

**CUANTIFICACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO POR LA BIOMASA  
AEREA DE ALISO (*Alnus jorullensis* H.B.K.) EN DOS ARREGLOS  
AGROFORESTALES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL BOTANA  
UNIVERSIDAD DE NARIÑO, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE  
NARIÑO**

**JOHN JAIRO ACOSTA FLOREZ  
FREDY TUPAZ FLOREZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
PASTO, COLOMBIA  
2007**

**CUANTIFICACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO POR LA BIOMASA  
AEREA DE ALISO (*Alnus jorullensis* H.B.K.) EN DOS ARREGLOS  
AGROFORESTALES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL BOTANA  
UNIVERSIDAD DE NARIÑO, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE  
NARIÑO**

**JOHN JAIRO ACOSTA FLOREZ  
FREDY TUPAZ FLOREZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el titulo de  
Ingeniero Agroforestal**

**PRESIDENTE**

**JAVIER ANÍBAL LEÓN GUEVARA I. AF. M. SC.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
PASTO, COLOMBIA  
2007**

**Nota de aceptación.**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente de tesis**

---

**Firma del presidente del Jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**San Juan de Pasto, septiembre de 2007**

**“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”.**

**Artículo 1º del Acuerdo N° 324 del 11 de octubre de 1996, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.**

**Dedico a:**

*A mi Madre por que me dio la vida y por que gracias a su esfuerzo he logrado culminar con este importante paso.*

*A mis Tías por su ayuda, amor y apoyo durante toda mi carrera y por estar pendientes de mí en todo momento.*

*A mis hermanos y primos por que siempre me levantaron el ánimo en los momentos difíciles.*

*Y a todos mis compañeros.*

**JOHN JAIRO ACOSTA FLOREZ**

**Dedico a:**

*A mi Madre por todo su amor, apoyo y por que gracias a todo su esfuerzo he logrado alcanzar esta meta.*

*A mis Tías y Tíos por su guía y continuo aliento y por que siempre estuvieron presentes cuando necesite un consejo.*

*A mis hermanos y primos quienes fueron la alegría y continua compañía.*

*A todos mis amigos y compañeros que fueron parte de este proceso.*

**FREDY TUPAZ FLOREZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, al programa de Ingeniería Agroforestal, sus docentes y directivos.

Javier Aníbal León Guevara. Ingeniero Agroforestal. M.Sc. Docente titular Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño. Por su orientación, tiempo y colaboración en la realización de este trabajo.

Hugo Ferney Leonel. Ingeniero Forestal. Docente titular Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Jorge Fernando Navia Estrada. Ingeniero Agrónomo. Ph. D. Docente titular Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Jesús Castillo. Franco Ingeniero Agrónomo. Docente titular Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Alexander León Guevara. Ingeniero Agrónomo. Docente titular Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Álvaro Castillo Marín. Ingeniero Agrónomo. Secretario Académico Facultad de Ciencias Agrícolas.

Sandra Milena Jiménez. Ingeniera Agroforestal.

Sandra Milena Jaramillo Ingeniera Agroforestal

Johanna Ibeth Muñoz Hidalgo. Ingeniera Agroforestal.

A todas las personas que con su apoyo y confianza hicieron posible la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN .....	21
I MARCO TEORICO .....	23
1.1 LOS BOSQUES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO: .....	23
1.2 CICLO BIOLÓGICO DEL CARBONO .....	23
1.2.1 Carbono en las plantas .....	24
1.3 ARREGLOS AGROFORESTALES COMO SUMIDEROS DE CARBONO...25	
1.4 CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO EN BOSQUES NATURALES.....	26
1.4.1 Contenido de biomasa estimado a través de métodos directos ó indirectos. ....	27
1.5 SISTEMAS AGROFORESTALES (SAF):.....	27
1.5.1 Cultivo en callejones y agricultura. ....	28
1.5.2 Árboles dispersos en pasturas.....	28
1.5.3 Sistemas agroforestales de cercas vivas y cortinas rompevientos. ....	29
1.5.4 Concepto de árboles y arbustos de uso múltiple. ....	29
1.6 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE.....	29
1.6.1 Clasificación Taxonómica de <i>Aliso (Alnus jorullensis)</i> .....	29
1.6.2 Origen y distribución Geográfica.....	29
1.6.3 Aspectos botánicos.....	30
1.6.4 Propagación.....	30
1.6.5 Usos en agroforestería .....	30
II. DISEÑO METODOLÓGICO.....	31
2.1 LOCALIZACIÓN .....	31



2.2	ÁREA EXPERIMENTAL.....	32
2.2.1	Arreglo Árboles dispersos (SSP). .....	32
2.2.2	Arreglo Cultivo en Callejones (CC). .....	32
2.3	TAMAÑO DE LA MUESTRA .....	33
2.4	REGISTRO DE DATOS .....	33
2.5	DETERMINACIÓN DE BIOMASA POR MÉTODO DIRECTO.....	34
2.6	ETAPA DE LABORATORIO.....	35
2.6.1	Determinación del peso seco:.....	35
2.6.2	Contenido de C en la biomasa por el método de factor de conversión..	36
2.7	COMPARACIÓN DE LA BIOMASA SECA AÉREA TOTAL .....	37
2.8	CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA BIOMASA .....	37
2.9	VALIDACIÓN DEL MODELO PROPUESTO POR FORERO. et al,. (2006).	38
III.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	39
3.1	PRODUCCION DE BIOMASA AÉREA TOTAL (BAT) EN CC y SSP.....	39
3.2	COMPORTAMIENTO DE LA BIOMASA SECA AÉREA DE <i>A. jorullensis</i> POR COMPONENTES EN CC y SSP. ....	41
3.2.1	Biomasa seca en fuste de <i>A. jorullensis</i> . .....	41
3.2.2	Biomasa seca en hojas de <i>A. jorullensis</i> .....	42
3.2.3	Biomasa seca en ramas de <i>A. jorullensis</i> . .....	44
3.3	DETERMINACION DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO ALMACENADO DE <i>A. jorullensis</i> .....	46
3.3.1	Arreglo cultivo en callejones (CC).....	46
3.3.2	Arreglo árboles dispersos (SSP).....	47
3.4	MODELOS ALOMÉTRICOS. ....	48

3.4.1 Modelos para estimar biomasa aérea total (BAT) en <i>Alnus jorullensis</i> ..	48
3.4.2 Modelo de predicción de (BAT) versus diámetro a la altura del pecho (DAP) en <i>A. jorullensis</i> en el arreglo cultivo en callejones. ....	48
3.4.3 Validación del modelo seleccionado. ....	50
3.4.4 Estimaciones de biomasa aérea total y carbono almacenado para <i>A. jorullensis</i> , en el arreglo cultivo en callejones (CC). ....	51
3.4.5 Modelo de predicción biomasa aérea total versus DAP en el arreglo (SSP) .....	51
3.4.6 Validación del modelo seleccionado. ....	53
3.4.7 Estimaciones de biomasa aérea total y carbono almacenado para <i>A jorullensis</i> , en arreglo de árboles dispersos. ....	53
 3.5 COMPARACIÓN DE MODELOS GENERADOS EN OTROS ESTUDIOS PARA <i>Alnus</i> sp. ....	 54
 3.6 VALIDACIÓN DEL MODELO PROPUESTO POR FORERO. L. et. al. (2006) PARA CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE <i>A. jorullensis</i> EN CERCAS VIVAS. ....	 56
 CONCLUSIONES .....	 59
 RECOMENDACIONES .....	 60
 BIBLIOGRAFIA .....	 61
 ANEXOS	

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Carbono superficial en forestería y agroforestería de Centro América.....	26
<b>Tabla 2</b> Mediciones en campo y producción de BAT de los arboles de <i>A. jorullensis</i> apeados en la granja de Botana, municipio de Pasto. ....	39
<b>Tabla 3</b> Comparación del Desarrollo de <i>A. acuminata</i> y <i>A. jorullensis</i> en diferentes sitios de Ecuador y Colombia. ....	40
<b>Tabla 4</b> Análisis de varianza biomasa en fuste de <i>A. jorrullensis</i> .....	41
<b>Tabla 5</b> Análisis de varianza biomasa en hojas de <i>A. jorullensis</i> .....	43
<b>Tabla 6</b> Análisis de varianza biomasa en ramas de <i>A. jorullensis</i> . ....	44
<b>Tabla 7</b> Modelo de Biomasa aérea total en función del diámetro para <i>Alnus jorullensis</i> , en el arreglo cultivo en callejones .....	48
<b>Tabla 8</b> Valores estimados de biomasa aérea total (Kg) y Carbono almacenado (Kg/C/árbol) en función del DAP (cm) de <i>A. jorullensis</i> en el arreglo (CC) .....	51
<b>Tabla 9</b> Modelo de Biomasa aérea total en función del DAP para <i>A. jorullensis</i> , en el arreglo (SSP). ....	52
<b>Tabla 10</b> Valores estimados de Biomasa aérea total (Kg) y Carbono almacenado (Kg/árbol) en función del DAP (cm) de <i>A. jorullensis</i> en el arreglo (SSP).....	54
<b>Tabla 11</b> Comparación de modelos generados para <i>Alnus sp</i> por otros autores con este estudio. ....	55
<b>Tabla 12</b> Producción de biomasa seca real de <i>A. jorrullensis</i> en los arreglos SSP y CC, frente a la simulada con modelo propuesto por Forero <i>et al</i> (2006), para cercas vivas. ....	57

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.....	24
<b>Figura 2</b> Localización de área de estudio. Granja experimental Botana 2007. ....	31
<b>Figura 3</b> Corte de fuste de <i>A. jorullensis</i> , en el arreglo SSP .....	34
<b>Figura 4</b> Peso de ramas de <i>A. jorullensis</i> en arreglo de CC. ....	34
<b>Figura 5</b> Peso de hojas de <i>A.jorullensis</i> . ....	35
<b>Figura 6 a.</b> secado y <b>b.</b> peso de las muestras de <i>A.jorullensis</i> en laboratorio especializado de la Universidad de Nariño .....	35
<b>Figura 7</b> Grafica de producción de biomasa seca en fuste de aliso <i>A. jorullensis</i> en los arreglos (CC y SSP).....	42
<b>Figura 8</b> Producción de biomasa seca en hojas de <i>A. jorullensis</i> en función al DAP, en los arreglos agroforestales cultivo en callejones y árboles dispersos. ....	44
<b>Figura 9</b> Producción de biomasa seca en ramas de <i>A. jorullensis</i> en función al DAP, en los arreglos agroforestales árboles dispersos y cultivo en callejones. ....	45
<b>Figura 10</b> Biomasa aérea y carbono almacenado de <i>A. jorullensis</i> en el arreglo cultivo en callejones (CC). ....	46
<b>Figura 11</b> Biomasa aérea y carbono almacenado de <i>A. jorullensis</i> en el arreglo árboles dispersos (SSP). ....	47
<b>Figura 12</b> Relación Biomasa aérea total (Bat) – diámetro a la altura del pecho (DAP) para <i>Alnus jorullensis</i> en el arreglo cultivo en callejones. Modelo de la forma $Y = \exp(a + b/DAP)$ .....	49
<b>Figura 13</b> Comparación de biomasa seca real observada versus predicha presente en <i>A. jorullensis</i> en el arreglo cultivo en callejones (CC) .....	50
<b>Figura 14</b> Relación Biomasa aérea total Vr (DAP) para <i>A. jorullensis</i> en el arreglo (SSP). Modelo de la forma $Y = (a + b \cdot DAP)^2$ .....	52

**Figura 15.** Comparación de biomasa seca real observada versus predicha de *A. jorullensis* en el arreglo (SSP). .....53

**Figura 16** Comparación de biomasa simulada de *A. jorullensis* en los arreglos (CC) y (SSP), con modelos propuestos para *Alnus Sp* por otros autores. ....56

**Figura 17.** Producción de biomasa seca total de *A. Jorullensis* en cultivo en callejones y árboles dispersos versus producción predicha por modelo reportado por Forero *et al* (2006) para cercas vivas.....58

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo a.** Mapa con cultivo en callejones y franjas de Aliso, Pichuelo, Colla y Acacia.

**Anexo b.** Sistema silvopastoril árboles dispersos de aliso en potreros.

**Anexo c.** Análisis de varianza por componentes fuste, hojas y ramas de la biomasa aérea fresca de Aliso *Alnus jorullensis*, en los arreglos agroforestales cultivo en callejones y árboles dispersos, en la granja Botana, de la Universidad de Nariño.

**Anexo d.** Anava biomasa aérea seca total Vs diámetro a la altura del pecho, en el arreglo cultivo en callejones.

**Anexo e.** Anava biomasa aérea seca total Vs diámetro a la altura del pecho, en el arreglo silvopastoril árboles dispersos.

**Anexo f.** Comparación de medias (prueba T) entre biomasa seca total real y biomasa seca total estimada para *Alnus jorullensis*, en cultivo en callejones.

**Anexo g.** Comparación de medias (prueba T) entre biomasa seca total real y biomasa seca total estimada, para *Alnus jorullensis*, en el arreglo árboles dispersos.

**Anexo h.** Comparación de medias (prueba T) entre biomasa seca total real (Bstr) en el arreglo cultivo en callejones y la biomasa seca total estimada (Bste), con el modelo alométrico  $Y = \exp(7,18011 - 44,6446) / DAP$  para *Alnus jorullensis*.

**Anexo i.** Comparación de medias (prueba T) entre biomasa seca total real (Bstr) en el arreglo silvopastoril árboles dispersos y la biomasa seca total estimada.

**Anexo j.** Diámetros de a los árboles de *A. jorullensis* en cultivo en callejones de la granja Botana.

**Anexo k.** diámetros de árboles dispersos de *A. jorullensis* en la granja Botana.

## RESUMEN

La investigación se llevo a cabo desde el mes de febrero a septiembre del 2007, en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño, Municipio de Pasto, localizada a 77° 18` 58" de longitud oeste y 1° 10` 11,4" de latitud norte, a una altura de 2820 msnm, temperatura promedio de 12°C, donde se cumplió con los objetivos de cuantificar y comparar el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea (hojas, ramas, fuste) de Aliso (*Alnus jorullensis*) en los sistemas agroforestales cultivo en callejones (CC) y árboles dispersos (SSP) y generar modelos alométricos.

Para cuantificar el almacenamiento de carbono y la biomasa seca aérea total producida por *A. jorullensis* en los arreglos (CC y SSP), se cortaron 18 árboles que fue la muestra definida por el inventario, cada árbol fue pesado dividiendo sus componentes hojas (H), ramas (R) y fuste (F), los datos obtenidos se llevaron a una hectárea dando como resultado, que el mejor contenido de biomasa seca aérea total fue en el arreglo (CC) con 2.41 ton/ha y el contenido de carbono almacenado total fue de 1.20 ton/ha, frente a el arreglo (SSP) en donde el contenido de biomasa seca total fue de 0,647 ton/ha y el contenido de carbono almacenado total fue de 0.323 ton/ha. En cuanto a los componentes para los arreglos, el fuste represento el mayor aporte de biomasa seca y carbono representado por el 43% en (CC) y 57% en (SSP) de la biomasa seca aérea total, siguiendo en orden las ramas 32% en (CC) y 29% en (SSP) y hojas 25%.en (CC) y 14% para (SSP).

Se realizó un análisis estadístico con los datos recogidos en campo, para analizar el comportamiento de la biomasa aérea y el almacenamiento de carbono, en donde, cada arreglo fue tomado como un tratamiento y cada árbol fue tomado como una unidad experimental, el análisis se dividió para cada componente (H, R y F), las variables a evaluar fueron biomasa aérea seca total presente en cada componente para los dos arreglos. Los resultados mostraron diferencias significativas entre arreglos solo para el componente (F), mostrando que el arreglo (SSP) presento mejor promedio de biomasa seca, con 4.87 kg respecto a 2.45 kg presente en el arreglo (CC); para los componentes (H y R) no se presentaron diferencias significativas entre los arreglos. Entre diámetros se presentaron diferencias significativas solo para (H y R); los árboles con DAP de 9.1 cm presentaron la mayor producción de biomasa (3.69 kg) en (H) y (5.67kg) en (R).

Se construyeron modelos de regresión, con el programa estadístico STATGRAPHICS Plus 5.1, se probaron varios modelos considerando la biomasa seca aérea total, como variable dependiente y el DAP como variable independiente. Para la selección de los modelos de mejor ajuste, se tuvo en cuenta parámetros estadísticos como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ),

coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ - ajustado), coeficiente de variación (CV%), error estándar de estimación o raíz cuadrada medio del error (RMSE), la suma de cuadrados del error (PRESS), así como la lógica biológica del modelo.

**Palabras claves:** Almacenamiento de Carbono, *Alnus Jorullensis*, Sistemas Agroforestales, Cultivo en Callejones, Arboles Dispersos, Modelo de Regresión, Parámetros Estadísticos, Diámetro a la Altura del Pecho (DAP).



## ABSTRACT

The investigation was carried out from the month of February until September 2007 in the Botana experimental farm of Nariño University, Pasto municipality, located to 77° 18` 58" of west longitude and 1° 10` 11,4" of north latitude, to a high of 2820 msnm, half temperature of 12°C. In where were fulfilled with the objectives of quantification and compare the carbon storage in the air biomass (leafs, branches and shaft) of Aliso (*Alnus jorullensis*) in the agroforestry systems alley farmed (CC) and silvopastoral system (SSP) and generate allometrics models.

To quantification the carbon storage and the total dry air biomass produces for *A. jorullensis* in the arrangement (CC y SSP), was cut 18 trees that was the simple defined by the inventory, each tree was weighed divide it in its components leafs (H), branches (R) and shaft (F), the data obtained were took to one hectare, showing what the better among of total dry air biomass was in the arrangement (CC) with 2.41 ton/ha and the total carbon storage was 1,20 ton/ha, front to the arrangement (SSP) in where the total dry air biomass 0,647 ton/ha and the total carbon storage was 0.323 ton/ha. About the components for the arrangements, the shaft present the major contribution of dry biomass and carbon representing the 43% in (CC) and 57% in (SSP) of total air dry biomass, following the order the branches 32% in (CC) and 29% in (SSP) and leafs 25% (CC) and 14% in (SSP).

