7.3	BIOMASA EN ÁRBOLES ESTUDIADOS	57
7.4	MODELOS ALOMÉTRICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA	
	TOTAL	58

pág.

<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>63</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>64</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>76</b>



## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Modelos alométricas genéricas más empleadas para la estimación de biomasa de leñosas perennes.	38
<b>Tabla 2.</b> Distribución diamétrica, altura total y altura de reiteración de los arboles muestreados.	45
<b>Tabla 3.</b> Cálculo de área basal en bosque natural de páramo.	53
<b>Tabla 4.</b> Gravedad específica promedio para fuste en tres secciones de tres especies forestales de Bosque natural de Páramo.	54
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de las propiedades mecánicas de la madera según las normas ASTM.	55
<b>Tabla 6.</b> Valores promedio de biomasa aérea total, dap, altura total y de reiteración, número de individuos muestreados y FEB.	57
<b>Tabla 7.</b> Coeficiente de correlación de Pearson de la Biomasa total con el dap, Altura de reiteración y Biomasa del fuste para las especies estudiadas (n=30)	58
<b>Tabla 8.</b> Modelos para estimar la biomasa aérea total de tres especies de Bosque natural de Páramo.	60

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Representación del efecto invernadero	21
<b>Figura 2.</b> Desplazamiento de fluidos	34
<b>Figura 3.</b> Mapa del Municipio de Cajamarca, Tolima (Colombia)	43
<b>Figura 4.</b> Probetas utilizadas en el método de desplazamiento de fluidos	46
<b>Figura 5.</b> Determinación del peso seco al horno	46
<b>Figura 6.</b> Desplazamiento de fluidos	47
<b>Figura 7.</b> Sub-muestras de cada componente para el secado en horno	51
<b>Figura 8.</b> Área basal en bosque natural de páramo	53
<b>Figura 9.</b> Gravedad específica promedio para fuste en tres secciones de tres especies forestales de Bosque natural de Páramo.	54
<b>Figura 10.</b> Valores observados de Biomasa aérea total ( $B_T$ ) para las especies muestreadas con a) diámetro a la altura del pecho ( $dap$ ), b) altura total ( $ht$ ), c) altura de reiteración ( $hr$ ), d) Factor de expansión de biomasa (FEB)	59
<b>Figura 11.</b> Relación entre los valores observados y medidos de Biomasa aérea total	62