



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**INSTITUTO DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES**

**“Determinación de la captura de carbono aéreo y la influencia del manejo en plantaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham., en Lasso, provincia de Cotopaxi, Ecuador”**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales**

**DIRECTOR:**

David Suárez Duque MSc.

**AUTOR:**

Autor: Ing. For. Marco Vinicio Meneses Arias

Ibarra – Ecuador

2017

## **APROBACION DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Grado, presentado por el Ingeniero Marco Vinicio Meneses Arias, para optar por el grado de Magíster en Gestión Sustentable de los Recursos Naturales, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación (pública o privada) y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a 29 días del mes de septiembre del 2017.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'David Suarez', with a stylized flourish at the end.

Blgo. David Suarez, Msc

C.C.: 1713034786

**Determinación de la captura de carbono aéreo y la influencia del manejo en plantaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham., en Lasso, provincia de Cotopaxi, Ecuador**

Por: Marco Vinicio Meneses Arias

Trabajo de Grado de Maestría aprobado en nombre de la Universidad Técnica del Norte, por el siguiente jurado, a 29 días del mes de septiembre del 2017



**PhD. Patricia Aguirre**



**MSc. José Guzman**



**MSc. Hugo Paredes**

## **DEDICATORIA**

A mis hijas Alexandra, Sandra y Evelyn que dieron el apoyo para seguir adelante, en forma incondicional desde el inicio de mis estudios de la maestría, a mi esposa que desinteresadamente me apoyo, a mis padres por el impulso que me brindaron y a mi nieto Sebastian.

## **AGRADECIMIENTO**

A las instituciones que aportaron para llevar a cabo esta investigación de manera muy especial a la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A. (ACOSA) y a la Universidad Técnica del Norte (UTN).

Agradecer aquellas personas que apoyaron para que la investigación se lleve a cabo, como Ing, Felipe Pazmiño, Ing. Mauricio Heredia que me apoyaron como parte de la empresa ACOSA, al Msc. David Suarez, tutor de este trabajo, por su ayuda y seguimiento al mismo, a los representantes del Jurado que emitieron sus sugerencias al texto y a todas las personas que me colaboraron, para que los trabajos de campo como laboratorio se lleve a cabo.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE POSTGRADO**

**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0400794665		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Meneses Arias Marco Vinicio		
DIRECCIÓN:	Urb. Jaime Hurtado Gonzales, manzana 8, casa 102, ciudad de Latacunga		
EMAIL:	<a href="mailto:vmeneses-forestal@hotmail.com">vmeneses-forestal@hotmail.com</a>		
TELÉFONO FIJO:	032253012	TELÉFONO MÓVIL:	0991957356

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	“Determinación de la captura de carbono aéreo y la influencia del manejo en plantaciones de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham, , en Lasso, provincia de Cotopaxi, Ecuador”
<b>AUTOR (ES):</b>	Meneses Arias Marco Vinicio
<b>FECHA:</b>	29/09/2017
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>POSTGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Magíster en Gestión Sustentable de los Recursos Naturales
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Msc. David Suarez

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

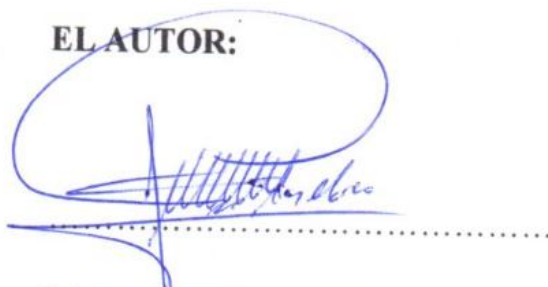
Yo, Marco Vinicio Meneses Arias, con cédula de ciudadanía Nro. 0400794665, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

### 3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de septiembre de 2017

**EL AUTOR:**



Marco Vinicio Meneses Arias

C.C.: 0400794665



## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Marco Vinicio Meneses Arias, con cédula de ciudadanía Nro.0400794665 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: “Determinación de la captura de carbono aéreo y la influencia del manejo en plantaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham., en Lasso, provincia de Cotopaxi, Ecuador”, que ha sido desarrollado para optar por el título de Magíster en Gestión Sustentable de los Recursos Naturales, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



Marco Vinicio Meneses Arias

0400794665

## ABREVIATURAS

AB	Área basal, a 1.3 m del suelo en metros cuadrados
Bt	Biomasa total
Bta	Biomasa total aérea
C	Carbono
CM	Cuadrado medio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Ct	Carbono total
Cta	Carbono total aéreo
DAP	Diámetro normal ó diámetro a la altura del pecho, a 1,30 m del suelo
<i>f</i>	Factor de forma
F	Valor estadístico calculado
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura
G.L.	Grados de libertad
ha	hectárea
IMA	Incremento medio anual
IPPC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IS	Índice de sitio
L	Altura del árbol en metros
m	metro
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
MDF	Tablero de densidad media o tablero de fibra
SC	Suma de cuadrados
V	Volumen del árbol en pie en metros cúbicos

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## RESUMEN

## SUMMARY

### I EL PROBLEMA

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.2.1	<i>Objetivo general</i> .....	2
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	2
1.3	HIPÓTESIS.....	3
1.4	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	3

### II MARCO TEÓRICO

2.1	CARBONO .....	5
2.2	BOSQUE Y CARBONO .....	5
2.3	CAPTURA DE CARBONO.....	6
2.4	BIOMASA Y CARBONO .....	6
2.5	PLANTACIONES FORESTALES .....	7
2.5.1	<i>Importancia de las plantaciones forestales</i> .....	8
2.5.2	<i>Mejoramiento de la productividad en las plantaciones forestales</i> .....	9
2.5.3	<i>Aclareos como actividad de Manejo Forestal y productividad de las plantaciones</i> .....	9
2.6	<i>PINUS PATULA</i> SCHL. ET CHAM .....	10
2.7	CUBICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES.....	11
2.7.1	<i>Cubicación del volumen del árbol entero</i> .....	11
2.7.2	<i>Formula de Smalian</i> .....	12
2.8	ÍNDICES DE SITIO .....	12
2.9	ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMACIÓN DE BIOMASA .....	12

2.10	MODELOS DE CRECIMIENTO Y VOLUMEN.....	13
------	---------------------------------------	----

### III METODOLOGÍA

3.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	14
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	16
3.3	MÉTODOS .....	18
3.3.1	<i>Determinación de la correlación Edad - DAP</i> .....	19
3.3.2	<i>Selección de árboles para determinación de biomasa y carbono por el proceso de muestreo destructivo.....</i>	19
3.3.3	<i>Cubicación de árboles, volumen, biomasa y carbono en el proceso de muestreo destructivo.....</i>	20
3.3.4	<i>Determinación de ecuaciones alométricas.....</i>	26
3.3.5	<i>Correlación de edad vs Cta en plantaciones.....</i>	27
3.3.6	<i>Análisis de la influencia del manejo en el secuestro de carbono.....</i>	27

### IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN EDAD Y CAPTURA DE CARBONO DE LAS PLANTACIONES DE <i>PINUS PATULA</i> . .....	28
4.1.1	<i>Correlación Edad – DAP de los árboles</i> .....	29
4.1.2	<i>Determinación de árboles tipo (20, 50 y 57) percentiles, para el proceso destructivo.....</i>	30
4.1.3	<i>Determinación y ajuste de ecuaciones alométricas en la estimación de biomasa y carbono.....</i>	31
4.1.4	<i>Determinación de biomasa y carbono capturado en las plantaciones de P. patula y su relación con la edad.....</i>	36
4.1.5	<i>Potencial de producción de carbono capturado en las plantaciones de P. patula y su relación con la edad y densidad.....</i>	38
4.2	INFLUENCIA DEL MANEJO DE RODALES EN EL SECUESTRO DE CARBONO EN PLANTACIONES DE <i>P. PATULA</i> . .....	40
4.3	MANEJO FORESTAL PARA MEJORAR EL SECUESTRO DE CARBONO EN PLANTACIONES DE <i>PINUS PATULA</i> .....	42