Was realized a statically analysis with he data picked up in field to analyzed the behavior of the dry air biomass and storage carbon, in where, each arrangement was took like a treatment, each tree was took like an experimental unity and was divided the analysis to each component, the variables to evaluate was total dry air biomass present in the arrangement. The results of analysis showed that just present significant differences between arrangements for the component shaft, showing that the arrangement (SSP) had the better average in dry biomass yield, with 4.87 kg respect to 2.45 kg present in arrangement (CC); in the components leafs and branches not showed significant differences between arrangements. Whereas between diameters showed significant differences just in leafs and branches; the trees with DAP of 9.1 cm showed the major biomass yield (3.69 kg) in leafs and (5.67kg) in branches.

Was built regression models, with the statistical program STATGRAPHICS Plus 5.1, were taste several models by it, whereas the total air dry biomass, like the dependent variable and (DAP) like the independent variable. For the models selection of better adjustment, was took care of the statistical parameters as, the coefficient of determination ( $R^2$ ), the adjustment coefficient of determination ( $R^2$  adjusted), variation coefficient (CV%), estimation standard error or square root half error (RMSE), the error square sum (PRESS) and the logical biological of the model.

**Key Words:** Carbon Stored, *Alnus Jorullensis*, Agroforestry Systems, Alley Farmed, System Silvopastoral, Regression Model, Statistical Parameters, Breast Height Diameter (BHD).

## GLOSARIO

**APEAR:** Cortar o tumbiar un árbol a ras del suelo.

**ALOMETRIA:** estudia los patrones de crecimiento o sea la proporcionalidad entre razones específicas o relativas del crecimiento.

**BIOMASA:** la biomasa es definida como el conjunto de materia orgánica que conforma un ecosistema presente en los organismos vivos, en este caso, la masa seca total, incluye follaje, ramas, tronco y raíces, pero excluye la hojarasca caída y la materia orgánica en descomposición.

**CALENTAMIENTO GLOBAL:** es el aumento de la temperatura de la tierra debido al uso de combustibles fósiles y a otros procesos industriales que llevan a una acumulación de gases invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nítrico) en la atmósfera.

**CARBONO:** de símbolo C, es un elemento crucial para la existencia de los organismos vivos y que tiene muchas aplicaciones industriales importantes. Su número atómico es 6 y pertenece al grupo 14 del sistema periódico.

**CARBONO ALMACENADO (Ca):** Hace referencia a la cantidad de carbono que se encuentra en un ecosistema vegetal, en un determinado momento

**CARBONO FIJADO (Cf):** Se refiere a la capacidad de una unidad de área cubierta por vegetación para fijar carbono en un periodo determinado, es decir por encima de la cantidad actualmente almacenado.

**COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV):** Se define como la relación entre la desviación estándar y la media; informa sobre la variación o uniformidad de las poblaciones o muestras.

**EFEECTO INVERNADERO:** Este es un efecto natural que mantiene a la tierra con una temperatura promedio arriba del punto de congelación y permite la vida.

**ERROR ESTÁNDAR:** Es una medida de la variabilidad muestral del estimador sobre todas las muestras posibles, indica la confiabilidad de la media como estimador

**HETEROCEDASTICIDAD:** es el incremento de la varianza con el aumento de una variable sobre el rango de los datos.

**INDICE DE FURNIVAL:** este se utiliza para comparar modelos con y sin transformación de variables, como por ejemplo logaritmos, en modelos sin transformar es igual al error estándar de la estimación, entre mas bajo es el índice de furnival mejor es el modelo ajustado.

**IPCC:** Panel Intergubernamental Para El Cambio Climático

**R – CUADRADO:** indica el porcentaje de la variabilidad de variable dependiente del modelo estadístico.

**SERVICIO AMBIENTAL:** se consideran todos los beneficios que prestan los árboles para mejorar el medio ambiente y a la vez generar ingresos económicos.

**SUMIDERO:** bosques y masas forestales capaces de absorber los gases de efecto invernadero.

**VARIABLE ESTADISTICA:** pueden contener datos numéricos (variables cuantitativas) y datos categóricos no cuantificables numéricamente (variables cualitativas).

**VARIANZA:** determina la variabilidad que existe entre los datos que se relacionan.

**1 Pg = 10<sup>15</sup> g = 1 Gt de C = gigaton; 1 gigaton = mil millones de toneladas**

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es uno de los principales problemas que enfrenta el mundo de hoy. La concentración de gases de invernadero – dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano y óxidos nitrosos - en la atmósfera ha aumentado considerablemente, lo cual fortalece el efecto invernadero, con el consecuente sobrecalentamiento del planeta. El CO<sub>2</sub>, principal gas efecto invernadero, incrementó su concentración de 280 ppm en 1750 a 360 ppm en el 2000, el uso de combustibles fósiles genera en la actualidad de 80 al 85 % del CO<sub>2</sub> emitido<sup>1</sup>, mientras que el 20-25% proviene de la extensión de la frontera agrícola, la explotación comercial de bosques y el incremento de la oxidación de la materia orgánica en los suelos<sup>2</sup>.

Anualmente se deforestan 17 millones de hectáreas para convertirlas en agricultura y/o plantaciones silvícolas. En términos generales, la deforestación libera aproximadamente 1000 millones de toneladas de carbono a la atmósfera cada año, en forma de dióxido de carbono<sup>3</sup>. Para el caso de la zona Andina Nariñense, los bosques han sido reducidos significativamente, anualmente se talan 10.000 has de bosque nativo dando paso a la siembra de cultivos agrícolas y pastos, contribuyendo de manera directa a la contaminación ambiental<sup>4</sup>.

La investigación en cambio climático y uso de la tierra en los trópicos, se ha enfocado mayormente en el análisis de los impactos de la deforestación y los efectos del uso de la tierra en las emisiones de gases de efecto invernadero y de carbono. Sin embargo, se han hecho algunos estudios para tratar de cuantificar el potencial del uso sostenible de la tierra para secuestrar y acumular carbono en los ecosistemas tropicales<sup>5</sup>.

---

<sup>1</sup> ANDRADE, H. y IBRAHIM, M. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? En: Agroforestería en las Américas. Vol. 10 39-40. 2003. p 109.

<sup>2</sup> ERICKSON, J. El efecto invernadero: el desastre del mañana, hoy. Madrid: Mc Graw-Hill I/ Interamericana, 1992. p. 217

<sup>3</sup> HOUGHTON, 1991 citado por MORA, V. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. CATIE. Turrialba Costa Rica. 2001. p.4.

<sup>4</sup> CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO CORPONARIÑO. Informe trianual 2005. p. 10.

<sup>5</sup> KANNINEN M. Secuestro de carbono en bosques, su papel en el ciclo global. En: Agroforestería para la producción animal en América Latina. [en línea] s.f. [Citado el Jueves, 26 de octubre de 2006] disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4435S/y4435s00>.

En el contexto del cambio climático y el ciclo global del carbono, los sistemas forestales, productivos, al igual que la agroforestería, son de mucho interés, ya que pueden contribuir de manera importante en cuanto a la mitigación de los gases que afectan al calentamiento global. Se conoce que la cantidad de carbono secuestrado directamente por los árboles dentro de diferentes sistemas agroforestales oscila normalmente de 3 a 25 t/C/ha; además de suministrar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten de 5 a 20 Has<sup>6</sup>. El potencial para el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales, incluyendo el carbono del suelo, oscila entre 12 y 228 t/C/ha<sup>7</sup>.

El municipio de Pasto se caracteriza por presentar sistemas agroforestales tradicionales y una gran cantidad de corredores biológicos que nacen de bosques altoandinos, que pueden potencializar la generación de servicios ambientales, entre los cuales cabe destacar el secuestro de carbono y realizar posteriores reforestaciones con las especies más representativas en cada región necesarios para descontaminar el aire y mantener los ecosistemas naturales<sup>8</sup>.

Dentro de las especies que predominan en la zona andina esta el aliso (*Alnus jorullensis*), que genera alternativas de bienes y servicios ambientales, que fácilmente se lo encuentra presente en las riberas de ríos y quebradas, y haciendo parte de pequeños sistemas agroforestales tradicionales como cercos vivos o árboles dispersos en potreros, convirtiéndose así en una gran opción para la captura de carbono.

*A. jorullensis*, es una de las pocas especies multipropósito que se ha adaptado y utilizado en programas de reforestación, recuperación de paisajes, conservación de suelos en ecosistemas andinos, y que mediante su investigación permitirá implementarse en estos sistemas de la región andina, y en otros ecosistemas que ayuden a la mitigación de los efectos causantes del calentamiento global. Por lo anterior este trabajo tuvo como objetivo conocer las tasas de carbono acumulables en la biomasa aérea en *A. jorullensis* en dos arreglos agroforestales, de la granja Botana y la generación de modelos para su estimación.

---

<sup>6</sup> LÓPEZ, A. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc, Turrialba., Catie. Costa Rica. 1998. p. 50

<sup>7</sup> DIXON, 1995 citado por AVILA, G. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2000. p. 11.

<sup>8</sup> FORERO. L, et al. Determinación del almacenamiento de carbono en bosques secundarios alto - andinos de la cuenca alta del río pasto En: Proyecto Restauración y Protección de Agroecosistemas Estratégicos en la Captura de Carbono, Municipio de Pasto. Empopasto, Alcaldía de Pasto - Secretaria del Medio Ambiente y Vicerectoria de Posgrados e Investigaciones-VIPRI, Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. 2006. p. 117.

## I MARCO TEORICO

### 1.1 LOS BOSQUES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO:

La deforestación de 3 a 4 millones de hectáreas anuales de bosques amazónicos reduce la evapotranspiración de las plantas la cual, a su vez, constituye una porción significativa de la precipitación pluvial regional, e incrementa la vulnerabilidad de los bosques al fuego. El calentamiento global podría exacerbar este problema si promueve climas mas secos o sequías de El Niño mas fuertes<sup>9</sup>.

### 1.2 CICLO BIOLÓGICO DEL CARBONO

El ciclo del carbono comienza con la fijación del anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno en forma simultánea, que pasa a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta, y el anhídrido carbónico así formado se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales, que también respiran y liberan anhídrido carbónico. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera<sup>10</sup>.

El principal almacén de carbono lo constituye la atmósfera, que está asociado al oxígeno formando el CO<sub>2</sub> (como producto de la respiración y/o de algún proceso de combustión), el cual es incorporado a través de los estomas al interior de las hojas de las plantas, por medio de un proceso fotoquímico conocido como fotosíntesis<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup>LAURANCE & WILLIAMSON 2001, citados por ORREGO, S. et al., Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia. Bogotá: Panamericana formas e Impresos. S.A. 2002. p 12.

<sup>10</sup> SCHIMEL, 1995. SMITH et al., 1993 citados por ORDOÑEZ, J. Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México DF: Instituto Nacional de Ecología, 1999. p. 81

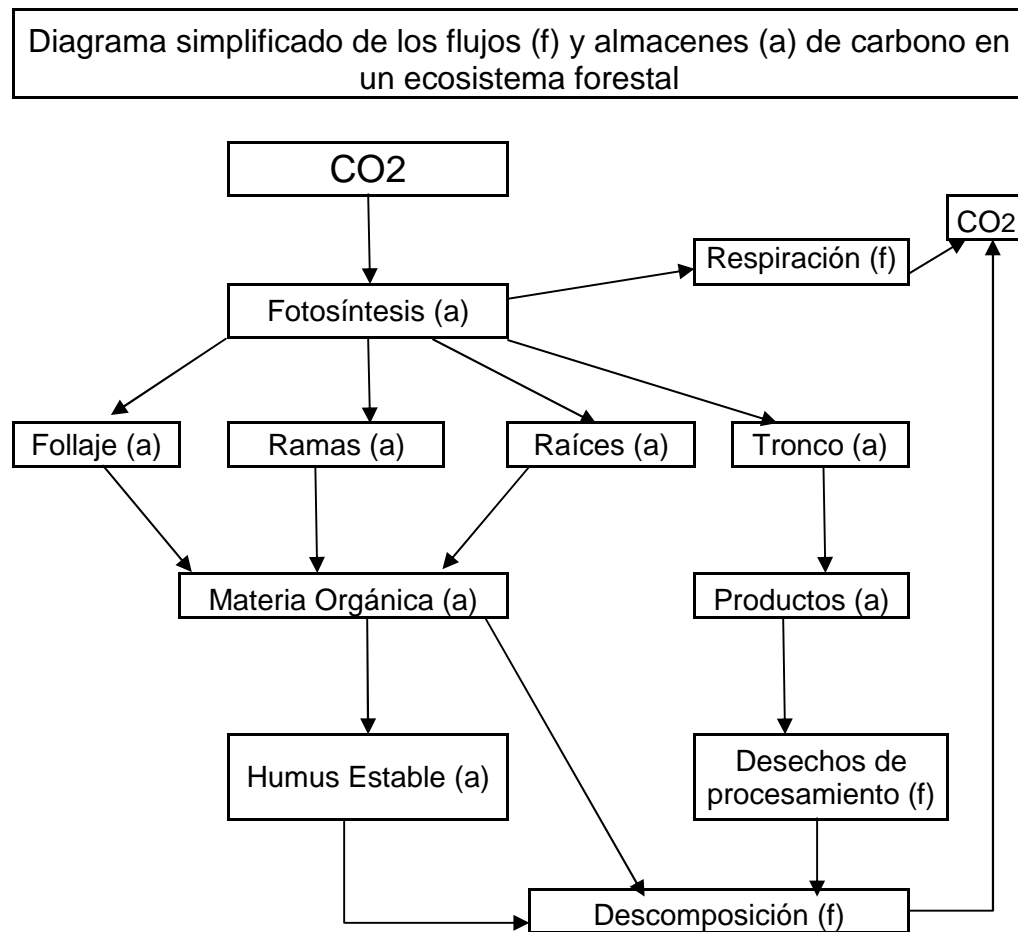
<sup>11</sup> FRAGOSO L. Estimación del contenido y captura de carbono e biomasa aérea del predio "Cerro Grande" municipio de Tancítaro Michoacán México. Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan Michoacán. 2003. p. 3.

### 1.2.1 Carbono en las plantas

Se representa por los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, el tallo, los desechos, los productos y el humus, que se reincorporaran al ciclo por descomposición y/o quema de biomasa forestal (Figura 1).

Una parte del carbono fijado es transformado en biomasa y la otra parte es liberada a la atmósfera por medio de la respiración. Los bosques del mundo absorben 110 Gt C año, mientras que mediante la respiración emiten 55 Gt C año y por medio de la descomposición emiten de 54 a 55 Gt C año<sup>12</sup>.

**Figura 1** Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal



**Fuente:** Ordoñez, 1999; modificado por León, J. 2007

<sup>12</sup> ORDÓÑEZ, 1999 Op. Cit. p. 8.



### 1.3 ARREGLOS AGROFORESTALES COMO SUMIDEROS DE CARBONO

Un sistema agroforestal típico crea una interacción sinérgica entre los cultivos y los árboles para sostener la productividad, mientras que al mismo tiempo el carbono es secuestrado continuamente para la mitigación del clima. Los sistemas agroforestales tienen dos beneficios principales para conservar carbono<sup>13</sup>.

- Almacenaje directo de C a corto y mediano plazo (décadas y hasta siglos) en los árboles y en el suelo.
- Reducción indirecta de la emisión de los gases de efecto invernadero causada por la deforestación y la agricultura migratoria.

En los sistemas agroforestales, el secuestro de carbono es un proceso dinámico y se puede dividir en fases: cuando se establece muchos sistemas probablemente son fuentes de gases de efecto invernadero. Luego sigue una fase rápida de acumulación y período de maduración cuando el carbono es almacenado en los troncos, raíces y en el suelo y al final del período de rotación, cuando los árboles son cosechados y la tierra retornada al cultivo (sistemas secuenciales), parte del carbono será lanzado de nuevo a la atmósfera. Por lo tanto, un secuestro efectivo de carbono solo puede ser considerado si hay un balance positivo después de varias décadas al compararlas con una reserva de carbono inicial<sup>14</sup>.

Winjum *et al.* (1992)<sup>15</sup> estimaron que la reforestación, la agroforestería y la protección de bosques de 300 a 600 mil hectáreas en los trópicos podrían conservar y almacenar entre 36 - 71 Pg de carbono durante más de 50 años. Dixon (1995)<sup>16</sup> estima un rango similar, donde 500 - 800 ha bajo bosques o sistemas agroforestales manejados a través del mundo podrían potencialmente almacenar 0.5 - 1.5 Pg C ha<sup>-1</sup>. La cantidad de carbono fijado por árboles depende de las características de la especie, tasa de crecimiento y longevidad como también de las condiciones de sitio, localización, clima y rotación.

A continuación se presentan algunos sistemas agroforestales en donde se han estimado tasas de fijación de carbono desde 0,1 a 3,6 tC/ha/año (Tabla 2). Según

---

<sup>13</sup> SCHROEDER 1994, DIXON 1995, PANDEY 2002 citado por ROJAS, J. Secuestro y uso de agua en Sistemas Silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. Tesis MSc. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2005. p. 6.

<sup>14</sup> ALBRECHT Y KANDJI 2003, citado por ROJAS, J. *Ibíd.* p. 6.

<sup>15</sup> WINJUM, J. *et al.* 1992, citado por MUHAMMAD, I. y ANDRADE, M. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2003. p. 15

<sup>16</sup> DIXON. citado por MUHAMMAD, I. y ANDRADE, M. *Ibíd.* p. 15

(Segura, 1999; Cubero y Rojas, 1999) citados por Ávila (2000)<sup>17</sup> quienes afirman que el almacenamiento de CO<sub>2</sub> depende de la especie arbórea y densidad de siembra, la materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, factores climáticos y del manejo silvicultural al que se vea sometido.