4.3.1	<i>Escenario actual de la actividad de raleo en el manejo P. patula</i>	42
4.3.2	<i>Acciones para mejorar el secuestro de carbono en plantaciones de P. patula</i>	43
4.4	COMPROBACIÓN DE LAS HIPÓTESIS	44
<b>V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
5.1	CONCLUSIONES	46
5.2	RECOMENDACIONES	47
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>		<b>49</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>54</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1</i>	<i>Detalle de superficie de las haciendas tomadas en cuenta en la investigación. ....</i>	<i>16</i>
<i>Cuadro 2</i>	<i>Diseño de muestra, toma de datos de parcelas permanentes de 500 m<sup>2</sup>. .</i>	<i>18</i>
<i>Cuadro 3</i>	<i>Ecuaciones alométricas usadas para evaluar componentes de biomasa aérea, en plantaciones de Pinus patula Schl. et Cham en Lasso, provincia de Cotopaxi, Ecuador (Gayoso &amp; Guerra, 2005). ....</i>	<i>26</i>
<i>Cuadro 4</i>	<i>Valores de variables estadísticas del DAP de la plantación de Pinus patula Schl. et Cham, para determinación de árboles tipo para selección del muestreo destructivo. ....</i>	<i>30</i>
<i>Cuadro 5</i>	<i>Tabla de datos de modelo alométrico de los árboles obtenido en el proceso destructivo para ajuste de ecuaciones. ....</i>	<i>32</i>
<i>Cuadro 6</i>	<i>Valor de los cuadrados mínimos en el ajuste de ecuaciones.....</i>	<i>34</i>
<i>Cuadro 7</i>	<i>Estadígrafos de regresiones de las ecuaciones alométricas ajustadas ....</i>	<i>35</i>
<i>Cuadro 8</i>	<i>Potencial de producción de carbono total aéreo en t ha<sup>-1</sup> en las plantaciones de P. patula según su edad y densidad.....</i>	<i>39</i>
<i>Cuadro 9</i>	<i>Valores observados de captura de carbono en rodales manejados y no manejados en plantaciones de P. patula a los 14 años de edad.....</i>	<i>40</i>
<i>Cuadro 10</i>	<i>Análisis de Varianza (ANOVA) de las plantaciones de P. patula para el análisis de la influencia de manejo.....</i>	<i>41</i>
<i>Cuadro 11</i>	<i>Prueba de comparación de medias de rango múltiple (DUNCAN) y Prueba de comparación de medias de Tukey, de producción de carbono en plantaciones de P. patula en rodales con manejo y sin manejo. ....</i>	<i>41</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Ubicación de área de estudio .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2 Plano de ubicación de las parcelas permanentes (PP) muestreadas .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3 Selección de árboles tipo para el método destructivo .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4 Tumba de árboles en el método destructivo.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 5 Desrame de árboles y separación de componentes en el método destructivo .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6 Cubicación del tronco y fuste.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7 Transporte de componentes hasta la báscula para su pesaje.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 8 Pesaje de componentes en la báscula.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9 Toma de muestras de componentes.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10 Codificación de muestras, codificación y empaquetado.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11 Pesaje de muestras en balanzas de precisión.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 12 Estufa de secado y secado de muestras .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 13 Dispersión de DAP de los árboles de las parcelas permanentes por edad y representación de las tendencias de las regresiones.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 14 Ajuste de las regresiones lineal; potencial; logarítmica y exponencial en la dispersión de DAP vs edad.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 15 Ubicación de los DAP percentiles de los árboles DAP en la distribución diamétrica por edad. ....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 16 Relaciones de Volumen del fuste, peso seco del fuste, peso seco del follaje y biomasa total aérea vs DAP, de los árboles del proceso destructivo. ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 17 Correlaciones de DAP y Biomasa total aérea; tendencia de ajuste de la ecuación alométrica con relación al DAP y valores predictivos de la ecuación alométrica seleccionada en los árboles según el DAP. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 18 Ajuste de la correlación Edad y Carbono total aéreo en Plantaciones de P. patula.....</i>	<i>38</i>

## RESUMEN

Una de las estrategias emitidas por el IPCC para mitigar el calentamiento global es la fijación de carbono como biomasa, Ecuador tiene pocos estudios que nos ayuden a determinar la capacidad de secuestro de carbono de las plantaciones del país. Con el objetivo de cuantificar el potencial de captura total de carbono aéreo en plantaciones de *Pinus patula* establecidas en el altiplano central del Ecuador y su relación con el manejo. Se realizó el proceso destructivo de 30 árboles sin deformidades distribuidos en las edades de 8 a 17 años y representados en los percentiles 25, 50 y 75 de la distribución diamétrica por edad. Se ajustaron 9 modelos de ecuaciones alométricas con la prueba de cuadrados mínimos y se determinó la relación edad y carbono en las plantaciones de *P. patula* por medio de mediciones de 30 parcelas permanentes que abarcaron 1914 árboles, parcelas permanentes establecidas en el patrimonio forestal de la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., cubriendo una superficie de 3812,47 ha como área donde se muestreo, plantaciones que se encuentran establecidas a una altitud que va desde los 3200 hasta los 3500 m. Se encontró una correlación de 0.68345 y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.4671 entre la edad de la plantación con el DAP de los árboles. Se encontró que existe una buena correlación entre el DAP y la biomasa total aérea de los árboles de 0.942 con un ( $R^2$ ) de 0.9013. Los resultados expresan que la ecuación alométrica que mejor se ajusto considerando al DAP como variable independiente ó predictora es:  $Y = 3.755 + 0.403 + 0.1812DAP^2$  considerando al DAP en cm, presentando un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.987. El carbono total aéreo de las plantaciones está distribuido en el 72.9% en el fuste y el 27.1% en el follaje (ramas, acículas y conos). La producción de carbono total aéreo en las plantaciones de 8 a 17 años de edad presentó un coeficiente de correlación de 0.773 y un coeficiente de determinación de 0.598. El potencial de producción promedio de las plantaciones de *P. patula* para la edad de entre los 8 a 17 años es de  $3.253 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de Cta. La densidad de la plantación directamente influencia la producción de carbono encontrándose en esta investigación una producción de  $83.952 \text{ t ha}^{-1}$  en una plantación de  $1360 \text{ árboles ha}^{-1}$  de 17.25 años de edad. El régimen adecuado de manejo en lo que respecta a raleos contribuirá a aumentar la captura de carbono.

**Palabras clave:** *Pinus patula*; biomasa; carbono; modelos alométricos



## SUMMARY

One of the strategies emitted by the IPCC to mitigate global warming is carbon fixation as biomass, Ecuador has few studies that help us determine the carbon sequestration capacity of the country's plantations. With the objective of quantifying the potential of total aerial carbon capture in plantations of *Pinus patula* established in the central highlands of Ecuador and its relationship with management. A destructive process of 30 trees without deformities in ages from 8 to 17 years in 25, 50 and 75 of the diameter distribution percentiles by age. Nine models of allometric equations were fitted with the minimum squares test and the relationship between age and carbon in plantations of *P. patula* was determined by means of measurements of 30 permanent plots covering 1914 trees. These permanent plots, were established in the forest plantations of "Aglomerados Cotopaxi", covering an area of 3812.47 hectares as sampling area. These plantations set at an altitude from 3200 to 3500 meters above sea level of range. We found a correlation of 0.68345 and a determination coefficient ( $R^2$ ) 0.4671 between the age of the plantation and the DBH of the trees. We found that there is a good correlation between DBH and total aerial biomass in trees with 0.942 and a  $R^2$  of 0.9013. The results indicate that the allometric equation best suited considering DBH as the independent or predictive variable is:  $Y = 3.755 + 0.403 + 0.1812 (DBH)^2$  whereas DBH in centimeter and presenting a coefficient of determination  $R^2$  de 0.987. Total aerial carbon of plantations is distributed in 72.9% in stem and 27.1% in the foliage (branches, needles and cones). The total aerial carbon production in plantations of pine from 8 to 17 years old presented a correlation coefficient of 0.773 and a coefficient of determination of 0,598. The potential of average production of plantations of *P. patula* in the range of 8 to 17 years old is 3.253 tons per hectare per year of total aerial carbon sequestration. The density of the plantation affects directly the production of carbon, finding a production of 83.952 tons per hectare with tree density of 1360 trees per hectare with an age of 17 years. Appropriate management regimes of thinning will contribute to increase or decrease the carbon sequestration.

Key words: *Pinus patula*; biomass; carbon; allometric models

## I EL PROBLEMA

El calentamiento global es causado por la concentración de gases de efecto invernadero, uno de estos gases es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Ante la preocupación por el constante aumento de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, se han establecido estrategias para capturar el carbono y así reducir su concentración. Una de las estrategias comprende la captura de CO<sub>2</sub> y fijación de carbono como biomasa por las plantas, que son las que lo utilizan en el proceso de la fotosíntesis (Díaz Franco et al., 2007); (Pimienta de la Torre et al., 2007). Así las plantaciones forestales no solo son establecidas para la producción de madera, sino que además están consideradas como sumideros de carbono como aporte a contrarrestar el cambio climático.

Varios informes emitidos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) consideran la captación y almacenamiento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por especies forestales como una de las opciones de mitigación para la estabilización de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (Penman, y otros, 2003). Ecuador se ha alineado con la mayoría de países para mitigar los efectos de de cambio climático, sus políticas han establecido Leyes Ambientales dirigidas a la protección ambiental. Es necesario conocer la dinámica del carbono en los ecosistemas forestales y las modificaciones derivadas de los patrones de cambio de uso del suelo (García Martínez, 2014).

En el país existen plantaciones de pino establecidas a lo largo de la región andina, el establecimiento de nuevas plantaciones tanto de manera particular como por empresas madereras y la actual tendencia de crecimiento de plantaciones forestales en el país dados por el apoyo gubernamental, mediante el programa de incentivos forestales con fines comerciales, tiene como propósito generar materia prima para el

abastecimiento de la industria maderera. Sumideros de carbono que no se han cuantificado o se han cuantificado poco el carbono que aporta y aportaría como servicio ambiental, en beneficio del problema mundial del calentamiento global.

## **1.1 Planteamiento del problema**

No se ha determinado en el país cómo mejorar el secuestro de carbono de las plantaciones de *Pinus patula*, ni la relación de carbono aéreo almacenado con el manejo. Tampoco existe una ecuación alométrica que determine la cantidad de carbono aéreo almacenado, en especial del sector de mayor concentración de plantaciones de esta especie en la sierra centro del país, sector de Lasso, provincia de Cotopaxi.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### ***1.2.1 Objetivo general***

Cuantificar el potencial de captura de Carbono total aéreo (Cta)<sup>1</sup> en las plantaciones de *P. patula* en la sierra centro del Ecuador y su relación con el manejo.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- Determinar la relación de edad y captura de carbono de plantaciones de *P. patula*.
- Analizar la influencia del manejo de rodales en el secuestro de carbono en plantaciones de *P. patula*.
- Proponer acciones para mejorar el secuestro de carbono en plantaciones de *P. patula*.

---

<sup>1</sup> Cantidad de carbono presente en los árboles sobre el nivel del suelo de los segmentos tronco principal y corteza, incluyendo hojas y ramas.

### **1.3 Hipótesis**

La cantidad total de carbono aéreo presente en las plantaciones de *P. patula*, está influenciado por la edad de la plantación.

El raleo como actividad de manejo influencia proporcionalmente en la cantidad total de carbono aéreo presente en las plantaciones de *P. patula*.

### **1.4 Justificación de la investigación**

Los árboles y plantaciones tienen volúmenes, densidades y tasas de carbono distintas, los crecimientos de árboles y plantaciones, están directamente relacionados con la especie, productividad del sitio y condiciones ambientales del lugar. Para el cálculo del balance del carbono, no se puede contemplar la medición de todos los parámetros necesarios para la evaluación del balance de cada sector ni cada vez que se requiera.

Es necesario establecer formas de cálculo de captura de carbono en plantaciones establecidas en el país realizando algunas simplificaciones, esto nos permitiría contar con herramientas de determinación de manera rápida, partiendo de parámetros básicos. Al determinar cuánto carbono capturado como tasa de fijación de CO<sub>2</sub>, permitirá valorar cual es el impacto de mitigación de gases de efecto invernadero como aporte al cambio climático, generando ecuaciones que determinen la producción de biomasa y carbono, permitirán evaluar la estructura y condición de una plantación, cuantificando su productividad (Méndez Gonzales et al., 2011).

Las ecuaciones para estimar biomasa y carbono son confiables con buenas correlaciones considerando al Diámetro a la altura del pecho (DAP) como variable independiente, esto en gran medida ayuda a contribuir en las implementaciones de métodos de cuantificación de carbono capturado en plantaciones forestales. Para

cuantificar la captura de carbono a nivel local, en especial la provincia de Cotopaxi, que es en una de las provincias de mayor concentración de plantaciones de pino del país y para proponer acciones de manejo para mejorar el secuestro de carbono, se realizó esta investigación. Esta información será de gran utilidad como aporte científico, tanto para la zona estudiada y a nivel de nacional.

El Ecuador forma parte del protocolo de Kyoto celebrado en 1997, tratado que procura la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono, gas metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonados y perfluorocarbonados, por lo menos en un cinco por ciento con relación a la década de los noventa, así como la suscripción y adhesión de este convenio Internacional de más del cincuenta por ciento del total de emisiones de gases a nivel mundial. El Ecuador adecuó los compromisos adquiridos por medio de leyes plasmadas en cuerpos normativos ambientales y en la constitución además se ve reflejado en los principios del buen vivir (Molina Molina, 2013).

Según el Plan Nacional para el Buen Vivir se expresa:

“El reconocimiento de los derechos de la naturaleza y la garantía de un ambiente sano y sostenible, como establece la Constitución, demandan respeto y equilibrio entre los ecosistemas, su gigantesca biodiversidad, sus dinámicas y tiempos. También exigen la valoración de la naturaleza y sus funciones, así como el planteamiento de las actividades humanas dentro de los límites biofísicos de los ecosistemas en los territorios, asumiendo responsabilidad con las futuras generaciones”.

## **II MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Carbono**

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas de efecto invernadero que se encuentra en forma natural en la atmósfera, su concentración en la atmósfera va aumentando con las actividades antropogénicas. El ciclo de carbono en la naturaleza como la capacidad de absorción del suelo y océanos fue conocido desde mucho tiempo, pero la determinación de que los bosques son sumideros de carbono de las emisiones de combustibles fósiles fue a partir de 1976 (Yáñez Sandoval, 2004).

### **2.2 Bosque y Carbono**

Los árboles y plantas verdes usan la radiación solar para sintetizar compuestos orgánicos a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico, agua y nutrientes del suelo o retranslocados desde otros órganos de la planta, mediante el proceso de la fotosíntesis. Estos compuestos una vez sintetizados se utilizan para mantener los propios tejidos de la planta o para formar nuevos tejidos y crecer. Este proceso se manifiesta a través del crecimiento y se expresa como peso seco o biomasa (Alvarez, 2008).

Para Schulze citado por Diaz *et al.* (2007) explica la capacidad de fijación de biomasa y carbono varía en función de la composición florística, edad y la densidad de la población. Esta capacidad es poco conocida ya que no cuenta con procedimientos definidos para su estimación (Diaz Franco, et al., 2007).

### **2.3 Captura de Carbono**

Gayoso y Guerra (2005) expresan que:

“El dióxido de carbono presente en la atmósfera es absorbido por las plantas, a través del proceso de fotosíntesis. Por este medio, las plantas convierten la energía de la luz solar en energía química aprovechable para los organismos vivos. Así, los bosques almacenan grandes cantidades de carbono (C) en la vegetación y el suelo, e intercambian C con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración” (p.33).

Pero no todo el CO<sub>2</sub> es transformado en biomasa, una parte es regresada a la atmósfera por medio de la respiración que se lleva a cabo por los procesos fisiológicos y lo que se emite en los procesos naturales como la descomposición de materia orgánica (Montoya Vázquez, 2014). Los sumideros de carbono son ecosistemas forestales como suelo, vegetación viva, materia orgánica en descomposición, productos maderables y no maderables, combustibles fósiles no usados, etc (Yáñez Sandoval, 2004). Cuando el tiempo de residencia del carbono en tejido vegetal es mayor a 60 años, se dice que existe un proceso biológico de captura de carbono (Pacheco, et al., 2007).