**Tabla 1** Carbono superficial en forestería y agroforestería de Centro América.

Sistemas de especies forestales	Zonas de Vida	Árboles (n/ha)	Edad (años)	Almacenamiento de C (ton/ha)	Flujo de C (ton/ha/año)
<b>Sombra para café y cacao:</b>					
<i>Gliricidia sepium</i>	HP	330	30	51,6	1,7
<i>Cordia alliodora</i>	HP	278	10	24,9	2,5
<i>Mimosa scarabella</i>	HP	650	2	14,2	7,1
<b>Plantaciones – leña</b>					
<i>L. leucocephala</i>	SB	3800	5	28,9	5,8
<i>Eucalyptus saligna</i>	HP	1378	2,5	27,0	10,8
Árboles en Potreros					
<i>Alnus acuminata</i>	NB	35	30	25,0	0,8

**Fuente** (Kursten y Burschel, 1993)<sup>18</sup>.

#### 1.4 CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO EN BOSQUES NATURALES

Los inventarios forestales han sido punto de partida para los estudios de estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales. Los primeros trabajos en las regiones templadas acerca de la estimación de biomasa de árboles y bosques aparecieron al principio del siglo XX, sin embargo, para las regiones tropicales los trabajos son escasos y por ello la información para estimar la cantidad de biomasa es muy pobre<sup>19</sup>.

Según Whitmore (1975): “la biomasa de una comunidad de plantas se define como una masa seca total. Incluye follaje, ramas, troncos y raíces pero excluye la hojarasca caída y la materia orgánica en descomposición. Generalmente se hace

<sup>17</sup> SEGURA, 1999; CUBERO y ROJAS, 1999 citados por ÁVILA, G. *Ibid.* p. 12.

<sup>18</sup> KUERSTEN, E. y BURSCHEL, P. 1993. CO<sub>2</sub>-mitigation by agroforestry. *Water, Air and Soil Pollution* 70

<sup>19</sup> BROWN y LUGO 1982; citados por SEGURA, M. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en área el de conservación cordillera volcánica central, Costa Rica. Tesis de grado. MSc. CATIE. 1999. p 17.

la distinción entre biomasa aérea y biomasa subterránea, tanto en aspectos conceptuales como metodológicos<sup>20</sup>.

Los estudios de cálculos de biomasa de los ecosistemas forestales son esenciales para obtener un aproximado de la cantidad de carbono almacenado, ya que la relación de la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1<sup>21</sup>.

#### **1.4.1 Contenido de biomasa estimado a través de métodos directos ó indirectos.**

El primero es destructivo, consiste en medir las dimensiones básicas de un árbol, cortarlo y determinar la biomasa a través del peso directo de cada uno de sus componentes (raíces, fuste, ramas y follaje), a su vez la biomasa de ramas y raíces se puede subdividir en categorías diamétricas extrapolando los resultados a grandes áreas<sup>22</sup>.

El segundo método es utilizado cuando el árbol es de dimensiones muy grandes, que es lo usual en bosques naturales, se utilizan los métodos de cubicación y estimando el volumen de las trozas con las fórmulas de Smallian, Huber, entre otros; al final se suman estos volúmenes para obtener el volumen total del fuste o de las ramas gruesas. Se toman muestras de madera del componente del árbol (por ejemplo; fuste y/o ramas) y se pesan en el campo, luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir la gravedad específica verde y la gravedad específica seca<sup>23</sup>.

### **1.5 SISTEMAS AGROFORESTALES (SAF):**

Los sistemas agroforestales (SAF) son formas de uso y manejo de los recursos naturales en las cuales especies leñosas son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal<sup>24</sup>.

---

<sup>20</sup> WHITMORE, 1975, citado por ORREGO, S. et. al. Op. Cit., p 88.

<sup>21</sup> CIELSA. 1996 citado por SEGURA, M. Op. Cit. p 17.

<sup>22</sup> ORTIZ 1993; ARAUJO et al. 1999 citados por SEGURA, M. Ibid. p 17.

<sup>23</sup> ORTIZ. 1993 y SEGURA. 1997 citados por SEGURA, M. Ibid. p 18.

<sup>24</sup> SOMARRIBA, E. Sistemas agroforestales con cacao-plátano-laurel. En: Agroforestería en las Américas. No. 4, 1994; 22-24.

### **1.5.1 Cultivo en callejones y agricultura.**

El cultivo en callejón es un sistema de producción en el que los árboles y arbustos (preferiblemente leguminosas de rápido crecimiento) son establecidas en hileras, sobre la tierra arable con cultivos alimenticios en los callejones o a lo largo de la ladera para minimizar la erosión. Los árboles se cortan y se podan periódicamente durante la fase de cultivo para evitar el sombreado sobre los cultivos acompañantes. Se deja que los árboles crezcan libremente para cubrir la tierra donde no hay cultivos. Las podas de follaje y los tallos jóvenes son incorporados en el suelo como abono verde o usados como acolchados<sup>25</sup>.

El objetivo original de recuperar la fertilidad del suelo en tierras de temporal en los trópicos se logra con la tecnología del cultivo en callejón combinando árboles y cultivos de una manera sistemática, donde los árboles de enraizamiento profundo sirven como bombas para sacar los nutrientes de los horizontes inferiores al suelo. Así el cultivo y las fases de barbecho ocurren simultáneamente sobre la misma unidad de tierra que permite al agricultor cultivar la tierra por un mayor periodo<sup>26</sup>.

### **1.5.2 Árboles dispersos en pasturas.**

Esta tecnología agroforestal presenta arreglo temporal simultáneo. Son especies leñosas dispersas en pastos o leguminosas forrajeras rastreras; se presenta pastoreo directo o cortes periódicos. Los árboles y arbustos son trasplantados en arreglos diversos en pasturas o son ecosistemas manejados, donde animales pastorean permanentemente, en rotaciones o por temporadas, sujetos a condiciones climáticas o disponibilidad de pastos y material de ramoneo<sup>27</sup>.

Su función principal es aumentar la productividad del sistema al reducir el estrés calórico de las plantas y animales, mediante sombrero parcial de leñosas y generación de productos varios (forraje, frutos, madera, leña), además de pasto y animales. Las especies leñosas prestan también otros servicios como fijación de nitrógeno atmosférico y fósforo, mejoramiento de las condiciones de vida del suelo, diversificación del paisaje y refugio y alimento de avifauna<sup>28</sup>.

---

<sup>25</sup> KRISHNAMURTHY, L. y LEOS-RODRIGUEZ, J. Agroforestería en desarrollo educación, investigación y extensión. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 1994. p 43.

<sup>26</sup> KANG 1993 citado por KRISHNAMURTHY. L. *et. al.* Op. Cit. p. 101.

<sup>27</sup> OSPINA. A. Agroforestería: aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal. ACASOC. Cali. Colombia. 2006 p 61.

<sup>28</sup> *Ibid.* p. 61.

### 1.5.3 Sistemas agroforestales de cercas vivas y cortinas rompevientos.

Son hileras de árboles que se utilizan para delimitar propiedades o servir de protección para otros componentes u otros sistemas y se los considera como sistemas complementarios de los sistemas nombrados anteriormente.

### 1.5.4 Concepto de árboles y arbustos de uso múltiple.

Según Nair 1984, un árbol de usos múltiples en un contexto agroforestal es uno que provee múltiples productos de uso económico a partir del árbol mismo y al mismo tiempo puede combinarse bien, tanto económicamente como ecológicamente, con los otros componentes de ese sistema agroforestal partículas<sup>29</sup>.

El centro de agricultura tropical de investigación y enseñanza (CATIE) ha publicado una colección de guías silviculturales (serie de monografías) entre 1990 y 1995 sobre especies multipropósito consideradas de especial importancia para Latinoamérica, entre ellas se encuentra el *Alnus acuminata*, entre otros<sup>30</sup>.

## 1.6 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

### 1.6.1 Clasificación Taxonómica de *Aliso (Alnus jorullensis)*

Aliso (*Alnus jorullensis* H.B.K.)

División: Angiospermas.

Clase: Dicotiledóneas.

Orden: Fagales.

Familia: Betulaceae.

Género: *Alnus*.

Especie: *alno jorullensis* H.B.K.

**1.6.2 Origen y distribución Geográfica.** Es una especie originaria de Centro América, específicamente del norte de México. Según Cordero y Boshier (2003) citado por Globaltrees<sup>31</sup>, su distribución natural es desde México hasta el norte de

<sup>29</sup> NAIR. P. K citado por KRISHNAMURTHY. L. et. al. Ibid., p. 45.

<sup>30</sup> Ibid., p. 46.

<sup>31</sup> GLOBALTREES. Listado de las especies de lista roja final con sinónimos. [en línea]. Globaltrees, 2005 [citado, el 10 de abril de 2006]. Disponible en Internet: URL:<[www.globaltrees.org/download/anexos](http://www.globaltrees.org/download/anexos)>

Argentina, generalmente entre los 1200m y 3200m. CONIF<sup>32</sup> afirma que, en Colombia esta especie se encuentra naturalmente en bosques secos, húmedos y muy húmedos del bosque montano y montano bajo, con temperaturas entre 7° y 17°C, y en precipitaciones anuales entre 1000 y 2500mm y alta humedad relativa.

**1.6.3 Aspectos botánicos.** Es un árbol monoico de 6 - 15m de altura, 20 - 50cm de diámetro, de corteza lisa y gris claro en los individuos jóvenes, su follaje caduco constituido por hojas simples, alternas, o elípticas<sup>33</sup>. Las ramas son escasas, gruesas y extendidas, de hojas simples, en la misma rama se encuentran flores de los dos sexos, la flor masculina tiene forma de espiga y la femenina forma de piña. El fruto del aliso es pequeño y con forma de cono o piña, es verde oscuro a marrón en su madurez<sup>34</sup>.

**1.6.4 Propagación.** El aliso tiene una alta capacidad para reproducirse en forma natural, pero presenta problemas de sobrevivencia por falta de luz y humedad, su propagación se hace por semilla<sup>35</sup>, con alta viabilidad aunque pierden su poder germinativo rápidamente<sup>36</sup>, en semillero se siembran a 5mm de profundidad a 2 cm entre sí en líneas separadas de 10cm. Posteriormente se cubren con una muy delgada capa de paja y se riegan dos veces al día. El trasplante se efectúa cuando la plántula alcanza 20cm, es de rápido crecimiento y soporta sequía y suelos pobres<sup>37</sup>.

**1.6.5 Usos en agroforestería.** El tipo de arquitectura del árbol de aliso y su follaje son propicios para el cultivo asociado de especies como el lulo, siendo una alternativa adicional de ingresos a los reforestadores en los periodos improductivos de éstas<sup>38</sup>. El aliso, es un árbol multipropósito de gran interés agroforestal. Se le introduce en los potreros como beneficio indirecto para el pasto (fijación de nitrógeno). Se asocia con maíz y frijol, pastos, café, mora silvestre, helechos de exportación y se ha visto como sombra para ganado y en linderos de potreros.

---

<sup>32</sup>CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL CONIF. Latifoliadas zona alta. Bogotá, Colombia, 1996. p. 25

<sup>33</sup> TISONE, J. Ficha técnica: Aliso. [en línea]. Ecoviajes, San Miguel de Tucumán, Argentina, 2003 [citado, el 14 de abril de 2006]. Disponible en internet: URL:<<http://www.ecoviajes.freeservers.com/aliso.htm>>

<sup>34</sup> CONIF. Op. cit., p. 26.

<sup>35</sup> Ibid, p. 28

<sup>36</sup> TISONE, J. Op., cit.

<sup>37</sup> BARTHOLOMÄUS, A, et al. El manto de la tierra: flora de los Andes. guía de 150 especies de la flora andina. Bogotá, Colombia, 1998. p. 105.

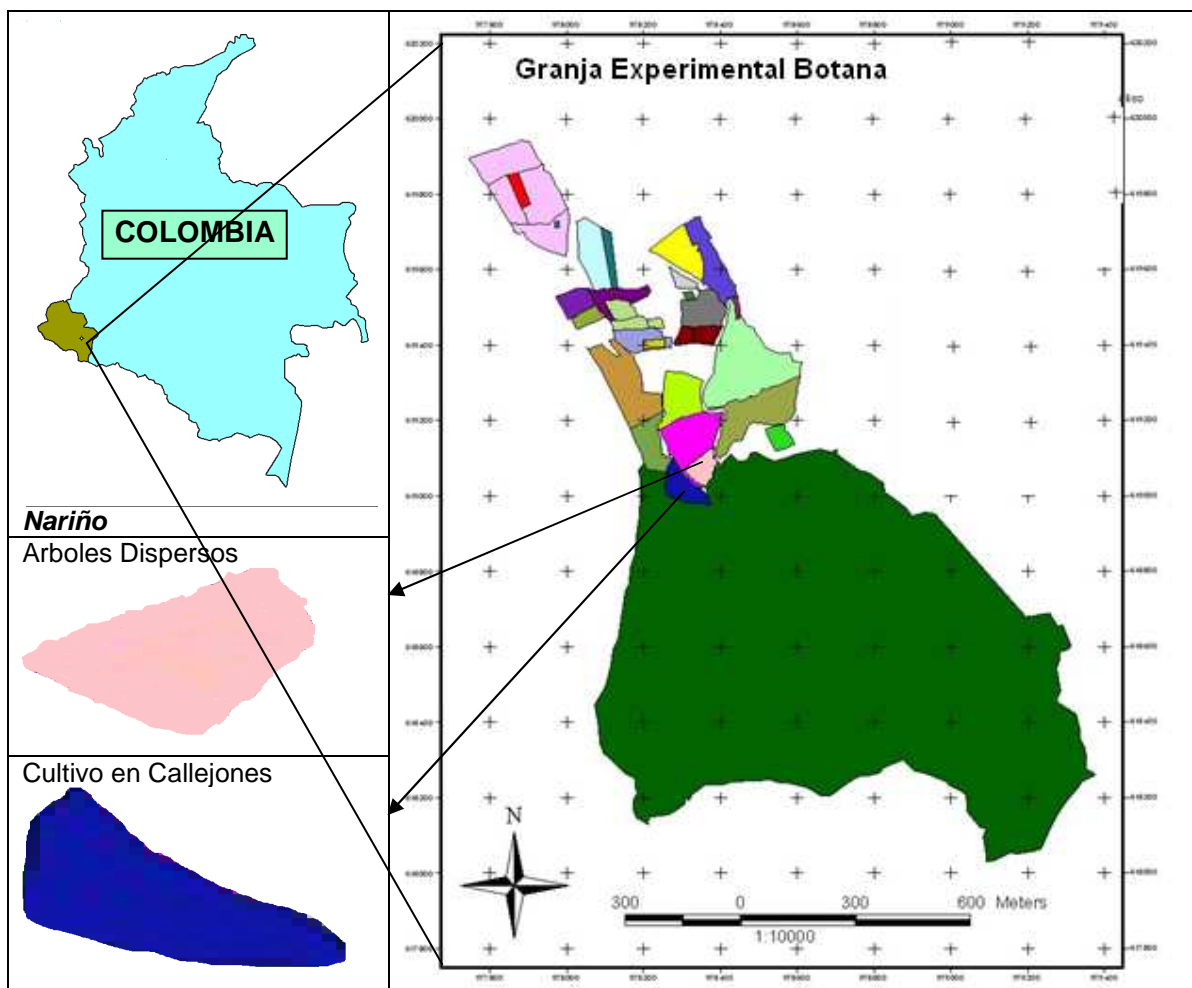
<sup>38</sup> Ibid., p.29.

## II. DISEÑO METODOLÓGICO

### 2.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo se realizó en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño, municipio de Pasto, localizada al occidente del meridiano de Greenwich a  $77^{\circ} 18' 58''$  de longitud oeste y  $1^{\circ} 10' 11,4''$  de latitud norte

**Figura 2** Localización de área de estudio. Granja experimental Botana 2007.



Fuente: esta investigación.

Se encuentra a una altura de 2820 m.s.n.m, temperatura promedio de  $12^{\circ}\text{C}$ , precipitación anual en un rango de 800 a 1000 mm, humedad relativa de 70 a 80

%, con 900 horas sol promedio al año<sup>39</sup>. Según Holdridge pertenece a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB)<sup>40</sup>.

Presenta suelos altamente degradados, con alto nivel freático, textura arcillosa, baja profundidad efectiva, con ph ligeramente ácido (5.6), baja solubilidad del fósforo y altos contenidos de calcio y magnesio. Por su textura es un suelo pesado, de baja permeabilidad de infiltración, alta capacidad de retención de agua y muy susceptible a la erosión<sup>41</sup>.

## 2.2 ÁREA EXPERIMENTAL

### 2.2.1 Arreglo Árboles dispersos (SSP).

Se encuentra a una altura de 2825 m.s.n.m; ocupa una área aproximada de 7190 m<sup>2</sup>, 7 años de establecimiento, compuesto por 52 árboles de aliso (*Alnus jorullensis*) dispersos, que se encuentran asociados con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y trébol blanco (*Trifolium repens L*) Anexo B.

### 2.2.2 Arreglo Cultivo en Callejones (CC).

El arreglo tiene una área de 4583 m<sup>2</sup>, 5 años de establecimiento, esta compuesto por 218 árboles de, aliso (*Alnus jorullensis*), Pichuelo (*Sena pistacifolia*), acacia (*Acacia sp*) y Colla (*Verbesina arborea*), de ellos 172 árboles corresponden a la especie *Alnus*, dispuestos en 8 franjas en dirección noroeste-sureste; las franjas están conformadas con líneas de 1, 2, y 3 árboles que corresponden a los tres tratamientos, entre las franjas se conforman 6 bloques con espaciamiento entre los callejones de cinco metros, las distancias de siembra de 1.8 m entre árboles en línea y 1.8 por 2 m en triángulo en las líneas dobles y de tres árboles (ver mapa de anexo a), los cuales se han asociado durante los últimos cinco años con Maíz (*Zea mays*), arveja (*Vicia sativum*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L*), haba (*Vicia faba*).

Para la recopilación de la información secundaria se realizó una revisión de documentos existentes en la Facultad de Ciencias Agrícolas, Tesis, documentos y registros de en la granja experimental, permitiendo así determinar las condiciones

---

<sup>39</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA Y METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Reporte técnico estación meteorológica Botana, Pasto. Nariño. IDEAM. 2000, p.11.