### **2.4 Biomasa y Carbono**

Garzuglia y Saket citados por Diaz et al., (2007), definen que Biomasa aérea “es la cantidad de materia orgánica aérea presente en los árboles, incluyendo hojas, ramas, tronco principal y corteza”. Según FAO (2010) “es toda biomasa viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas”. La biomasa de los árboles según Dixon y Binkley citado por Gomez Díaz et al. (2011), son esenciales para evaluar el secuestro de carbono y su dinámica.

Una de las maneras para la determinación del contenido de carbono orgánico de los árboles según Tesan y Conama citados por Gayoso & Guerra (2005), expresa que es mediante el método de Walkey y Black y que consiste en la oxidación con una

solución de dicromato de potasio en un medio sulfúrico. El método de combustión seca es una herramienta muy útil para determinar Carbono total (Ct) en muestras de suelo debido a que es un método rápido en comparación al Ct calculado por métodos tradicionales y es amigable con el ambiente (Gayoso A & Guerra C, 2005).

Algunos autores: (Barranco, 2002); (Herrera y Lucateros, 2001) expresan que el contenido de carbono corresponde al 50% de la biomasa como también lo expresan (IPCC, 1996), (Brown, 1997), Birdsey y Heath (Jiménez Pérez, Treviño Garza, & Yerena Yamallel, 2013). Según plantean los autores Francis y Gifford “denotan la variabilidad del contenido de C según la especie y tejido del árbol” (Gayoso & Gerra, 2005). El almacenamiento de carbono depende de la productividad primaria neta de cada sistema incorporándose en los compartimentos de suelo y vegetación (Pacheco, et al., 2007).

Cubero y Rojas citado por Gayoso & Guerra (2005), señalan que “el contenido de carbono en la biomasa arbórea se ve influenciado por la calidad del sitio y edad de las plantaciones”. Además el contenido de C diferencia de otros según el método empleado en su determinación (Gayoso A & Guerra C, 2005). Se considera que el C corresponde a la mitad de la biomasa, es decir la cantidad de C es igual a la biomasa multiplicada por 0,5. Además Gifford citado por Yerena et al. (2012), señalan que la concentración de carbono en componentes leñosos dependerá de la proporción de los compuestos como la lignina y minerales.

## **2.5 Plantaciones forestales**

Una plantación, según FAO (citado por Álvarez, 2008) define como: “bosque establecido mediante plantación y/o siembra en el proceso de forestación o reforestación. Está integrada por especies introducidas o en algunos casos autóctonas” (Alvarez, 2008). Que cumplen con los requisitos de una superficie mínima de 0.5 ha;



una cubierta de copa de al menos el 10% de la cubierta de la tierra, y una altura total de los árboles adultos por encima de los 5 m (Cabrera Gaillard, 2003).

### ***2.5.1 Importancia de las plantaciones forestales***

La madera es uno de los productos de origen agrario más estable en cuestión de precios, debido a una demanda constante. Las plantaciones forestales deben atender a mediano y largo plazo la demanda de la industria forestal. Las plantaciones forestales se convierten en una alternativa productiva para los habitantes del área rural. Los objetivos de las plantaciones forestales es crear núcleos de producción forestal y recuperar áreas de vocación forestal, aspecto importante para el desarrollo forestal de los países (Cabrera Gaillard, 2003).

Los aportes de los beneficios ambientales de las plantaciones forestales como: protección de suelos, conservación del ciclo hidrológico, recuperación de suelos degradados y erosionados por malas prácticas agrícolas y ganaderas incorporando materia orgánica al suelo y mejorando su estructura, contribución a la creación de hábitat para la diversidad biológica de la fauna, captura de carbono, liberación de oxígeno y mejoramiento del paisaje, no tienen retribuciones directas y monetarias para el propietario de la plantación. Y el beneficio social más importante que genera las plantaciones forestales es el empleo en el área rural (Cabrera Gaillard, 2003).

Las plantaciones forestales son parte de una estrategia de Manejo Forestal Sustentable, la madera es un recurso natural renovable, en especial las plantaciones forestales reducen la presión hacia los bosques naturales y brindan servicios ambientales que ayudan a mitigar el efecto invernadero y cambio climático.

### ***2.5.2 Mejoramiento de la productividad en las plantaciones forestales***

Gesel citado por Toro (2004) expresa la oportunidad de aplicar una amplia gama de recursos tecnológicos para reducir las limitaciones del sitio y promover un significativo aumento de la productividad de las plantaciones (Toro Vergara, 2004).

Una estrategia que contribuya a elevar la productividad de las plantaciones, es la información física y química de suelos, elementos necesarios que contribuye a identificar sus principales limitaciones, información debidamente interpretada ayudaría a establecer prescripciones de regímenes silvícolas, especialmente en la fase de establecimiento como la selección de la maquinaria apropiada para preparar el sitio, selección de las plantas como material genético (Toro Vergara, 2004).

La productividad de las plantaciones se ve afectada por la competencia de los nutrientes por las malezas, este desarrollo de la vegetación acompañante debe controlarse en un grado tal, que una fracción importante de los nutrientes y producción de biomasa sea canalizada hacia las plantaciones. Además Nambiar citado por Toro, (2004) expresa que el aumento en volumen y el mejoramiento en calidad de la madera se logra con regímenes silvícolas que consideren las características específicas de los sitios y los objetivos de producción (Toro Vergara, 2004).

### ***2.5.3 Aclareos como actividad de Manejo Forestal y productividad de las plantaciones***

En las plantaciones forestales son sometidas a un régimen de manejo para conseguir una buena productividad del sitio, una de estas actividades son los raleos o aclareos, que no es más que las intervenciones de corte que se realiza en un rodal entre su establecimiento y su cosecha final (Vásquez et al., 2015).

El objetivo principal es reducir el número de árboles para así disminuir la competencia tanto en luz, nutrientes y agua y lograr que los árboles remanentes tengan

mayor espacio para el desarrollo de raíces y copas, de tal manera que favorezca su crecimiento y concentrar el mayor volumen en menos árboles. Además otro objetivo es el de mejorar el estado fitosanitario de la plantación (Vásquez et al., 2015).

## **2.6 *Pinus patula* Schl. et Cham**

*Pinus patula* es una especie que se distribuye naturalmente en las regiones subtropicales de México, sobre las formaciones montañosas de la Sierra Madre Oriental, en latitudes entre 16°N a 24° N y su distribución normal está entre los 1500 a 3100 m.s.n.m., precipitaciones anuales de 600 a 2500 mm. “árbol mediano a grande que en ejemplares longevos pueden alcanzar alturas de 40 m y diámetros e 120 cm” (Ospina et al., 2011).

Se ha introducido en muchos países y se han plantado en altitudes superiores a los 3000 m como: Colombia, Bolivia, Ecuador, Kenia, Tanzania, Angola, Zimbabue, Nueva Guinea, Hawái, Brasil, Sudáfrica, India y provincias argentinas de Córdoba y San Luis, también se han plantado cerca del nivel del mar como Nueva Gales del Sur, Australia. Se ha introducido en Nueva Zelandia donde la respuesta del crecimiento ha sido bueno y se han establecido plantaciones comerciales donde ya está totalmente naturalizado.

Esta especie se desarrolla mejor en suelos con buen drenaje, es susceptible a vientos, no soporta a sequías intensas y es resistente al frío. Sánchez-Gonzales citado por Rodríguez et al. (2012), expresa que es una pinácea endémica de México, y de las más explotadas, tiene un gran potencial de producción con un manejo silvícola simple y posee una amplia variedad fenotípica y genética (Rodríguez Ortiz, et al., 2012). También, puede crecer en masas puras o asociado con otras especies (Ospina, et al., 2011).

En Ecuador el *P. radiata* como el *P. patula* son las especies de coníferas que tienen la mayor prevalencia en el establecimiento de plantaciones, por su adaptabilidad. Es un árbol que alcanza hasta 30 metros de altura en suelos buenos profundos a los 20 a 22 años en los mejores sitios que han sido establecidos. El crecimiento de esta especie en el país está distribuido a una altitud que va desde los 2800 hasta los 3500 m, encontrándose plantaciones establecidas que superan este rango altitudinal.