<sup>40</sup> HOLDRIDGE, L. Ecología Basada en Zonas de Vida. San José de Costa Rica: IICA, 1978. p.110.

<sup>41</sup> CRIOLLO, Y. y USAMA, M. Producción de biomasa con relación a 3 distancias de siembra de botón de oro (*Tithonia diversifolia*), en monocultivo y asociado con aliso (*Alnus jorullensis*). En la granja experimental de botana, Municipio de Pasto, departamento de Nariño. Tesis de grado. Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. Pasto. 2001. p 38.



climáticas y edáficas, los mapas de uso actual por segmentos, y para los arreglos agroforestales para este estudio permitió analizar la distribución espacial de los árboles de *A. jorullensis* para posteriormente realizar el inventario de los mismos y la toma de las muestras respectivas.

### **2.3 TAMAÑO DE LA MUESTRA**

Posterior a la fase de información secundaria se llevo a cabo el inventario de cada arreglo agroforestal (CC, SSP) teniendo en cuenta el número total de árboles, diámetro a la altura del pecho y altura total de *A. jorullensis*.

Para CC se encontró rangos desde 1.15 a 9.17 cm de DAP y para SSP de 3.02 a 20.05 de DAP, en donde se tomo en cuenta para este estudio los diámetros para generar los modelos alométricos. Se tomo nueve árboles para cada arreglo, para un total de 18 arboles, que comprendieron diámetros de 3.80, 4.44, 5.17, 5.33, 5.52, 6.03, 7.25, 7.94, 9.17 (para CC), y (para SSP) 3.82, 4.46, 5.19, 5.35, 5.54, 6.05, 7.26, 7.96 y 9.17 cm de DAP, que representaron un muestreo del 6,7% de la población total.

### **2.4 REGISTRO DE DATOS**

Con cada árbol seleccionado una vez apeado, se fracciono por componentes hojas (H), ramas (R) y fuste (F), y se registro el peso de cada uno de ellos, para tomar dos muestras de 500 grs para H, R, y para F se tomo 2 trozos de diferente espesor.

Cada muestra (total 12 muestras), se colocaron en bolsas plásticas previa a su codificación: aliso (A), para arreglo, silvopastoril (SSP) y cultivo en callejones (CC), para # de muestra (01 y 02) y para cada componente ramas (R), Hojas (H) y fuste (F) de tal manera que para la muestra uno del arreglo silvopastoril del componente hojas fue: A-SSP-H-1

## 2.5 DETERMINACIÓN DE BIOMASA POR MÉTODO DIRECTO

Para *A. jorullensis* se estimó la biomasa en peso fresco de los componentes H, R y F, de acuerdo a la metodología de Macdiken (1997).<sup>42</sup>

**Fuste:** se midió la longitud desde la base hasta el ápice con una cinta métrica, el fuste se cortó con un serrucho en trozas cilíndricas para facilitar la medida del peso (Figura 3)

**Figura 3** Corte de fuste de *A. jorullensis*, en el arreglo SSP



**Fuente** esta investigación

**Ramas:** se separaron del fuste con machete y se defolío el árbol manualmente dejando solo las ramas, las cuales se llevaron a la pesa para determinar su peso fresco en campo (Figura 4).

**Figura 4** Peso de ramas de *A. jorullensis* en arreglo de CC.



**Fuente** esta investigación

<sup>42</sup> MACDICKEN, K. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock Internacional Institute for Agricultural Development, Arlington. Virginia, USA: Winrock Internacional Institute for Agricultural Development, 1997. p. 20

**Hojas:** se defolio el árbol manualmente y se separaron cuidadosamente hojas de ramillas sin perder el material que pueda caerse o quedarse en las ramas; al momento de pesar no se encontraron flores y si se incluyeron algunos pequeños frutos al peso total de las hojas (Figura 5).

**Figura 5** Peso de hojas de *A.jorullensis*.



Fuente: esta investigación

## 2.6 ETAPA DE LABORATORIO

### 2.6.1 Determinación del peso seco:

Para determinar el peso seco de la biomasa producida en *A. jorullensis*, se llevaron las doce muestras comprendidas entre R,H,F, a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, donde fueron secadas en horno a 70 °C por 72 horas, hasta alcanzar un peso constante (Figura 6).

**Figura 6 a.** secado y **b.** peso de las muestras de *A.jorullensis* en laboratorio especializado de la Universidad de Nariño



Fuente esta investigación

Para determinar la biomasa seca de cada componente se utilizaron las ecuaciones propuestas por Segura y Kanninen (2002)<sup>43</sup>:

Ecuación. 1

$$\text{MS \%} = \text{PSH/PMF} * 100$$

Donde: %MS = Porcentaje de materia seca  
PSH = Peso seco al horno (g)  
PFM = Peso fresco de la muestra (g)

Ecuación. 2

$$\text{B} = \text{PTV/100} * \text{MS \%}$$

Donde: B= Biomasa (kg)  
PTV = Peso total verde del componente (kg)  
% MS = Porcentaje de materia seca

La sumatoria de todos los pesos secos de todos los componentes representa la biomasa total del árbol.

### **2.6.2 Contenido de C en la biomasa por el método de factor de conversión.**

Los resultados obtenidos de la biomasa seca fueron multiplicados por la fracción de carbono, asumiendo que un gramo de biomasa de peso seco es igual a 0.5 g de carbono.

De igual manera Segura 1999 citando normas establecidas por el IPCC (1996), para realizar estimaciones de contenido de carbono en diferentes escenarios naturales, recomiendan utilizar 0.5 como fracción de carbono en materia seca en caso de no existir datos disponibles.<sup>44</sup>

---

<sup>43</sup> SEGURA Y KANNINEN, 2002 citados por ROJAS. J. Op. Cit., p 10-11

<sup>44</sup> SEGURA, M. Op. Cit. p 18

## 2.7 COMPARACIÓN DE LA BIOMASA SECA AÉREA TOTAL

En cada resultado obtenido de la biomasa seca aérea (R, H y F), se realizó un análisis de varianza con la prueba de tukey al 95%. En donde cada arreglo se tomo como tratamiento, cada árbol como una unidad experimental, dividiendo cada análisis acorde a los componentes (R, H y F),cuyas variables formuladas se establecieron en la biomasa aérea seca total de cada arreglo (CC, SSP) permitiendo conocer la producción de biomasa total y su almacenamiento de carbono.

## 2.8 CONSTRUCCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA BIOMASA

Para proponer los modelos alométricos se baso en la construcción de gráficos de puntos entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes, en donde se requirió de un análisis de varianza, para escoger y ajustar los modelos con la aplicación de estadígrafos, así como lo reportan (Segura y Venegas).<sup>45</sup>, que permiten explicar el modelo.

Los estadígrafos utilizados para seleccionar y validar los modelos alométricos en esta investigación fueron: el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  -ajustado), el coeficiente de variación (CV%), la raíz del cuadrado medio del error o error estándar de estimación (RMSE)<sup>46</sup> por lo que se genero los modelos de regresión, utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS Plus 5.1, además se aplico la prueba de comparación de medias (prueba de T) para determinar si existen diferencias entre los valores predichos y los reales, recomendado por Moret y Ruiz<sup>47</sup>, con el fin de validar las ecuaciones.

---

<sup>45</sup> SEGURA, M. y VENEGAS, G. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1999. p. 5.

<sup>46</sup> ORREGO S. *et. al.* Op. cit., p. 106.

<sup>47</sup> MORET, A. y RUIZ P. Determinación de ecuaciones de volumen para Mureillo (*Erismia uncinatum*) en la unidad C4 de la Reserva Forestal Imataca, Bolívar. En: Revista Forestal Venezolana. Venezuela, Vol. 42, no. 2, 1998; p 187-197.

## 2.9 VALIDACIÓN DEL MODELO PROPUESTO POR FORERO. *et al.*, (2006)<sup>48</sup>

Para la validación del modelo propuesto por Forero, L. *et. al* (2006), se realizó una comparación de medias entre los valores reales observados en campo de los dos arreglos agroforestales, frente a los valores simulados con el modelo exponencial propuesto para cercas vivas, para lo cual se realizó una prueba de T que permitió establecer si existen diferencias significativas

Con los cálculos de biomasa total de los diferentes diámetros en cada arreglo agroforestal, se confrontaron con los datos obtenidos con el modelo alométrico de la función  $Y = \exp(7,18011 - 44,6446) / \text{DAP}$ .

---

<sup>48</sup> FORERO. L, *et. al.*, Op. Cit. p 93.

### III. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1 PRODUCCION DE BIOMASA AÉREA TOTAL (BAT) EN CC y SSP

En la Tabla 2. se presentan los datos recogidos en campo, los cuales fueron utilizados para determinar el contenido de biomasa, su evaluación mediante un análisis de varianza y su estimación por medio de la generación de modelos alométricos.

**Tabla 2** Mediciones en campo y producción de BAT de los arboles de *A. jorullensis* apeados en la granja de Botana, municipio de Pasto.

Datos en campo de cada componente de Aliso ( <i>Alnus jorullensis</i> )								
Nº lista	Arreglo	DAP (cm)	Altura (m)	Biomasa fresca en Kg			Biomasa fresca total (Kg)	Biomasa seca total (Kg)
				Hojas	Ramas	Fuste		
63	CC	3,80	2,38	1	1,25	1,92	4,17	2,21
163	CC	4,44	2,43	2,6	1,6	2,57	6,77	3,41
4	CC	5,17	2,40	2,6	3	4,46	10,06	5,29
94	CC	5,33	3,73	4,1	5,6	3,88	13,58	6,73
34	CC	5,52	3,87	3,2	2,9	3,51	9,61	4,86
56	CC	6,03	2,22	4	3,7	4,86	12,56	6,42
28	CC	7,25	2,24	5	5,25	4,13	14,38	7,07
29	CC	7,94	2,80	5,7	7,6	7,57	20,87	10,66
50	CC	9,17	3,92	9,57	8,45	5,37	23,39	11,15
Promedio		6,07	2,89	4,20	4,37	4,25	12,82	6,42
2	SSP	3,82	2,71	1,45	1,46	2,90	5,81	3,15
3	SSP	4,46	3,47	1,8	4,4	4,70	10,90	5,86
4	SSP	5,19	3,82	1	3	6,20	10,20	5,86
6	SSP	5,35	2,85	2	2,3	4,00	8,30	4,48
7	SSP	5,54	3,76	0,5	3,3	6,40	10,20	5,94
8	SSP	6,05	3,77	4	2	6,20	12,20	6,55
13	SSP	7,26	4,33	5,8	7,1	10,10	23,00	12,22
15	SSP	7,96	4,68	2,9	9,5	13,20	25,60	14,26
24	SSP	9,21	5,23	9,5	15,4	17,10	42,00	22,17
Promedio		6,09	3,85	3,22	5,38	7,87	16,47	8,94

**Fuente:** Esta investigación

Los datos presentados en la tabla 2 muestran, que el arreglo (SSP) presenta mejores promedios para altura, biomasa fresca de ramas (BF<sub>r</sub>) y fuste (BF<sub>f</sub>) y BAT de los arboles de *A. jorullensis*, esto debido a que, la edad del cultivo es mayor para (SSP), también a que la densidad de siembra influye sobre el desarrollo de la

especie, ya que a mayor distancia de siembra menor competencia por luz y nutrientes; y por último el desarrollo de los árboles se ve afectado por la realización de podas que se aplicaron al arreglo (CC), lo cual influyó también en una mejor producción de biomasa fresca de hojas (BF<sub>h</sub>) ya que promovió la capacidad de rebrote. Las diferencias de desarrollo de *A. jorullensis*, permite establecer que existe un comportamiento para cada arreglo y que este está determinado por las condiciones del sitio, su distanciamiento y el manejo que se ha realizado (podas de formación, labores culturales entre otras).

Añazco (1996) menciona que el crecimiento del *A. jorullensis* varía de un sitio a otro, dependiendo de algunos factores, entre ellos el clima y el suelo, y el tipo de plantación<sup>49</sup>. Así mismo Palencia y Martíni (1970)<sup>50</sup> afirman que en el desarrollo vegetal pueden influir factores como el clima, vegetación, relieve, material parental, edad del sistema imperante en la explotación de los suelos y algunas características físicas, químicas y biológicas (ver Tabla 3)

**Tabla 3** Comparación del Desarrollo de *A. acuminata* y *A. jorullensis* en diferentes sitios de Ecuador y Colombia.

Factor	Ecuador <i>A. acuminata</i>				Colombia <i>A. jorullensis</i>	
	Napo	Loja	Tungurahua	Cañar	Pasto (Botana)	Pasto (Botana)
Tipo de plantación	Plantación pura	Lindero con cultivos	Lindero de terrazas de banco	Silvopastoril en bloque	Cultivo en callejones	Árboles dispersos
Altitud m.s.n.m.	2200	2500	3180	2500	2820	2820
Precipitación (mm/año)	3000	750	450	800	900	900
Temperatura (°C)	13	12	10.5	15	12	12
Edad (años)	3	4	5	5	5	7
DAP promedio (cm)	5.4	14.3	8.5	10.1	6.07	6.09
Altura promedio (m)	4.6	7.3	3.3	5.5	2.8	3.8

**Fuente:** Añazco (1996) y esta investigación 2007.

<sup>49</sup> AÑAZCO, M. El Aliso (*Alnus acuminata*). Proyecto desarrollo forestal del campesino en los Andes del Ecuador. (DFC). 1996. p 94.

<sup>50</sup> PALENCIA y MARTÍNI (1970) citados por VILLANUEVA, C y IBRAHIM, M. Agroforestería en las Américas: evaluación del impacto de los sistemas silvopastoriles sobre la recuperación de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono en lecherías de altura en Costa Rica. Vol 9. N° 35-36. 2002.



En la anterior tabla se presentan diferentes datos de desarrollo para *A. acuminata* en estudios reportados por Añazco (1996)<sup>51</sup> en cuatro lugares del Ecuador con diferentes condiciones ambientales, edad de establecimiento y en diferentes arreglos, en donde se observan mejores desarrollos en cuanto a DAP y altura, por lo que se puede afirmar que en esta investigación las condiciones ambientales influyeron en el desarrollo fenológico de la especie. Esto debido a que en la zona de estudio se encontraron suelos pobres y sin ningún tratamiento de fertilización, lo cual se refleja en el bajo desarrollo de los arboles en los arreglos (CC y SSP) de la granja de Botana.

Por otra parte el hecho de tener plantaciones a diferentes distanciamientos, manejo, labores culturales, condiciones agroclimatológicas entre otras registran mejor comportamiento en general, tal como lo presenta en la comunidad de Loja Ecuador bajo un sistema de lindero con cultivo, en donde las labores culturales aplicadas a los cultivos favorecen el desarrollo de los arboles de *Alnus* (Tabla 3).

### 3.2 COMPORTAMIENTO DE LA BIOMASA SECA AÉREA DE *A. jorrullensis* POR COMPONENTES EN CC y SSP.

#### 3.2.1 Biomasa seca en fuste de *A. jorrullensis*.

En la Tabla 4. se presenta el análisis de varianza que indica que para la variable biomasa seca del fuste en *A. jorrullensis* se presentaron diferencias estadísticas entre la producción total de los dos arreglos, dado que p-valor (el valor calculado) es inferior al 0.05 (Tabla 4) se acepta una hipótesis nula a favor de una alternativa. Esto se debió a que los fustes de los árboles de *A. jorrullensis* en el arreglo (CC) han sido podados para incorporar biomasa al suelo, lo cual influye en la producción de biomasa. También el distanciamiento

**Tabla 4** Análisis de varianza biomasa en fuste de *A. jorrullensis*

Análisis de varianza para biomasa seca en fuste.					
F. V.	S.C.	G.L.	C.M.	F	p-valor
Arreglo	26,28	1	26,28	10,05	0,0132 *
Diámetro	53,61	8	6,7	2,56	0,1025 NS
Error	20,93	8	2,62		
R <sup>2</sup>	0,79				
C.V.	44,22				

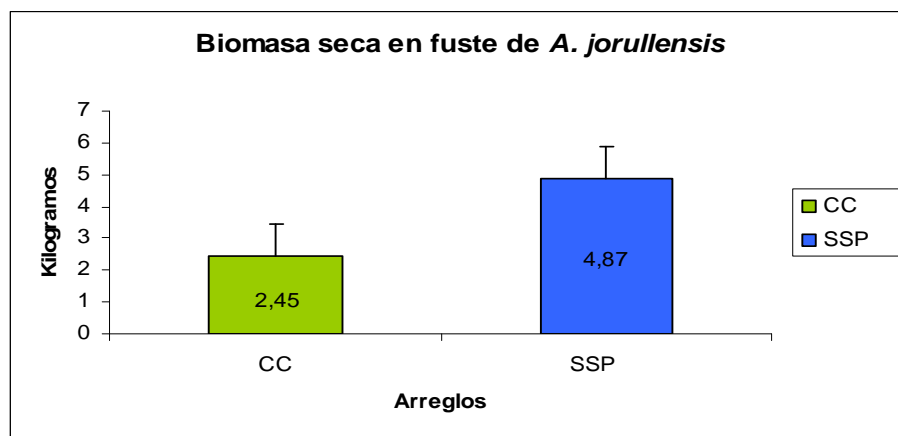
\*\*: Altamente significativo     
\*: Significativo.     
NS: no significativo

<sup>51</sup> AÑAZCO, M. Op. Cit., p 95.

En cuanto a la comparación de producción de biomasa seca en fuste por diámetros, el p-valor fue superior a 0.05 no encontrándose diferencias estadísticas entre los arreglos agroforestales con árboles de *A. jorullensis*. Lo cual se puede dar ya que el rango de diámetros no es tan grande para afectar el contenido de biomasa en cuanto al fuste para cada arreglo (Tabla 4).