## **2.7 Cubicación de volumen de árboles individuales**

### **2.7.1 Cubicación del volumen del árbol entero**

Existen algunas fórmulas para el cálculo del volumen total de los árboles enteros, para cubicación del fuste del árbol en pie se usa la ecuación general del volumen del cilindro considerando el DAP medido a 1,30 m del suelo, la altura total o comercial y el factor de forma o factor de ahusamiento de la especie, factor que depende de la especie, y del crecimiento que está relacionado con el sitio.

Ecuación 1 Fórmula de cubicación del árbol en pie.

$$V = AB * L * f$$

Donde:

$V$  = Volumen del árbol en pie (m<sup>3</sup>)

$L$  = Altura del árbol (m),

$AB$  = Área basal a 1,30 m del suelo (m<sup>2</sup>)

$f$  = Factor de forma o factor de ahusamiento de la especie.

Los métodos de cubicación a emplearse dependerá del objetivo y de precisión requerida, uno de los métodos de cubicación es mediante la medición y cubicación de secciones del fuste y los métodos destructivos.

### 2.7.2 *Formula de Smalian*

Para la cubicación de secciones de los árboles se utilizan normalmente las fórmulas de volúmenes, para ello es necesario realizar mediciones en secciones a lo largo del fuste, la cubicación se realiza sección tras sección.

La expresión de Smalian indica que el volumen de un fuste o de una troza es igual al producto de la semisuma de las áreas de las secciones transversales extremas de la troza por su longitud como se indica a continuación:

Ecuación 2 fórmula de Smalian para cubicación de trozas

$$v_s = \left( \frac{S_o + S_1}{2} \right) * L$$

Donde:

$v_s$  = Volumen por Smalian.

$L$  = Longitud del fuste o troza.

$S_o$  y  $S_1$  = Áreas de las secciones transversales externas del fuste o troza

## 2.8 Índices de Sitio

La calidad o capacidad de producción de un lugar determinado se expresa por medio del Índice de Sitio (IS), que es igual a la altura media de los árboles dominantes y codominantes a una determinada edad denominada edad índice. Los índices IS es el método más conocido y práctico para evaluar la productividad Forestal (Torres Rojo, 2001).

## 2.9 Ecuaciones alométricas para estimación de biomasa

Algunos actores concuerdan que el método más común para la estimación de biomasa, consiste en el proceso de muestreo destructivo de algunos árboles para establecer relaciones entre una variable fácil de medir con el contenido de biomasa,

por medio del método de estimación por regresión, conocida como análisis dimensional o alometría (Diaz Franco, et al., 2007).

Las ecuaciones alométricas de biomasa es una herramienta matemática que son generadas a partir de análisis de regresión, donde se estudian las relaciones entre la masa de los árboles y sus datos dimensionales como DAP, altura total. Dependiendo del número de variables independientes las ecuaciones puede ser una regresión lineal simple o una regresión lineal múltiple. Y según las circunstancias las ecuaciones pueden ser lineales o no lineales (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2009).

### **2.10 Modelos de crecimiento y volumen**

Los modelos matemáticos y su simulación es la herramienta útil en el manejo forestal. Los modelos de volumen predicen el volumen total de los árboles con corteza y sin corteza, volumen fuste total y volumen comercial, además de ser el método principal para la construcción de tarifas (Tapia & José, 2011).

Los modelos para estimar biomasa son usados de diferentes tipos con combinación de variables pro métodos regresivos, considerando que el DAP es la variable más fácil de medir y la que se correlaciona mejor para su predicción (Fonseca, Alice, & Rey, 2009).

### **III METODOLOGÍA**

#### **3.1 Descripción del área de estudio**

El área en donde se realizó la investigación es de propiedad de la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., empresa forestal industrial dedicada a la fabricación de tableros de aglomerado o de partículas, tableros de densidad media o tablero de fibra (MDF), y una línea de producción de madera aserrada, ubicada en la provincia de Cotopaxi, está en las estribaciones de la cordillera de los Andes.

Se encuentra localizada en la región sierra de país en el centro norte. La temperatura media es de 12 °C, se encuentra cerca al volcán Cotopaxi, la mayoría de las plantaciones se encuentran establecidas a una altitud que va entre los 3100 hasta los 3600 m, ubicado a 78°33'39'' de longitud y 0°40'05'' de latitud.

Son suelos derivados de materiales piroclásticos, alofánicos, franco arenosos conocidos como suelos tipo Distrandeps, áreas que se encuentra adyacente al Parque Nacional Cotopaxi.

## PLANO DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

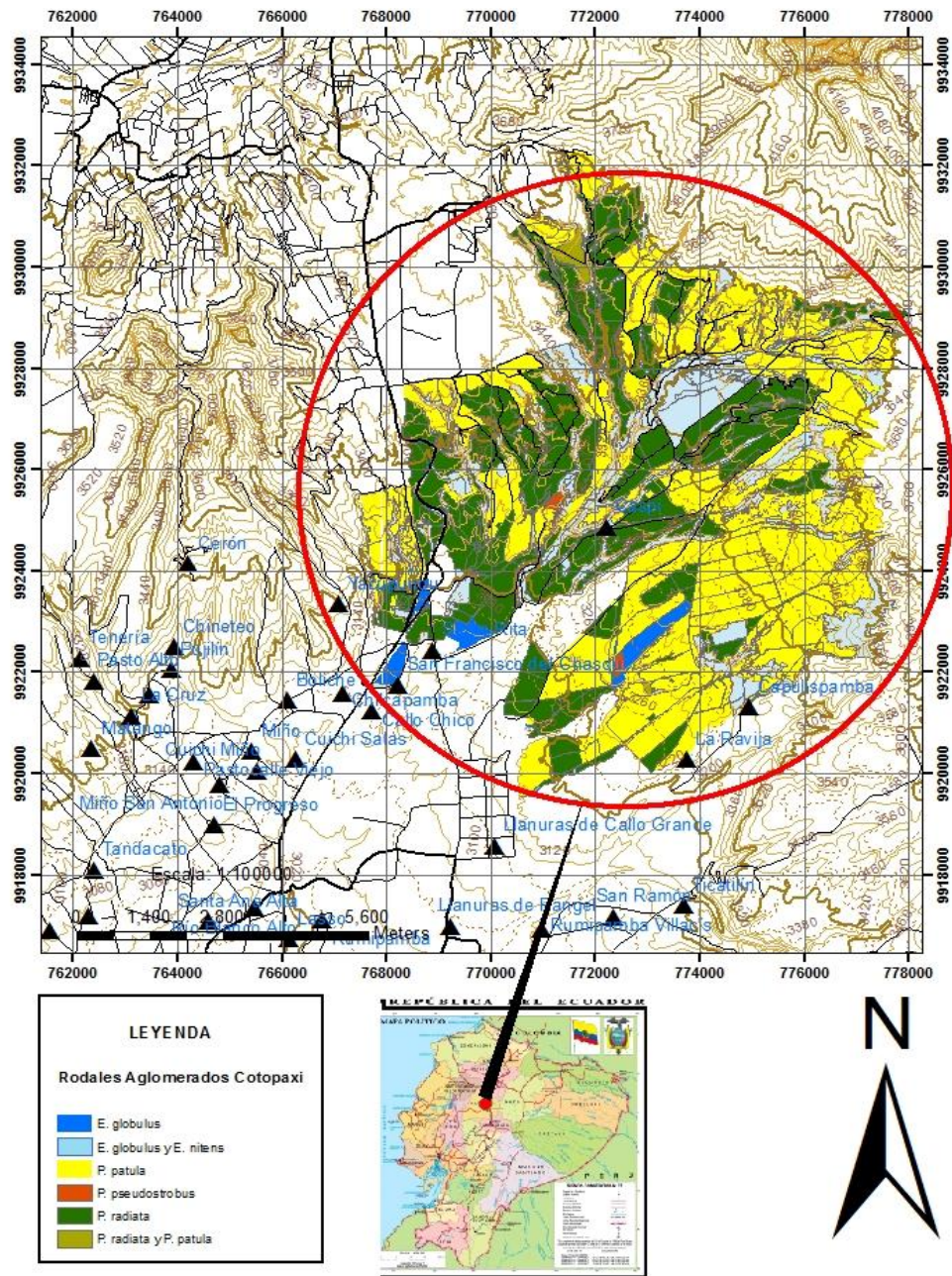


Figura 1 Ubicación de área de estudio



La Empresa Aglomerados Cotopaxi S.A. cuenta con una superficie total de 16885.71 ha de las cuales tiene establecido 11282,63 ha de plantaciones de *P. patula* y *P. radiata*, *Eucalyptus globulus* principalmente entre otras, distribuidas en todas las edades, las mismas que oscilan entre recién plantadas hasta 18 y 20 años, los turnos de cosecha establecido por la Empresa están entre 17 y 20 años. Se cuenta con rodales de la misma edad que están distribuidos en diferentes calidades de sitio como niveles altitudinales. Además posee con sistemas de medición y monitoreo mediante el establecimiento tanto de parcelas de muestreo permanentes como temporales.