La prueba de comparación de promedios por Tukey al 95,0% indica que los árboles dispersos de aliso presentaron mejor promedio de biomasa fresca con 4.87 kg respecto a 2.45 kg., presente en el arreglo cultivo en callejones (Figura 7)

**Figura 7** Grafica de producción de biomasa seca en fuste de aliso *A. jorullensis* en los arreglos (CC y SSP)



Fuente: Esta investigación

Villanueva e Ibrahim (2002)<sup>52</sup>, reportaron mejor producción de biomasa en tallos de *A. acuminata* en un SSP de 1,1 Ton/Ha, de una densidad de siembra de 711 arboles ha y 2 años de edad, esto puede ser debido a las diferentes condiciones climáticas de la zona la cual presenta una temperatura promedio de 17°C y una precipitación hasta de 3400 mm, ya que estos factores influyen en el desarrollo de esta especie.

### 3.2.2. Biomasa seca en hojas de *A. jorullensis*.

El análisis de varianza indica que el contenido de biomasa seca en el componente hojas, no presentó diferencias estadísticas entre los arreglos árboles dispersos (SSP) y cultivo en callejones (CC) con un valor en  $p$  (0,0672). Esto se debió a que los árboles aliso son una especie dominante y de gran capacidad de rebrote como

<sup>52</sup> VILLANUEVA, C y IBRAHIM, M. Op. Cit. 73.

lo afirma Añazco 1996<sup>53</sup>, a pesar de que los árboles del cultivo en callejones fueron podados, esta práctica estimula la ramificación, de tal manera que encontramos hojas desde la base del fuste, equilibrando así el contenido de hojas encontradas en los arreglos (Tabla 5).

**Tabla 5** Análisis de varianza biomasa en hojas de *A. jorullensis*

Análisis de varianza para biomasa seca en Hojas.					
F. V.	S.C.	G.L.	C.M.	F	p-valor
Arreglo	0,63	1	0,63	4,48	0,0672 NS
Diámetro	15,93	8	1,99	14,19	0,0006 **
Error	1,12	8	0,14		
R2	0,94				
C.V.	26,13				

\*\* : Altamente significativo      \* : Significativo.      NS: no significativo

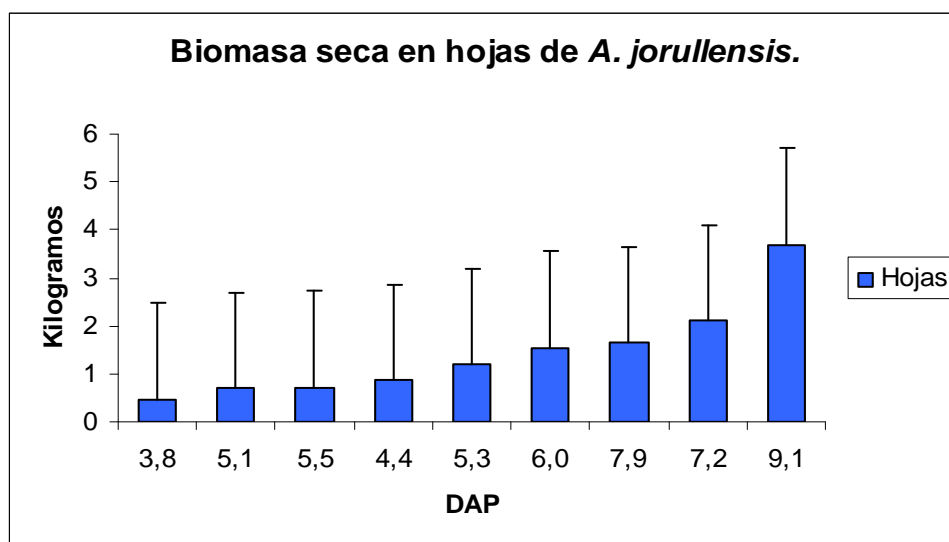
En cuanto a la producción de biomasa por diámetro se encontró diferencias significativas. La prueba de comparación de medias por Tukey indica que los árboles de aliso presentaron mejor promedio de biomasa con respecto a diámetro, conformando cuatro grupos de producción. Los árboles con DAP de 9.1 cm presentaron la mayor producción de biomasa (3.69 kg), seguido de los árboles con 7.2 cm de dap (2.09 kg), con respecto a los árboles de 3,8 cm de DAP, con menor promedio de producción y los árboles con 5.2, 5.5, 4.4, 5.3, 6.0, 7.2 y 7.9 conformaron otro grupo de producción de biomasa en el componente hojas. (Figura 8)

De acuerdo con los resultados anteriores, se observa que el diámetro influyo directamente en la cantidad de biomasa aportada para cada sistema. Orrego et al., (2003) afirma que los árboles cambian las proporciones relativas de sus componentes en la medida en que crecen sus tallos, cambiando así sus proporciones alométricas<sup>54</sup>.

<sup>53</sup> AÑAZCO, M. Op. Cit., p 96.

<sup>54</sup> ORREGO, M. et al. Op. Cit. p 112.

**Figura 8** Producción de biomasa seca en hojas de *A. jorullensis* en función al DAP, en los arreglos agroforestales cultivo en callejones y árboles dispersos.



Fuente: Esta investigación

### 3.2.3. Biomasa seca en ramas de *A. jorullensis*.

El análisis de varianza indica que la variable biomasa fresca en el componente ramas no presentó diferencia estadística en el (SSP) y cultivo en callejones (CC) con *A. jorullensis* ( $p$ -valor mayor de 0,05). Las medias presentaron similitud con 4,37 para cultivo en callejones frente a 5,38 para los árboles dispersos (Tabla 6).

**Tabla 6** Análisis de varianza biomasa en ramas de *A. jorullensis*.

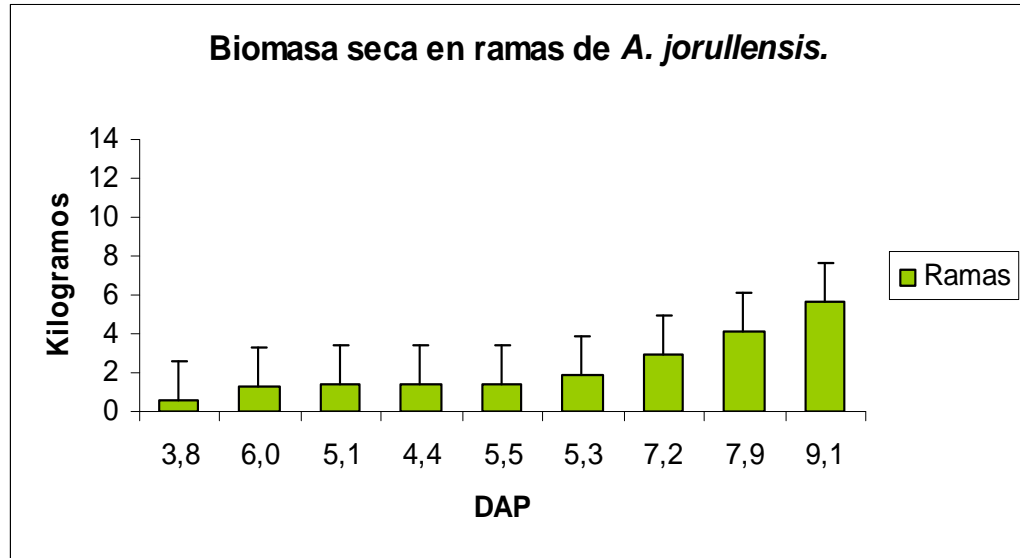
Análisis de varianza para biomasa seca en ramas.					
F. V.	S.C.	G.L.	C.M.	F	p-valor
Arreglo	1,1	1	1,1	1,14	0,3173 NS
Diámetro	41,79	8	5,22	5,4	0,014 *
Error	7,74	8	0,97		
R <sup>2</sup>	0,85				
C.V.	42,43				

\*\* : Altamente significativo      \* : Significativo.      NS: no significativo

En cuanto a la producción de biomasa en ramas por diámetro se encontró diferencia estadística significativa al 95,0%, encontrándose en tres grupos de producción. El primero corresponde a los diámetros 3,8, 6,0, 5,1, 4,4 y 5,5, el

segundo a los diámetros 5.3, 7.2, 7.9 y finalmente el tercer grupo de 9.1 cm de DAP, con diferencia significativa muy marcada entre el primer grupo y el ultimo; se puede afirmar también que el diámetro influye en la cantidad de biomasa aportada para cada sistema ver (Figura 9).

**Figura 9** Producción de biomasa seca en ramas de *A. jorullensis* en función al DAP, en los arreglos agroforestales árboles dispersos y cultivo en callejones.



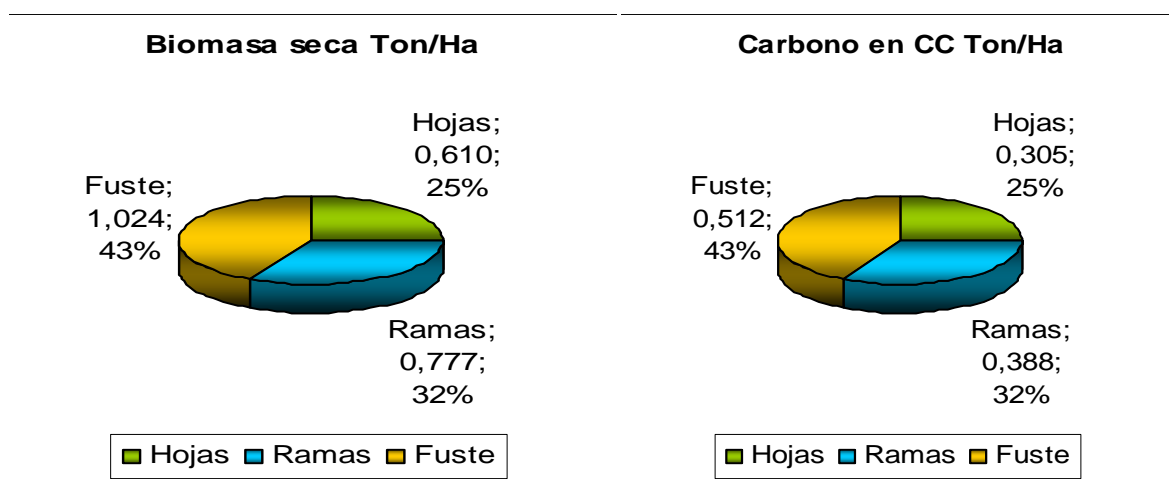
Fuente: Esta investigación

### 3.3 DETERMINACION DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO ALMACENADO DE *A. JORULLENSIS*

#### 3.3.1 Arreglo cultivo en callejones (CC)

En la siguiente figura se presenta la distribución de biomasa seca y carbono almacenado en los diferentes componentes para el arreglo (CC).

**Figura 10** Biomasa aérea y carbono almacenado de *A. jorullensis* en el arreglo cultivo en callejones (CC).



El fuste represento el mayor aporte de biomasa seca y carbono con 43% de la biomasa seca aérea total, siguiendo en orden las ramas (32%), y hojas (25%) para el aliso en cultivo en callejones. (Figura 10). Los anteriores resultados no siguen una distribución normal, debido a que la distribución de la biomasa en los diferentes componentes se vio afectada por podas que se realizaron al sistema

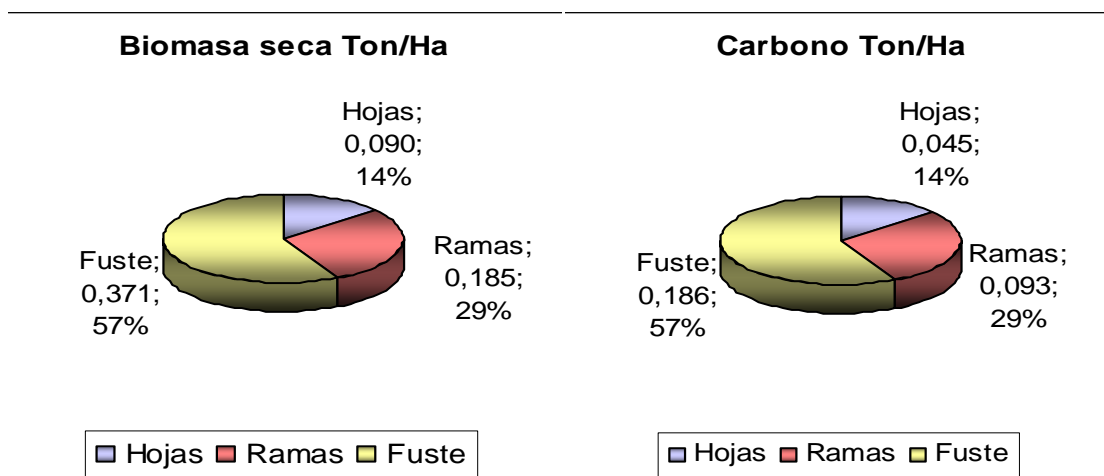
El contenido de biomasa aérea almacenada total en el arreglo cultivo en callejones de *A. jorullensis* fue de 2.41 ton/ha y el contenido de carbono almacenado total fue de 1.20 ton/ha (Figura 9); registros de Muñoz (2007), en un sistema agroforestal de Aliso *A. acuminata* y Retama *S. junceum*, reporto  $18.30 \pm 2.30$  Ton/ha de biomasa aérea total y  $9,15 \pm 1.15$  Ton/ha de carbono almacenado, superiores a este estudio<sup>55</sup>.

<sup>55</sup> MUÑOZ, H. Johanna. Cuantificación de carbono almacenado en dos sistemas agroforestales en la estación experimental Santa Catalina- INIAP, Ecuador. Tesis de grado. Ingeniería Agroforestal. Pasto. Universidad de Nariño. 2007. p 66. 98.

### 3.3.2 Arreglo árboles dispersos (SSP)

En la siguiente figura se presentan los resultados obtenidos en cuanto al comportamiento de la biomasa seca y el carbono almacenado en los diferentes componentes (hojas, ramas y fuste) del arreglo (SSP).

**Figura 11** Biomasa aérea y carbono almacenado de *A. jorullensis* en el arreglo árboles dispersos (SSP).



En la anterior figura se puede observar que el fuste representa el mayor aporte de biomasa seca y carbono con un 57% de la biomasa seca aérea total, siguiendo en orden las ramas (29%), y hojas (14%), los resultados encontrados para este arreglo concuerdan con una distribución normal de la biomasa en los componentes de acuerdo con lo reportado por Pedrasa (1989), quien afirma que el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, entre el 55 al 77% del total, luego las ramas, de 5 a 37% seguido por las hojas de 1 a 15% y finalmente la corteza entre 5 a 16%. La contribución de los diferentes componentes, en la biomasa total varía considerablemente dependiendo de la especie, edad, sitio y tratamiento silvicultural. Pedrasa (1989)<sup>56</sup>

El contenido de biomasa aérea almacenada total de *A. jorullensis* en el arreglo agroforestal árboles dispersos fue de 0,647 ton/ha, y contenido de carbono almacenado total de 0.323 ton/ha (Figura 11).

<sup>56</sup> PEDRASA, M. producción de biomasa y circulación de nutrientes en un rodal de *Nothofagus alessandrii* (Ruil) en la zona de Constitución. Tesis, Facultad de ciencias agrarias y forestales, escuela de Ciencias Forestales, Santiago. Universidad de Chile. 1989. p 122.

Canet (1986)<sup>57</sup>, reporta datos para un sistema silvopastoril de árboles dispersos con Aliso, a una densidad de siembra de 30 arboles ha<sup>-1</sup> y una edad de 35 años, el cual captura 25 ton C ha<sup>-1</sup> y tiene la capacidad de fijar 0,8 tC/ha/año.

### 3.4 MODELOS ALOMÉTRICOS.

#### 3.4.1 Modelos para estimar biomasa aérea total (BAT) en *Alnus jorullensis*.

La construcción de modelos de biomasa aérea se basó en la información de los diez y ocho árboles muestreados de los arreglos agroforestales cultivo en callejones y árboles dispersos en la granja experimental Botana.

#### 3.4.2 Modelo de predicción de (BAT) versus diámetro a la altura del pecho (DAP) en *A. jorullensis* en el arreglo cultivo en callejones.

Se tomó el modelo que presentó mejor correlación entre DAP y biomasa que fue de tipo exponencial, con un alto ajuste R<sup>2</sup> (0,93) y R<sup>2</sup> ajustado (0,92) (Tabla 7). De igual manera a los modelos se les aplicó análisis de varianza, en donde se observó que los coeficientes de regresión, resultaron altamente significativos al 99% de confianza ver (Anexo d)

**Tabla 7** Modelo de Biomasa aérea total en función del diámetro para *Alnus jorullensis*, en el arreglo cultivo en callejones

Modelo	a	b	R <sup>2</sup>	RMSE	PRESS
$Y = \exp(a + b/X)$	3,55091	- 10,1878	93,05	0,0210	0,1474

Y: Biomasa total (Kg.); a y b: Coeficientes de regresión; X: diámetro a la altura del pecho (1,30m) en cm; R<sup>2</sup>: Coeficiente de Determinación; RMSE: Raíz del cuadrado medio del error; PRESS: Suma de cuadrados del error.

El modelo que mejor predice la biomasa seca aérea total (BAT) fue el modelo exponencial S-curva, donde la variable dependiente (Y) es la biomasa seca aérea total y la variable independiente (X) es diámetro a la altura de pecho (DAP).

<sup>57</sup> CANET, B. Características del sistema silvopastoril jaul (*Alnus acuminata*) en lechería de altura en Costa Rica. En Simposio sobre técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de silvicultura intensiva. Costa Rica, 1986. p. 30

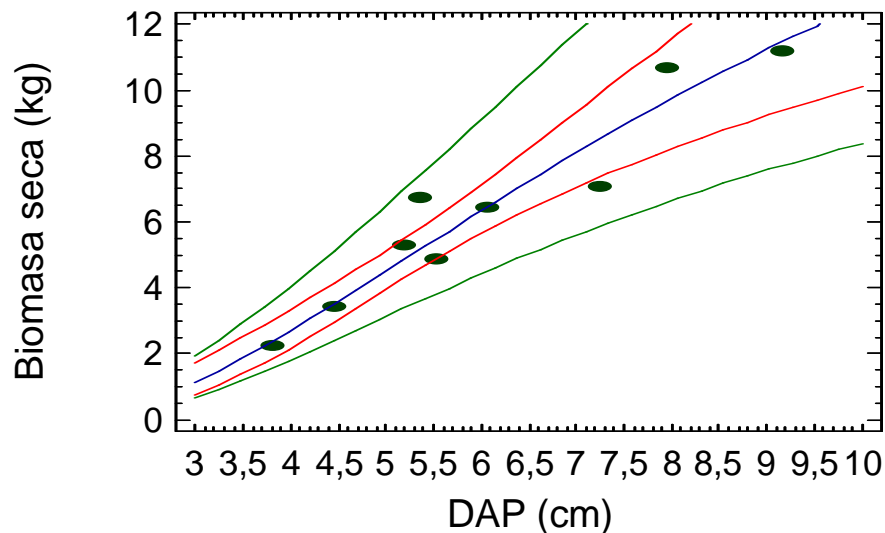


La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Biomasa seca aérea total (kg.) (BAT)} = \exp(3.55091 - 10.1878/\text{DAP})$$

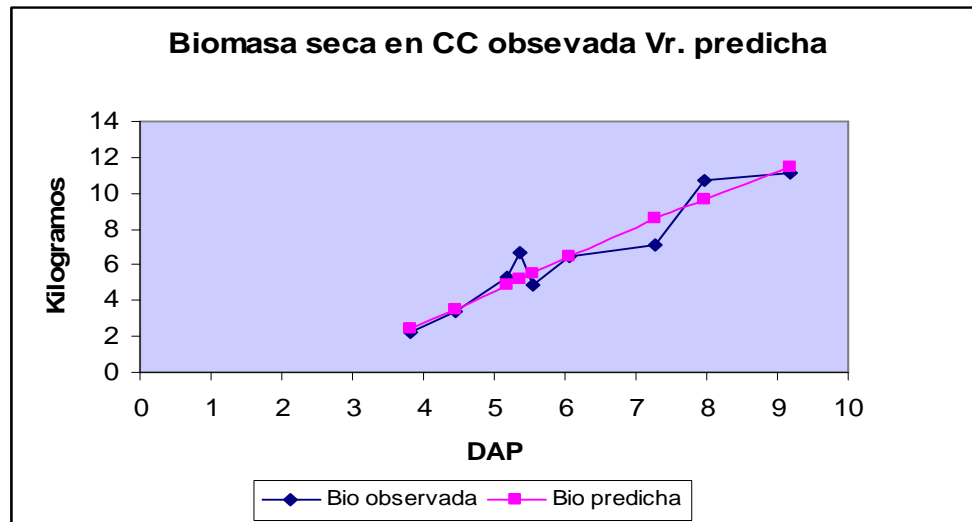
Dado que el p-valor en la tabla anova (Anexo d) fue inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre biomasa seca y DAP para un nivel de confianza del 99%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 93,0501% de la variabilidad en biomasa seca después de la transformación a escala logarítmica para linealizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a -0,964906, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. (Figura 12)

**Figura 12** Relación Biomasa aérea total (Bat) – diámetro a la altura del pecho (DAP) para *Alnus jorullensis* en el arreglo cultivo en callejones. Modelo de la forma  $Y = \exp(a + b/\text{DAP})$ .



Los valores de la raíz del cuadrado medio del error (*RMSE*) y la suma de cuadrados del error (*PRESS*) del modelo, reafirma la confiabilidad de las ecuaciones para predecir la biomasa seca aérea total con un bajo error de estimación. (Anexo d)

**Figura 13** Comparación de biomasa seca real observada versus predicha presente en *A. jorullensis* en el arreglo cultivo en callejones (CC)



En la anterior figura se presenta el ajuste del modelo, el cual no presentó heteroscedasticidad, la tendencia de los residuos fue normal como se ha presentado en otros trabajos; así lo muestra Orrego (2003)<sup>58</sup>, donde al graficar la nube de puntos, se observa la nula existencia de heterocedasticidad la cual se presenta en el incremento de la varianza con el aumento del diámetro.

### 3.4.3 Validación del modelo seleccionado.

En la validación del modelo se tomó en cuenta la comparación de las medias de los valores reales frente a las medias de los valores estimados, mediante una prueba de T, (anexo f), Dado que el intervalo contiene el valor 0.0, no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras para un nivel de confianza del 95,0%, la media de los datos reales fue 6.42, frente a 6.39 de los datos predichos, la varianza de datos reales fue 8.92, frente a 8.77 de los datos predichos, entre otros parámetro evaluados y que el modelo formulado no subestima ni sobrestima la biomasa aérea total de estos árboles en función del diámetro a la altura del pecho (DAP).

<sup>58</sup> ORREGO. S, *et. al.* Op cit., p. 90.

### 3.4.4 Estimaciones de biomasa aérea total y carbono almacenado para *A. jorullensis*, en el arreglo cultivo en callejones (CC).

Se estimó la biomasa aérea seca total por hectárea de 2.399 ton C/ha y el carbono contenido en *A. jorullensis* de 1.200 ton C/ha que comparados con los valores observados en campo confirman la confiabilidad del modelo.

En la siguiente tabla, se presentan las estimaciones para 10 categorías con diferentes clases diamétricas en un rango de 5 a 50 cm de DAP, que permite tener una predicción del carbono almacenado en dichos escenarios y acorde al tamaño del árbol, considerando que un promedio de biomasa seca aérea por árbol es de 21.42 kilogramos, y 10.71 kg/árbol, de carbono.

**Tabla 8** Valores estimados de biomasa aérea total (Kg) y Carbono almacenado (Kg/C/árbol) en función del DAP (cm) de *A. jorullensis* en el arreglo (CC)

DAP (cm)	Biomasa seca (kg/árbol)	Carbono almacenado (kg/árbol)
5	4,541	2,271
10	12,580	6,290
15	17,667	8,834
20	20,937	10,469
25	23,182	11,591
30	24,811	12,406
35	26,045	13,023
40	27,010	13,505
45	27,785	13,893
50	28,421	14,211
Promedio : 27,5	21,297	10,649

**Fuente:** este estudio.

### 3.4.5 Modelo de predicción biomasa aérea total versus DAP en el arreglo (SSP)

En la Tabla 9 se presenta el modelo generado para el arreglo (SSP), el cual presentó mejor correlación entre DAP y biomasa que fue de tipo exponencial, con un alto ajuste  $R^2$  (0,93) y  $R^2$  ajustado (0,92). De igual manera al modelo se le aplicó el análisis de varianza, y con los coeficientes de regresión, los cuales resultaron altamente significativos al 99% de confianza, lo cual demuestra la confiabilidad del modelo ver (Anexo e).

**Tabla 9** Modelo de Biomasa aérea total en función del DAP para *A. jorullensis*, en el arreglo (SSP).

Modelo	a	b	R2	RMSE	PRESS
$Y = (a + b \cdot X)^2$	- 0,34342	0,525503	93,37	0,0666	0,4665

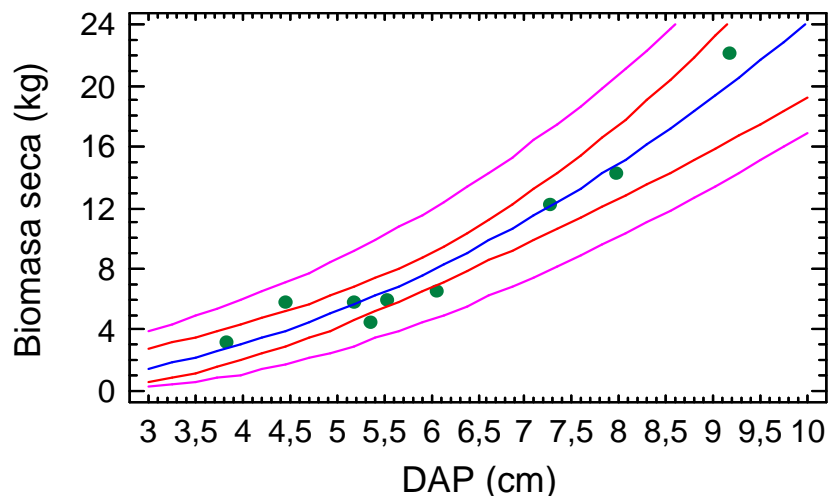
Y: Biomasa total (kg); **a y b**: Coeficientes de regresión; X: diámetro a la altura del pecho (1,30m) en cm; **R<sup>2</sup>**: Coeficiente de Determinación; **RMSE**: Raíz del cuadrado medio del error; **PRESS**: Suma de cuadrados del error

El modelo que mejor predice la biomasa seca aérea total, fue el modelo exponencial raíz cuadrada de Y, donde la variable dependiente (Y) es la biomasa seca aérea total y la variable independiente (X) es diámetro a la altura de pecho (DAP). La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Biomasa seca aérea total (kg.) (BAT)} = \exp(-0,34342 + 0,525503 \cdot \text{DAP cm})^2.$$

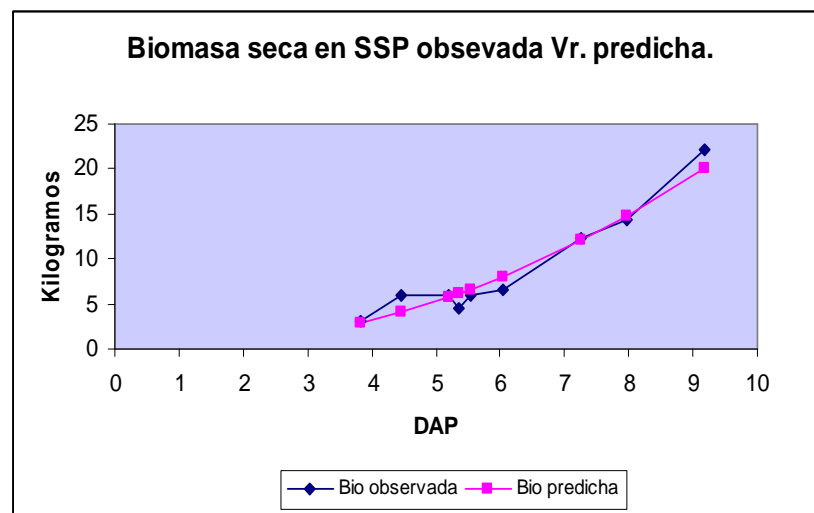
Dado que el p-valor en la tabla anova (Anexo e) fue inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre biomasa seca y diámetro para un nivel de confianza del 99%, lo cual se puede observar representado en la (Figura 13). El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 93,3784% de la variabilidad en Biomasa seca después de la transformación a escala raíz cuadrada para linealizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a 0,966325, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

**Figura 14** Relación Biomasa aérea total Vr (DAP) para *A. jorullensis* en el arreglo (SSP). Modelo de la forma  $Y = (a + b \cdot \text{DAP})^2$



En la siguiente figura se presenta la comparación de los valores reales frente a los estimados por el modelo y se puede observar que los valores reales se ajustan a la línea de tendencia del modelo.

**Figura 15.** Comparación de biomasa seca real observada versus predicha de *A. jorullensis* en el arreglo (SSP).



### 3.4.6 Validación del modelo seleccionado.

En la validación del modelo se tomó en cuenta la comparación de las medias de los valores reales frente a las medias de los valores estimados, mediante una prueba de T, (anexo h), El valor obtenido en esta prueba para la ecuación resultó ser no significativo (95,0%), es decir, que no se presentaron diferencias estadísticas entre las medias comparadas y el modelo seleccionado no subestima ni sobrestima la biomasa seca aérea total de estos árboles en función del diámetro a la altura de pecho, la media de los datos reales fue 8.94, frente a 8.89 de los datos predichos, la varianza de datos reales fue 37.64, frente a 31.72 de los datos predichos, entre otros parámetro evaluados

### 3.4.7 Estimaciones de biomasa aérea total y carbono almacenado para *A jorullensis*, en arreglo de árboles dispersos.

Se estimó la biomasa aérea total por hectárea la cual fue de 0.640 ton/ha y el carbono contenido en *A.jorullensis* de 0,320 ton/C/ha que comparados con los valores observados en campo confirman la confiabilidad del modelo.

En la tabla 10, se presentan las estimaciones para 10 categorías con diferentes clases diamétricas en un rango de 5 a 50cm de DAP, que permite tener una predicción de carbono almacenado en dichos escenarios y acorde al tamaño del árbol

**Tabla 10** Valores estimados de Biomasa aérea total (Kg) y Carbono almacenado (Kg/árbol) en función del DAP (cm) de *A. jorullensis* en el arreglo (SSP)

DAP (cm)	Biomasa seca (kg/árbol)	Carbono almacenado (kg/árbol)
5	5,217	2,609
10	24,123	12,062
15	56,838	28,419
20	103,36	51,68
25	163,69	81,845
30	237,82	118,91
35	325,77	162,89
40	427,52	213,76
45	543,08	271,54
50	672,45	336,23
Promedio : 27,5	255,99	127,99

Fuente: este estudio.

### 3.5 COMPARACIÓN DE MODELOS GENERADOS EN OTROS ESTUDIOS PARA *Alnus sp.*

Se compararon modelos para estimar biomasa aérea del genero *Alnus sp* reportados en otras investigaciones y las ecuaciones generadas en este estudio (Tabla 11).

Los modelos de Acosta et al 2002<sup>59</sup>, Joahnsson 1999 y Mikaelian 1997<sup>60</sup> citados por Muñoz y Muñoz J, 2007 presentaron un buen coeficiente de determinación ( $R^2$ ), sin embargo algunos de estos modelos fueron generados con rangos de DAP superiores a los de este estudio, dando como resultado simulaciones muy variadas en *A. jorullensis*

<sup>59</sup> ACOSTA, M. et al. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oxaca- México. México DF: Agrociencia, 2002. 36: 735-736.

<sup>60</sup> JOAHNSSON 1999 y MIKAELIAN 1997 citados por MUÑOZ, H. Op. Cit. p 66.

La tabla 11 sugiere que en la aplicación de las ecuaciones generadas por otros autores, el modelo generado por Acosta et al (2002), tiene un buen comportamiento con los datos de vegetación presentada en este estudio, por que sigue una tendencia promedio de producción de los dos arreglos agroforestales.

**Tabla 11** Comparación de modelos generados para *Alnus sp* por otros autores con este estudio.

Autor	Modelo	Especie	R <sup>2</sup>	Rango DAP
Acosta, et al. 2002	$\text{Ln Bt} = -2.14 + 2.23 * \text{Ln DAP}$	<i>A. glabrata</i>	0.97	3,9–23
Johansson 1999	$\text{Ln Bt} = \text{Ln } 0.1086 + 2.337 * \text{Ln DAP}$	<i>A. incana</i>	0.90	0 – 36
Muñoz, J. 2007	$\text{Bt} = 9.02 + 0,024 * \text{DAP}^2 * \text{H}$	<i>A. acuminata</i>	0.78	9 – 25
Ter-Mikaelian1997	$\text{Ln Bt} = \text{Ln } 0.2612 + 2.2087 * \text{Ln DAP}$	<i>A. rugosa</i>	0.90	3 – 9
CC - Este estudio	$\text{Bt} = \exp 3.53048 - 10.2771 / \text{DAP}$	<i>A. jorullensis</i>	0,93	3 – 10
SSP- Este estudio	$\text{Bt} = \exp -0,34342 + 0,525503 * \text{DAP}^2$	<i>A. jorullensis</i>	0,93	3 - 10

**Bt:** biomasa aérea total (kg/árbol) **DAP:** diámetro a la altura del pecho (cm). **H:** altura total (m). **R2:** coeficiente de determinación. (**Fuente** Esta investigación)

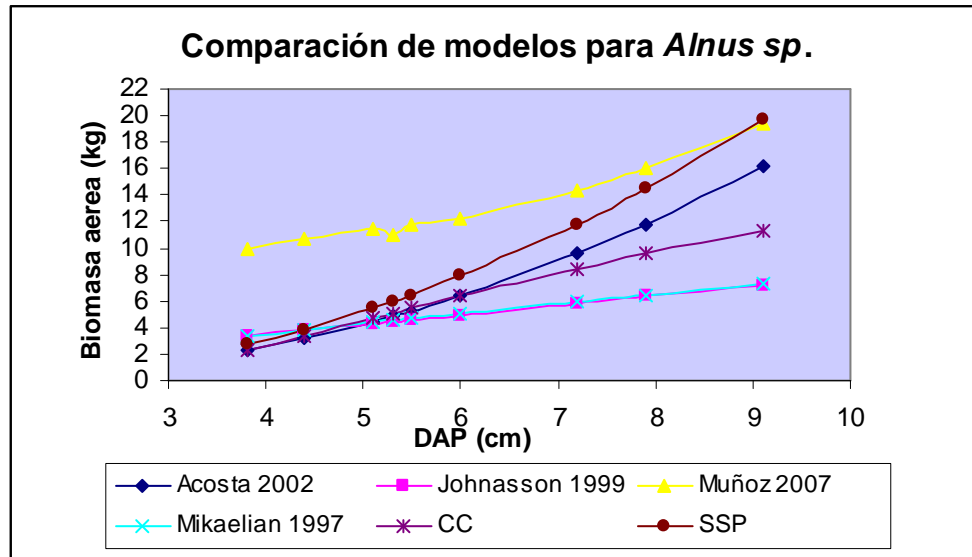
En la anterior tabla se observa que el modelo planteado por Muñoz (2007), sobreestima la población muestreada y los modelos de Johansson (1999) y Mikaelian (1997) la subestiman, esto se da debido a manejo de podas en el caso de los árboles en cultivo en callejones, posiblemente por la diferencia de densidades y el tipo de plantación en que fueron generados los modelos.

Orrego *et al.*, (2003), reportan que resultados de análisis de regresión de las ecuaciones de biomasa en árboles de los bosques primarios intervenidos sugieren que se obtienen mejores estimaciones de la biomasa total cuando se ajustan modelos por rangos de tamaño<sup>61</sup>.

En la Figura 16 se presentan las líneas de tendencia de los modelos generados en este y en otros estudios para diferentes especies de aliso.

<sup>61</sup> ORREGO; S. *et al.* Op. Cit. p 115

**Figura 16** Comparación de biomasa simulada de *A. jorullensis* en los arreglos (CC) y (SSP), con modelos propuestos para *Alnus Sp* por otros autores.