### 3.2 Población y muestra

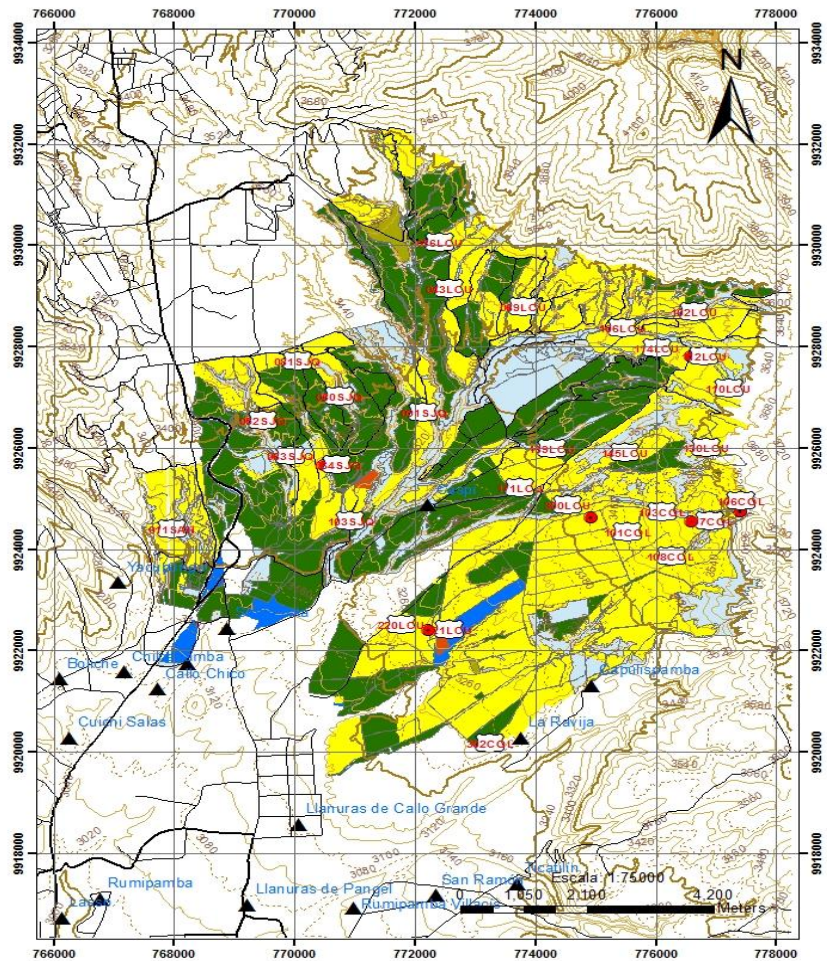
La población de estudio fueron las plantaciones que se encuentran ubicadas en el sector de Lasso, considerándose las haciendas Sta. Ana, San. Joaquín, La Curia, Colcas, Illitio Alto, Illitio Bajo, El Censo, Santa María, Cuchitingue, Ashingua, Barrancas y San Elías , que suman una superficie de 13105,03 ha, de estas 9971,23 son plantaciones forestales, en la fecha de la investigación 3812,47 ha están plantadas con la especie de *P. patula*, extensión importante como tamaño del área de estudio.

**Cuadro 1** Detalle de superficie de las haciendas tomadas en cuenta en la investigación.

Hacienda	Superficie (ha)
Santa Ana	312.55
San Joaquín	1,583.46
Curia	3,618.77
Colcas	1,396.59
Illitio Alto	450.39
Illitio Bajo	198.29
El Censo	103.43
Santa María	260.97
Cuchitingue	2,495.04
Ashingua	1,151.02
Barrancas	115.75
San Elías	1,418.77
	<b>13,105.03</b>

La muestra de toma de datos para determinación de correlaciones de edad, DAP biomasa y carbono en las plantaciones fue 30 parcelas permanentes de 500 m<sup>2</sup> que equivale a 1,5 ha midiéndose un total de 1914 árboles, este tamaño nos permite determinar con un buen grado de confiabilidad y así obtener correlaciones con buenos ajustes, y para el proceso destructivo para determinación de carbono por árbol y ajuste de la ecuación alométrica fue de 30 árboles.

**PLANO DE UBICACIÓN DE PARCELAS PERMANENTES MUESTREADAS**



**Figura 2** Plano de ubicación de las parcelas permanentes (PP) muestreadas

### 3.3 Métodos

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó metodologías de forma parcial para la determinación de la muestra, basadas a partir de mediciones de parcelas permanentes, parcelas que estaban establecidas en rodales distribuidos en diferentes sitios y edades, base de datos existentes y toma de datos actualizados.

En las plantaciones de *P. patula* se definieron rodales de edades que van desde 8 a 17 años para esta investigación. Se determinaron tres parcelas permanentes de 500 m<sup>2</sup> por edad que va de los 8 años hasta los 17 años, consiguiendo que las parcelas seleccionadas con su ubicación y distribución cubran la mayoría de superficie de la población, y sean representativas para las plantaciones existentes de esa edad. Se seleccionaron un total de 30 parcelas permanentes de 500 m<sup>2</sup>, así como se ilustra en el Cuadro 1.

**Cuadro 2** Diseño de muestra, toma de datos de parcelas permanentes de 500 m<sup>2</sup>.

Edad (años)	Observaciones		
	I <sup>1</sup>	II <sup>2</sup>	III <sup>3</sup>
8	Y8 <sup>1</sup>	Y8 <sup>2</sup>	Y8 <sup>3</sup>
9	Y9 <sup>1</sup>	Y9 <sup>2</sup>	Y9 <sup>3</sup>
10	Y10 <sup>1</sup>	Y10 <sup>2</sup>	Y10 <sup>3</sup>
11	Y11 <sup>1</sup>	Y11 <sup>2</sup>	Y11 <sup>3</sup>
12	Y12 <sup>1</sup>	Y12 <sup>2</sup>	Y12 <sup>3</sup>
13	Y13 <sup>1</sup>	Y13 <sup>2</sup>	Y13 <sup>3</sup>
14	Y14 <sup>1</sup>	Y14 <sup>2</sup>	Y14 <sup>3</sup>
15	Y15 <sup>1</sup>	Y15 <sup>2</sup>	Y15 <sup>3</sup>
16	Y16 <sup>1</sup>	Y16 <sup>2</sup>	Y16 <sup>3</sup>
17	Y17	Y17	Y17

Y8<sub>1</sub> ...Y17<sub>3</sub> Parcelas permanentes de 500 m<sup>2</sup>

### ***3.3.1 Determinación de la correlación Edad - DAP***

Para la determinación de la correlación Edad vs DAP, se midieron las parcelas permanentes seleccionadas, tres parcelas circulares de 500 m<sup>2</sup> para cada año, se midieron un total de 30 parcelas permanentes establecidas y distribuidas en diferentes rodales, fueron medidos los parámetros de DAP y altura total con forcípula e hipsómetro respectivamente. Se realizó el análisis de correlación Edad vs DAP, fueron evaluados los estadígrafos de bondad de ajuste como es el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>). y se determinó la ecuación que mejor se ajusta para la determinación de los valores de DAP promedio de la edad. Este valor del DAP calculado será necesario en la determinación del potencial de captura de carbono de la plantación.