### 3.6 VALIDACIÓN DEL MODELO PROPUESTO POR FORERO. L. *et. al.* (2006)<sup>62</sup> PARA CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE *A. jorullensis* EN CERCAS VIVAS.

En la validación del modelo se tomó en cuenta la comparación de las medias de los valores reales observados en los dos arreglos agroforestales frente a las medias de los valores estimados por el modelo  $Y = \exp(7,18011 - 44,6446) / \text{DAP}$ , mediante una prueba de T (Anexo h e i), que permitió establecer que el intervalo no contiene el valor 0.0, existiendo así, diferencia estadística significativa entre las medias de la muestra del arreglo cultivo en callejones y los datos arrojados con la simulación del modelo, para un nivel de confianza del 95,0%.

La media de los datos reales fue 6.42, frente a 2.17 de los datos predichos, la varianza de datos reales fue 8.92, frente a 11,41 de los datos predichos.

De igual manera la prueba de T, entre la biomasa aérea seca del arreglo (SSP) y la biomasa simulada con el modelo alométrico  $Y = \exp(7,18011 - 44,6446) / \text{DAP}$ , presento diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%, la media de los datos reales fue 8.94, frente a 2,17 de los datos predichos, la varianza de datos reales fue 37.64, frente a 11,41 de los datos predichos, entre otros parámetros evaluados.

<sup>62</sup> FORERO *et al.*, Op. Cit. p 94.



La simulación con el modelo formulado, subestima la biomasa aérea total de árboles de *A. jorullensis* en los dos arreglos. Esto se debió a que la ecuación fue construida para árboles con un rango diamétrico mayor de 11.50 a 23.40, con diferente densidad arbórea y manejo de podas en el cultivo en callejones. Brunig y Hughes *et al.* (1999)<sup>63</sup>, recomiendan que para este tipo de estudios se debe generar información mas acertada a las condiciones locales donde se obtiene la información.

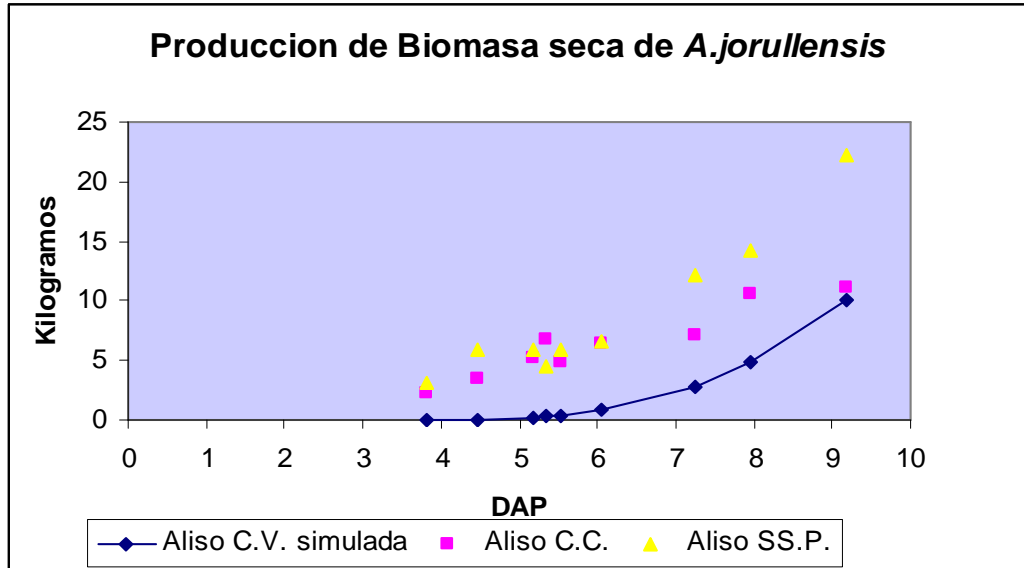
**Tabla 12** Producción de biomasa seca real de *A. jorullensis* en los arreglos SSP y CC, frente a la simulada con modelo propuesto por Forero *et al* (2006), para cercas vivas.

DAP	Producción simulada $Y=\exp(7,18011-44,6446/X)$	Producción observada en C.C. (kg)	Producción observada en S.S.P. (kg)
3,8	0,011	2,211	3,149
4,4	0,059	3,411	5,858
5,1	0,241	5,285	5,860
5,3	0,312	6,729	4,479
5,5	0,415	4,863	5,939
6,0	0,819	6,419	6,546
7,2	2,803	7,073	12,216
7,9	4,814	10,662	14,257
9,1	10,090	11,153	22,168

En la siguiente figura 17 se presentan los datos obtenidos en campo para los arreglos (CC y SSP), frente a lo estimado por el modelo con los mismos diámetros, en donde se observa que la línea de tendencia del modelo esta por debajo de los datos recogidos en campo, lo cual indica que el modelo subestima la biomasa real de *A. jorullensis* en los dos arreglos.

<sup>63</sup> BRUNIG Y HUGHES *et al.* (1999) citado por ORREGO, S. *et al.* Op Cit. p 115.

**Figura 17.** Producción de biomasa seca total de *A. Jorullensis* en cultivo en callejones y árboles dispersos versus producción predicha por modelo reportado por Forero *et al* (2006) para cercas vivas



## CONCLUSIONES

El arreglo cultivo en callejones (CC) presento mayor cantidad de biomasa seca aérea total con 2,4 ton/ha y carbono almacenado 1.20 ton C/ha en árboles de *A. jorullensis*, frente a 0,647 ton/ha de biomasa y carbono almacenado 0.323 ton C/ha en el arreglo árboles dispersos (SSP), por lo tanto el diseño de los arreglos (densidad y/o distancias de siembra) influye sobre la producción de biomasa y en el almacenamiento de carbono.

En cuanto a la distribución de biomasa, el componente fuste presentó el mejor contenido de biomasa seca con 57% para el arreglo (SSP), frente a 43% del arreglo (CC), por lo tanto se concluye que la mayor cantidad de biomasa se encuentra en el fuste y que la distribución de la biomasa en los componentes depende de la realización de labores culturales propias de cada arreglo en este caso “podas” realizadas en el arreglo (CC).

Para el arreglo cultivo en callejones, el modelo que mejor estimó la biomasa seca aérea total en la especie *A. jorullensis* a partir del DAP fue de tipo exponencial:  $Bt \text{ (kg.)} = \exp(3.56048 - 10.2771 / DAP)$ , presentando un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 93.01% y bajos errores de estimación.

Para el arreglo arboles dispersos, el modelo de la forma:  $Bt \text{ (kg.)} = \exp(-0,34342 + 0,525503 * DAP \text{ cm})^2$  fue el que mejor estimó la biomasa seca aérea total en la especie *A. jorullensis*, a partir del DAP, presentando un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 93.3748% y bajos errores de estimación.

El modelo  $Y = \exp(7,18011 - 44,6446/X)$  propuesto por Forero L *et. al.* (2006) para cercas vivas de *Alnus jorullensis*, subestima las cantidades de biomasa y por consiguiente de carbono almacenado en los arreglos agroforestales cultivo en callejones y árboles dispersos determinados en este estudio. Por lo cual se puede concluir que los modelos generados se deben utilizar para iguales condiciones agroecológicas de una zona y dentro de un mismo rango de datos en este caso (DAP)

El estudio permitió concluir que el (DAP) influye directamente en la cantidad de biomasa aportada para cada sistema y por su fácil medición en campo es la variable que mejor se relaciona con la producción de biomasa

## RECOMENDACIONES

Realizar otros estudios de secuestro de carbono en sistema de cultivo en callejón y silvopastoriles en otras regiones donde *A. jurullensis* reporten un mejor crecimiento.

Determinar la fracción de carbono en los compartimientos de la biomasa aérea con el fin de determinar con mayor exactitud la cantidad de carbono existente.

Desarrollar estudios para determinar el contenido de carbono en el componente necromasa y pasturas asociadas en el caso del arreglo silvopastoril, que representan cantidades importantes de carbono dentro de un sistema.

Utilizar los modelos generados en este estudio para la especie *A. jurullensis* en los arreglos agroforestales cultivo en callejones y árboles dispersos bajo condiciones agroecológicas similares a la zona de estudio. No se puede descartar a este modelo como punto de referencia para estimar la producción de biomasa seca y la cantidad de carbono almacenado en otros lugares donde se encuentre establecido este tipo de arreglos agroforestales, teniendo en cuenta que las estimaciones pueden ser más precisas si se acompañan con algunas mediciones en campo que corroboren su confiabilidad.

## BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, Hernán. J. E IBRAHIM, Muhammad. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? En: Agroforestería en las Américas. Turrialba, Vol. 10, No. 39-40, 2003; 109-116.

AÑAZCO, M. El Aliso (*Alnus acauminata*). Proyecto desarrollo forestal del campesino en los Andes del Ecuador. (DFC). 1996. 157. p.

AVILA V, G. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Catie. Turrialba Costa Rica. 2000. 99. p.

BARTHOLOMÄUS, Agnes, et al. El manto de la tierra: Flora de los Andes. Guía de 150 especies de la flora andina. Bogotá, Colombia, 1998. 105. p.

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO CORPONARIÑO. Informe trianual. 2005. 148. p.

CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL CONIF. Latifoliadas zona alta. Bogotá, Colombia, 1996. 145. p.

CRIOLLO, Y. y USAMA, M. Produccion de biomasa con relación a 3 distancias de siembra de botón de oro (*Tithonia diversifolia*), en monocultivo y asociado con aliso (*Alnus jorullensis*). En la granja experimental de botana, Municipio de Pasto, departamento de Nariño. Tesis de grado. Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. Pasto. 2001. p 156.

ERICKSON, J. El efecto invernadero: el desastre del mañana, hoy. Madrid: Mc Graw-Hill I/ Interamericana, 1992. 217 p

FORERO. L, LEONEL. Hugo y ORDOÑEZ. H. Proyecto Restauración y Protección de Agroecosistemas Estratégicos en la Captura de Carbono, en la cuenca alta del rio Pasto. Empopasto, Alcaldía de Pasto - Secretaria del Medio Ambiente y Vicerectoria de Postgrados e Investigaciones-VIPRI, Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. 2006. 117. p.

FORERO, L. Estimación del potencial de la captura de carbono por la *Acacia mangium* (*Racospema mangium ex Acacia mangium*), en diferentes densidades de siembra de un sistema silvopastoril. Cauca, Antioquia. 2003. Trabajo de grado (Maestría en ciencias agrarias). Universidad Nacional sede Medellín. 130. p.

FRAGOSO L. Estimación del contenido y captura de carbono e biomasa aérea del predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro Michoacán México. Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Uruapan Michoacán. 2003. p. 112.

GLOBALTREES. Listado de las especies de lista roja final con sinónimos. [en línea]. Globaltrees, 2005 [citado, el 10 de abril de 2006]. Disponible en Internet: URL:<[www.globaltrees.org/download/anexos](http://www.globaltrees.org/download/anexos)>

HERNANDEZ, J y MONTAÑEZ, A. Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero-cacao-plátano en la granja experimental de la Casa Luker. Trabajo de grado. Ingeniería forestal. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogota DC. 2002. 180 p.

HOLDRIDGE, L. Ecología Basada en Zonas de Vida. San José de Costa Rica: IICA, 1978. 110. p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Reporte técnico estación meteorológica Botana, Pasto. Nariño. IDEAM. 2000, 148. p.

JARAMILLO, R. Agricultura dinámica: una escuela agrícola de lo posible. Desarrollo e investigación natural del ambiente integrado a la cultura agrícola. Casa Gráfica, 2002. 99. p.

KANNINEN M. Secuestro de carbono en bosques, su papel en el ciclo global. En: Agroforestería para la producción animal en América Latina. [en línea] s.f. [Citado el Jueves, 26 de octubre de 2006] disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4435S/y4435s00>.

KRISHNAMURTHY, L y LEOS-RODRIGUEZ, Juan A. Agroforesteria en desarrollo educación, investigación y extensión. Universidad autónoma de Chapingo. México. 1994. 281. p

KUERSTEN, E. y BURSCHEL, P. 1993. CO2-mitigation by agroforestry. *Water, Air and Soil Pollution* 70.

LÓPEZ, A. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc, Turrialba., Catie. Costa Rica. 1998. 150. p.

MORA, Calvo V. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. CATIE. Turrialba Costa Rica. 2001. p. 92.

MACDICKEN, K. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock Internacional Institute for Agricultural Development, Arlington. Virginia, USA: Winrock Internacional Institute for Agricultural Development, 1997. 108. p.

MORET, A. y RUIZ P. Determinación de ecuaciones de volumen para Mureillo (*Erisma uncinatum*) en la unidad C4 de la Reserva Forestal Imataca, Bolívar. En: Revista Forestal Venezolana. Venezuela, Vol. 42, no. 2, 1998; p 187-197

MUÑOZ, H. Johanna, I. Cuantificación de carbono almacenado en dos sistemas agroforestales en la estación experimental Santa Catalina- INIAP, Ecuador. Tesis de grado. Ingeniería Agroforestal. Pasto. Universidad de Nariño. 2007. 98. p.

NAVIA E, J. Cultivo en callejones: una opción tecnológica para el manejo de suelos. En: memorias seminario internacional en agroforestería. San Juan de Pasto-Colombia. 1999. 160. p.

ORDOÑEZ, J. Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México DF: Instituto Nacional de Ecología, 1999. 120 p.

ORREGO S, DEL VALLE J I & MORENO, H. Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia. Bogotá: Panamericana formas e Impresos. S.A. 2002. 314. p.

OSPINA, A. Agroforestería: aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio de la agroforestería. Asociación del colectivo de agroecología del suroccidente Colombiano. ACASOC. Cali- Colombia. 2003. 205 p.

ROJAS, J. Secuestro de carbono y uso de agua en Sistemas Silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. Tesis ms. CATIE. Costa Rica. 2005. p 10-11

RUIZ Garcia Alfredo. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguas, Nicaragua. Catie. Turrialba Costa Rica. 2002. 106. p.

SAGE, L. F. Y SANCHEZ, O. Evolución esperada para el mercado de pago de servicios ambientales en Costa Rica. En: Revista forestal centroamericana. N°. 37,2002; 72 – 73

SALAZAR, M. Y ROSAS, W. Estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa de corredores biológicos ubicados en la zona de vida (bosque montano bajo) del municipio de Pasto. En: Trabajo en el sistema de investigación de la Universidad de Nariño. Pasto: UDENAR, 2003. 98. p

SEGURA, M. y VENEGAS, G. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1999. 110. p.

SOMARRIBA, E. Sistemas agroforestales con cacao-plátano-laurel. En: Agroforestería en las Américas. No. 4, 1994; 22-24.

TISONE, José Luís. Ficha técnica: Aliso. [en línea]. Ecoviajes, San Miguel de Tucumán, Argentina, 2003 [citado, el 14 de abril de 2006]. Disponible en Internet: URL:<<http://www.ecoviajes.freeservers.com/aliso.htm>>

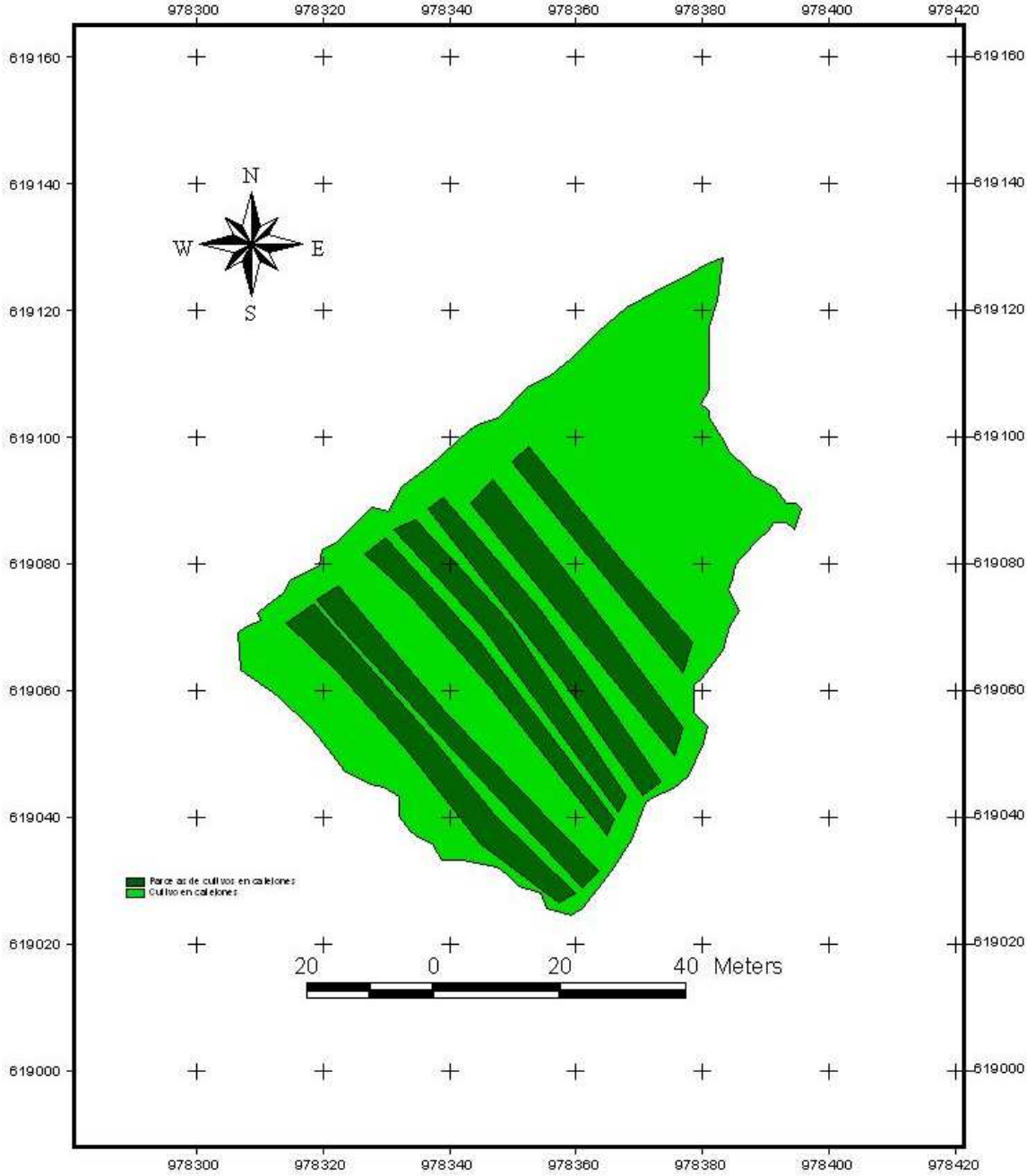
VILLANUEVA, C y IBRAHIM, M. Agroforesteria en las Américas: evaluación del impacto de los sistemas silvopastoriles sobre la recuperación de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono en lecherías de altura en Costa Rica. Vol 9. N° 35-36. 2002.