### ***3.3.2 Selección de árboles para determinación de biomasa y carbono por el proceso de muestreo destructivo***

Para proceder la determinación de biomasa y carbono se definieron los diámetros del 25, 50 y 75 percentil de la distribución de diámetros de los árboles por edad, considerando edades mayores a 8 años y que representan los datos de las tres parcelas permanentes en cada año, se seleccionaron un total de 30 árboles.

Se seleccionaron árboles sin deformidades ni daños, con alturas que estén en los estratos dominantes de las edades y que tengan los DAP que corresponden a los del 25, 50 y 75 percentil determinados como árboles tipo para el proceso de destrucción. Se identificó los árboles seleccionados numerándolos con forme se los iba encontrando en terreno, se los codificó de la manera que se puede definir claramente la descripción del mismo, se empleó tres números en la identificación, separados por guion en su código, esto con la finalidad de poder tener un buen control en la información como para la toma de muestras en el proceso destructivo.

Este código el primer número representa el número de árbol seleccionado, el segundo representa el diámetro del árbol y el tercer número el número del rodal,

como por ej. 01-23-429, que representa al árbol 1, con un DAP de 23 cm y que estaba ubicado en el Rodal 429, información que permite determinar la edad de los árboles seleccionados.



**Figura 3** Selección de árboles tipo para el método destructivo

Se pintó el número del árbol en el fuste con pintura, se procedió a registrar las mediciones de los parámetros de DAP y altura total, midiéndose en pie los DAP con cintas diamétricas y las alturas totales con hipsómetro Suunto. La selección de los árboles tuvo lugar tanto en rodales manejados como no manejados, es decir que hayan tenido o no la intervención de raleo o entresaca, con el fin de direccionar la investigación para todos los tipos de plantaciones existentes.

### ***3.3.3 Cubicación de árboles, volumen, biomasa y carbono en el proceso de muestreo destructivo***

Los árboles seleccionados, luego de su medición en pie de los parámetros diámetro y altura, fueron tumbados con motosierra con dirección de caída para lugares que permitan mejorar las condiciones de caída y evitar roturas.



**Figura 4** Tumba de árboles en el método destructivo

Los árboles posteriormente fueron desramados con machete, las ramas del árbol (follaje) fueron transportados al lugar junto a la báscula., para luego ser separados y pesados sus componentes: fuste, ramas, follaje (acículas) y conos.



**Figura 5** Desrame de árboles y separación de componentes en el método destructivo

Se midió la altura total del árbol ya tumbado con flexómetro, se procedió a medir el diámetro basal y diámetro menor del tocón para su cubicación, seguidamente se procedió a cubicar el volumen del fuste en secciones de 2,20 m a lo largo del fuste y de la punta, y proceder con ello a determinar el volumen con la fórmula de Smalian (Calderón Reyes & Solís Urbina, 2012).



**Figura 6** Cubicación del tronco y fuste

Seguidamente los fustes fueron troceados (seccionados) en longitudes comerciales de 2,20 m, transportados y pesados en la báscula.



**Figura 7** Transporte de componentes hasta la báscula para su pesaje

Se procedió a realizar la separación de sus componentes del follaje tanto en ramas gruesas, ramas delgadas, ramas finas, acículas y conos, se realizó el pesaje de los componentes como ramas, follaje y fuste (las trozas seccionadas) para cada árbol, para determinar su peso verde en cada componente y del árbol total, con báscula TOLEDO con precisión de 0.1 Kg.



**Figura 8** Pesaje de componentes en la báscula

Para el proceso de determinación de biomasa, se extrajo de cada componente de los árboles destruidos, muestras de ramas, follaje y conos y del fuste en cada troza se extrajo una rodaja de cada troza de 0.05 m de espesor aproximadamente, como muestra en la parte más gruesa (Diaz Franco, et al., 2007).



**Figura 9** Toma de muestras de componentes



Las muestras fueron codificadas, rotulas y empaquetadas en fundas plásticas con cierre tipo Ziploc y transportadas al laboratorio de la empresa y fueron inmediatamente pesadas en estado verde.



**Figura 10** Codificación de muestras, codificación y empaquetado

Las muestras fueron pesadas con balanzas de precisión marca GIBERTINE serie EUROPE 1700 de capacidad de 1700 g y precisión del 0.01 g, y marca METTLER TOLEDO serie PG5002-SD con capacidad de 5100 g con precisión del 0.01 g,



**Figura 11** Pesaje de muestras en balanzas de precisión

Las muestras luego de su pesaje fueron almacenadas, y posteriormente fueron llevadas al laboratorio y secadas en estufa MEMMERT SCHUIZART DIN 40050 IP20 a una temperatura de 104°C hasta obtener un peso constante (Méndez Gonzales, Luckie Navarrete, Capó Arteaga, & Nájera Luna, 2011), las muestras ya en estado seco fueron pesadas en balanza de precisión METTLER TOLEDO serie PG5002-SD con capacidad de 5100 g con precisión del 0.01 g.



**Figura 12** Estufa de secado y secado de muestras

Para determinar la biomasa total de los árboles, en cada componente, fuste, ramas y follaje, se empleó el factor de la relación peso seco y peso fresco de las muestras tomadas en cada componente, y se determinó la Biomasa total aérea (Bta) de cada árbol (Acosta et al., 2002). Se determinó el Carbono total aéreo (Cta) existente en la biomasa en cada árbol, se multiplicó el peso de la biomasa total aérea del árbol por 0,5 (Ordóñez & Masera, 2001); (IPCC, 2003).

### 3.3.4 Determinación de ecuaciones alométricas

El procesamiento de datos y el análisis en laboratorio para determinar biomasa, que junto a parámetros del DAP como la edad, permitieron obtener valores y tablas de modelos alométricos que sustentados en análisis estadísticos permiten estimar el contenido de Bta y Cta en los árboles fijado de la especie de *P. patula* Schl. et Cham, y que los modelos obtenidos reafirman la relación directa con el crecimiento de la plantación.

Para estimar Bta y Cta se ajustaron ecuaciones que se aplican para este tipo de investigación para estimar biomasa. Se ajustaron nueve ecuaciones alométricas propuestas por Gayoso y Guerra (2005), la evaluación del ajuste fue determinado con el método de cuadrados mínimos de las ecuaciones presentadas en el Cuadro 1. Y fueron evaluadas también con los estadígrafos de bondad de ajuste de regresión: como es el coeficiente de correlación de Pearson como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) (Gayoso & Guerra, 2005).

**Cuadro 3** Ecuaciones alométricas usadas para evaluar componentes de biomasa aérea, en plantaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham en Lasso, provincia de Cotopaxi, Ecuador (Gayoso & Guerra, 2005).

Modelo	Ecuación
1	$Y = \beta_0 D^{\beta_1}$
2	$Y = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$
3	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 H + \beta_3 D^2 H$
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2$
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2 H$
6	$Y = (\beta_0 + \beta_1 D)^2$
7	$Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(D))$
8	$Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(D^2 H))$
9	$Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 D)$

*Y*= Biomasa total aérea (Bta) en Kg; *D*= diámetro a la altura del pecho (cm); *H* altura total (m);  $\beta_0, \dots, \beta_3$ = parámetros de regresión; *Exp*= base de los logaritmos neperianos; *Ln*= logaritmo natural.

Se determinó la ecuación alométrica que mejor se ajusta como variable independiente el DAP en esta investigación. Para el ajuste de la determinación de las ecuaciones se utilizó el programa SPSS versión 21.