ZAPATA, M. *et. al.* Estimación de biomasa aérea en los bosques secundarios por el método de árbol medio. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 2003. 61. p.

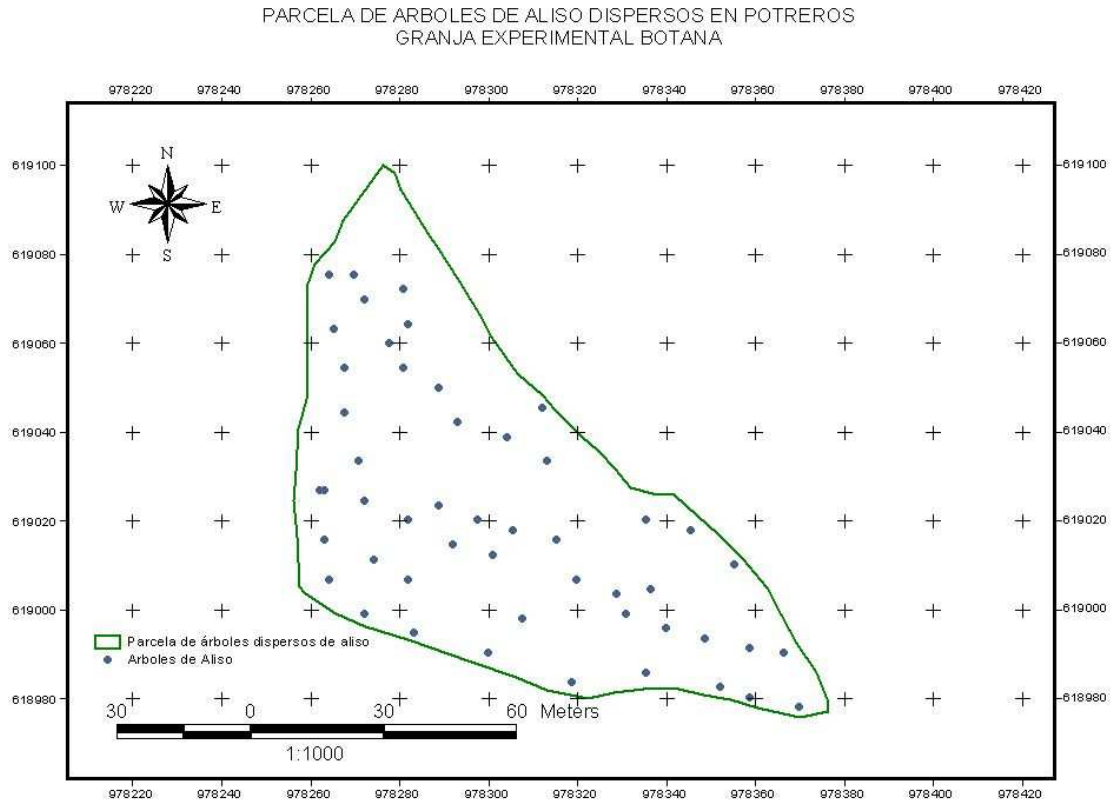


# **ANEXOS**

**Anexo a.** Mapa con cultivo en callejones y franjas de Aliso, Pichuelo, Colla y Acacia.



**Anexo b. Sistema silvopastoril árboles dispersos de aliso en potreros.**



**Anexo c.** Análisis de varianza por componentes fuste, hojas y ramas de la biomasa aérea fresca de Aliso *Alnus jorullensis*, en los arreglos agroforestales cultivo en callejones y árboles dispersos, en la granja Botana, de la Universidad de Nariño.

D:\ultima anava.IDB: 14/08/2007 - 11:43:20 p.m.

### Análisis de la varianza

Componente	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Fuste	Biom Sc	18	0,79	0,56	44,22

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	79,89	9	8,88	3,39	0,0498
ARREGLO	26,28	1	26,28	10,05	0,0132
DIAMETRO	53,61	8	6,70	2,56	0,1025
Error	20,93	8	2,62		
Total	100,81	17			

### Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=1,75807

Error: 2,6159 gl: 8

#### ARREGLO Medias n

CC	2,45	9	A
SSP	4,87	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

### Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=6,59542

Error: 2,6159 gl: 8

#### DIAMETRO Medias n

3,82	1,45	2	A
4,46	2,19	2	A
5,35	2,35	2	A
5,54	2,99	2	A
5,19	3,20	2	A
6,05	3,32	2	A
7,26	4,31	2	A
7,96	6,26	2	A
9,17	6,84	2	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

Componente	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Hojas	Biom Sc	18	0,94	0,87	26,13

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16,56	9	1,84	13,11	0,0007
ARREGLO	0,63	1	0,63	4,48	0,0672
DIAMETRO	15,93	8	1,99	14,19	0,0006
Error	1,12	8	0,14		
Total	17,68	17			

**Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=0,40726**

Error: 0,1404 gl: 8

ARREGLO Medias n

SSP 1,25 9 A

CC 1,62 9 A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)*

**Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=1,52782**

Error: 0,1404 gl: 8

DIAMETRO Medias n

3,82 0,47 2 A

5,19 0,70 2 A B

5,54 0,72 2 A B

4,46 0,85 2 A B

5,35 1,18 2 A B

6,05 1,55 2 A B

7,96 1,66 2 A B

7,26 2,09 2 B

9,17 3,69 2 C

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)*

Componente	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ramas	Biom Sc	18	0,85	0,68	42,43

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	42,89	9	4,77	4,93	0,0174
ARREGLO	1,10	1	1,10	1,14	0,3173
DIAMETRO	41,79	8	5,22	5,40	0,0140
Error	7,74	8	0,97		
Total	50,63	17			

**Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=1,06892**

Error: 0,9670 gl: 8

**ARREGLO Medias n**

CC 2,07 9 A

SSP 2,57 9 A

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)*

**Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=4,01005**

Error: 0,9670 gl: 8

**DIAMETRO Medias n**

3,82 0,64 2 A

6,05 1,35 2 A

5,19 1,43 2 A

4,46 1,43 2 A

5,54 1,47 2 A

5,35 1,87 2 A B

7,26 2,93 2 A B

7,96 4,07 2 A B

9,17 5,67 2 B

*Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)*

**Anexo d.** Anava biomasa aérea seca total Vs diámetro a la altura del pecho, en el arreglo cultivo en callejones.

Análisis de Regresión - Modelo Curva-S:  $Y = \exp(a + b/X)$

Variable dependiente: Biomasa seca

Variable independiente: DAP

Parámetro	Estimación Estándar	Error	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	3,55091	0,192033	18,4911	0,0000
Pendiente	-10,1878	1,05235	-9,68094	0,0000

#### Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	1,97428	1	1,97428	93,72	0,0000
Residuo	0,147459	7	0,0210656		
Total (Corr.)	2,12119	8			

Coefficiente de Correlación = -0,964625

R-cuadrado = 93,0501 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 92,0572 porcentaje

Error estándar de est. = 0,14514

**Anexo e.** Anava biomasa aérea seca total Vs diámetro a la altura del pecho, en el arreglo silvopastoril árboles dispersos.

Análisis de Regresión – Modelo Raíz cuadrada de Y:  $Y = (a + b \cdot X)^2$

Variable dependiente: Biomasa seca  
Variable independiente: DAP

Parámetro	Estimación Estándar	Error	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	-0,34342	0,333347	-1,03022	0,3372
Pendiente	0,525503	0,0528911	9,93556	0,0000

#### Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	6,57899	1	6,57899	98,72	0,0000
Residuo	0,466526	7	0,0666461		
Total (Corr.)	7,04551	8			

Coeficiente de Correlación = 0,966325  
R-cuadrado = 93,3784 porcentaje  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 92,4325 porcentaje  
Error estándar de est. = 0,258159



**Anexo f.** Comparación de medias (prueba T) entre biomasa seca total real (Bstr) y biomasa seca total estimada (Bste) para *Alnus jorullensis*, en cultivo en callejones.

Árbol Nº	Biomasa seca total real (kg)	Biomasa seca total estimada (kg)
1	2,211	2,386
2	3,411	3,512
3	5,285	4,856
4	6,729	5,152
5	4,863	5,503
6	6,419	6,435
7	7,073	8,541
8	10,662	9,673
9	11,153	11,472

Comparación de medias:

95,0% intervalo de confianza para la media de Biomasa seca: 6,42289 +/- 2,29638

95,0% intervalo de confianza para la media de PREDICTED: 6,39242 +/- 2,27686

95,0% intervalos de confianza para la diferencia de medias:

Suponiendo varianzas iguales: 0,0304667 +/- 2,97283

Contrastes t de comparación de medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis alt.: media1 <> media2

Suponiendo varianzas iguales: t = 0,0217257 P-Valor = 0,982935

En este caso, el test se ha realizado para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 frente a la hipótesis alternativa en la que la diferencia no es igual 0,0. Puesto que el p-valor calculado no es inferior a 0,05, no podemos rechazar la hipótesis nula.

NOTA: estos resultados asumen la igualdad de varianzas en las dos muestras.

**Anexo g.** Comparación de medias (prueba T) entre biomasa seca total real (Bstr) y biomasa seca total estimada (Bste) para *Alnus jorullensis*, en el arreglo árboles dispersos.

Árbol Nº	Biomasa seca total real (kg)	Biomasa seca total estimada (kg)
1	3,149	3,416
2	5,858	4,260
3	5,860	5,480
4	4,479	5,791
5	5,939	6,184
6	6,546	7,373
7	12,216	11,194
8	14,257	14,252
9	22,168	21,636

Comparación de Medias:

95,0% intervalo de confianza para la media de Biomasa seca: 8,94133 +/- 4,71607  
 95,0% intervalo de confianza para la media de PREDICTED: 8,84278 +/- 4,53735  
 95,0% intervalos de confianza para la diferencia de medias:

Suponiendo varianzas iguales: 0,09855 +/- 6,01623

Contrastes t de comparación de medias

Hipótesis nula:  $media1 = media2$

Hipótesis alt.:  $media1 <> media2$

Suponiendo varianzas iguales:  $t = 0,0347256$  P-Valor = 0,972728

En este caso, el test se ha realizado para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 frente a la hipótesis alternativa en la que la diferencia no es igual 0,0. Puesto que el p-valor calculado no es inferior a 0,05, no podemos rechazar la hipótesis nula.

NOTA: estos resultados asumen la igualdad de varianzas en las dos muestras.

**Anexo h.** Comparación de medias (prueba T) entre biomasa seca total real (Bstr) en el arreglo cultivo en callejones y la biomasa seca total estimada (Bste), con el modelo alométrico  $Y = \exp(7,18011 - 44,6446) \div \text{DAP}$  para *Alnus jorullensis*.

Árbol N°	Biomasa seca total real (kg)	Biomasa seca total estimada (kg)
1	2,211	0,011
2	3,411	0,059
3	5,285	0,241
4	6,729	0,312
5	4,863	0,415
6	6,419	0,819
7	7,073	2,803
8	10,662	4,814
9	11,153	10,090

Comparación de Medias:

95,0% intervalo de confianza para la media de Biomasa CC: 6,42289 +/- 2,29638

95,0% intervalo de confianza para la media de Bio Simulada: 2,17378 +/- 2,59695

95,0% intervalos de confianza para la diferencia de medias:

Suponiendo varianzas iguales: 4,24911 +/- 3,18686 [1,06225,7,43597]

Contrastes t de comparación de medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis alt.: media1 <> media2

Suponiendo varianzas iguales: t = 2,82652 P-Valor = 0,0121571

En este caso, el test se ha realizado para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 frente a la hipótesis alternativa en la que la diferencia no es igual 0,0. Puesto que el p-valor calculado es inferior a 0,05, podemos rechazar la hipótesis nula en favor de la alternativa.

**Anexo i.** Comparación de medias (prueba T) entre biomasa seca total real (Bstr) en el arreglo silvopastoril árboles dispersos y la biomasa seca total estimada (Bste), con el modelo alométrico  $Y = \exp(7,18011 - 44,6446) / \text{DAP}$  para *Alnus jorullensis*.

Árbol Nº	Biomasa seca total real (kg)	Biomasa seca total estimada (kg)
1	3,149	0,011
2	5,858	0,059
3	5,860	0,241
4	4,479	0,312
5	5,939	0,415
6	6,546	0,819
7	12,216	2,803
8	14,257	4,814
9	22,168	10,090

#### Comparación de Medias

95,0% intervalo de confianza para la media de Biomasa SSP: 8,94133 +/- 4,71607  
 95,0% intervalo de confianza para la media de Bio Simulada: 2,17378 +/- 2,59695  
 95,0% intervalos de confianza para la diferencia de medias:

Suponiendo varianzas iguales: 6,76756 +/- 4,94933

#### Contrastes t de comparación de medias

Hipótesis nula:  $\text{media}_1 = \text{media}_2$

Hipótesis alt.:  $\text{media}_1 <> \text{media}_2$

Suponiendo varianzas iguales:  $t = 2,8987$  P-Valor = 0,0104692

En este caso, el test se ha realizado para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 frente a la hipótesis alternativa en la que la diferencia no es igual 0,0. Puesto que el p-valor calculado es inferior a 0,05, podemos rechazar la hipótesis nula en favor de la alternativa.

**Anexo j.** Diámetros de a los árboles de *A. jorullensis* en cultivo en callejones de la granja Botana.

**DAP DE ÁRBOLES DE ALISO (*Alnus jorullensis*) EN CULTIVO EN CALLEJONES**

Franja 1		Franja 2		Franja 3		Franja 4		Franja 5		Franja 6		Franja 7		Franja 8	
Nº	DAP	Nº	DAP	Nº	DAP	Nº	DAP	Nº	DAP	Nº	DAP	Nº	DAP	Nº	DAP
1	5,95	28	5,86	55	4,30	86	3,34	94	2,80	120	6,14	145	4,46	166	2,45
2	2,39	29	5,32	56	4,87	87	3,82	95	6,05	121	3,76	146	5,60	167	3,92
3	1,97	30	3,98	57	1,91	88	2,16	96	4,93	122	4,68	147	4,77	168	4,07
4	4,62	31	3,44	58	3,95	89	3,95	97	5,41	123	5,22	148	6,24	169	5,19
5	2,01	32	3,50	59	1,27	90	3,41	98	4,74	124	5,54	149	5,16	170	5,54
6	1,59	33	4,74	60	5,35	91	4,97	99	3,88	125	4,71	150	2,61	171	6,24
7	1,11	34	3,12	61	7,38	92	1,72	100	5,03	126	6,68	151	5,25	172	6,68
8	3,12	35	6,11	62	4,52	93	3,88	101	2,55	127	3,72	152	3,72	173	7,80
9	4,84	36	4,04	63	4,65			102	3,82	128	3,98	153	1,34		
10	1,69	37	5,73	64	3,31			103	6,43	129	5,41	154	1,53		
11	3,57	38	1,59	65	6,56			104	6,46	130	4,14	155	2,48		
12	4,62	39	3,50	66	4,20			105	2,48	131	4,07	156	2,96		
13	5,54	40	6,11	67	5,54			106	2,48	132	2,74	157	3,02		
14	3,12	41	4,07	68	6,56			107	5,09	133	4,74	158	3,50		
15	4,36	42	6,59	69	3,82			108	7,16	134	2,42	159	3,72		
16	5,03	43	3,88	70	4,90			109	6,46	135	1,27	160	3,98		
17	4,93	44	3,98	71	4,36			110	4,68	136	4,07	161	4,01		
18	5,16	45	3,37	72	5,98			111	6,81	137	4,27	162	5,32		
19	2,93	46	7,45	73	3,50			112	6,81	138	2,39	163	5,47		
20	6,78	47	5,57	74	7,64			113	3,82	139	1,37	164	7,26		
21	4,30	48	6,84	75	2,42			114	4,68	140	9,17	165	7,96		
22	3,18	49	2,55	76	1,40			115	2,36	141	7,64				
23	5,67	50	3,34	77	2,39			116	7,58	142	6,94				
24	3,31	51	4,65	78	3,34			117	6,46	143	1,46				
25	5,41	52	3,76	79	3,50			118	5,95	144	3,95				
26	7,32	53	5,47	80	2,61			119	1,69						
27	2,61	54	6,18	81	1,85										
			3,98	82	1,43										
			5,22	83	0,80										
				84	1,15										
				85	0,83										

**Anexo k.** diámetros de árboles dispersos de *A. jorullensis* en la granja Botana.

<b>DAP DE ÁRBOLES DE ALISO (<i>Alnus jorullensis</i>) DISPERSOS EN POTREROS</b>			
<b>Nº</b>	<b>DAP</b>	<b>Nº</b>	<b>DAP</b>
1	20,05	31	6,05
2	14,87	32	6,30
3	15,76	33	6,37
4	17,92	34	6,68
5	14,96	35	7,26
6	17,03	36	7,83
7	18,08	37	7,96
8	19,58	38	7,96
9	15,76	39	8,02
10	12,92	40	8,28
11	10,28	41	8,50
12	14,01	42	8,75
13	12,29	43	8,91
14	10,73	44	8,98
15	14,51	45	9,07
16	10,25	46	9,23
17	11,14	47	9,23
18	12,10	48	9,49
19	13,15	49	9,68
20	11,08	50	9,77
21	10,82	51	9,80
22	10,50		
23	3,02		
24	3,82		
25	4,46		
26	5,19		
27	5,22		
28	5,35		
29	5,54		
30	6,05		