### ***3.3.5 Correlación de edad vs Cta en plantaciones***

El contenido de Cta de los árboles determinado por medio del método de estimación por regresión, conocida como análisis dimensional o alometría a partir del DAP permite determinar la producción de carbono en plantaciones, se aplicó la mejor ecuación alométrica de esta investigación que considera al DAP como variable independiente y se determinó la biomasa en cada árbol en las mediciones de las parcelas permanentes y se determinó el valor del Cta  $\text{ha}^{-1}$ , se realizó el análisis de correlación Edad vs Cta  $\text{ha}^{-1}$  y fueron evaluados con los estadígrafos de bondad de ajuste como es el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

### ***3.3.6 Análisis de la influencia del manejo en el secuestro de carbono***

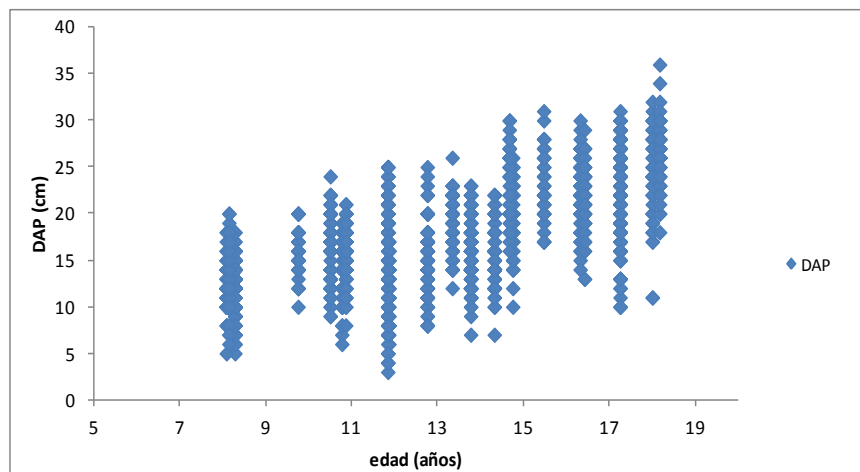
Se realizó la comparación de la captura de Cta  $\text{ha}^{-1}$ , en plantaciones de *P. patula*, en rodales manejados y no manejados, en plantaciones de 14 años de edad ubicados en sitios contiguos, se establecieron tres parcelas permanentes tanto en rodales manejados como no manejados, se realizó la comparación de los valores del tipo de manejo por medio del Análisis de Varianza (ANOVA) con la prueba de comparación F, al 95 y 99 % de probabilidad considerando al manejo como tratamiento o grupos y las parcelas circulares permanentes y/o temporales de 500  $\text{m}^2$ , establecidas en los rodales manejados y no manejados como repeticiones u observaciones.

Se realizó la prueba de comparación Duncan y la prueba de comparación de Tukey, para determinar si existe diferencia estadística significativa, y que nos permita concluir si existe influencia en la captura de Cta, por el manejo recibido en la plantación.

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Determinación de la relación edad y captura de carbono de las plantaciones de *Pinus patula*.

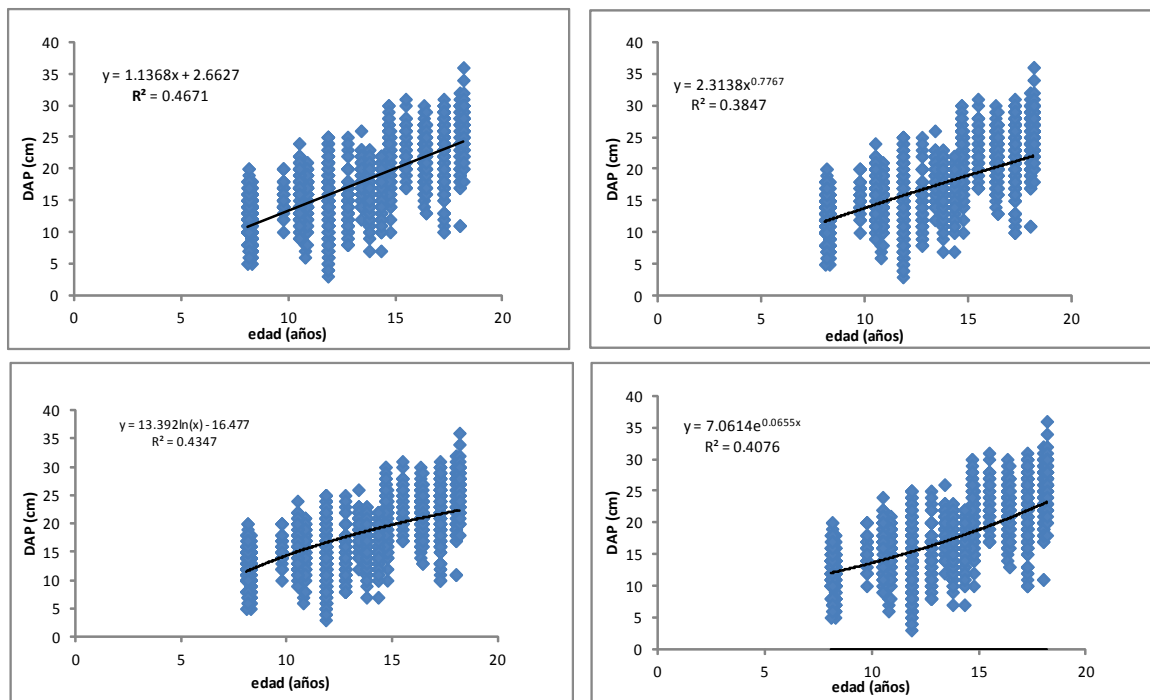
Las plantaciones de *P. patula* contienen árboles con tamaños de alturas similares presentando uniformidad con un rango de dispersión menor, con una diferencia de 3 a 3,5 m en altura. Esto no sucede con los diámetros que presentan un rango amplio de distribución diamétrica (ver Figura 12), posiblemente el tipo de planta empleada desde la plantación, el suelo y la genética propia de la especie presenta esta tendencia natural de distribución.



**Figura 13** Dispersión de DAP de los árboles de las parcelas permanentes por edad y representación de las tendencias de las regresiones

#### 4.1.1 Correlación Edad – DAP de los árboles

Las plantaciones de *P. patula* presenta un coeficiente de correlación baja de 0.68345 entre la edad de la plantación y el DAP de todos los árboles y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.4671. Esto demuestra que los árboles individualmente tienen diferente respuesta de crecimiento dado a factores como condiciones de la planta, condiciones ambientales y competencia, dada por la densidad resultante del régimen de manejo que tiene la plantación. Esto se puede observar en la Figuras 13 en donde se presenta ajuste de regresiones similares, y el mejor ajuste presentó según (ANOVA:  $F= 1675.9378$ ; al 95% del nivel de confianza), valores presentados al rango de edad de 8 a 17 años.



**Figura 14** Ajuste de las regresiones lineal; potencial; logarítmica y exponencial en la dispersión de DAP vs edad.

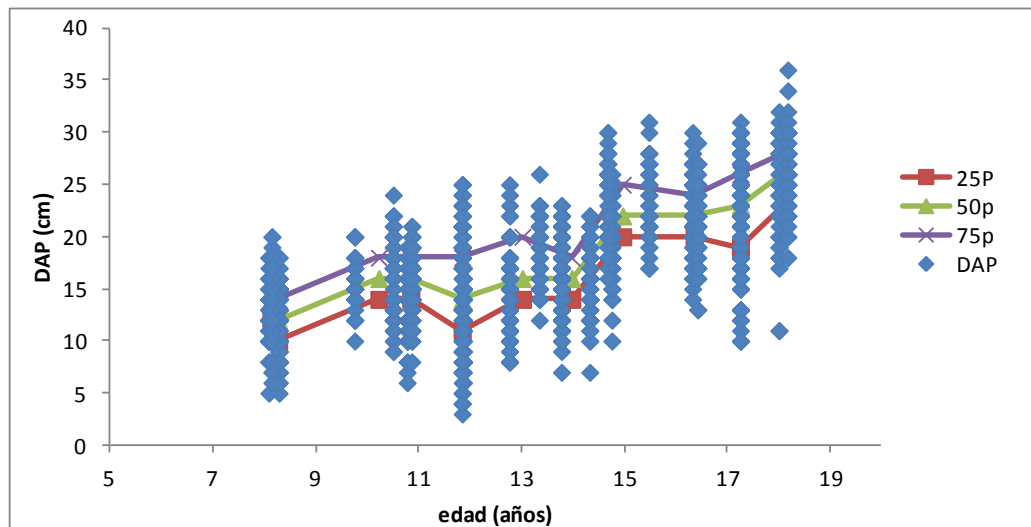
#### 4.1.2 Determinación de árboles tipo (20, 50 y 57) percentiles, para el proceso destructivo

Las regresiones entre edad y DAP por el bajo ajuste de correlación de 0.68345, no permite seleccionar árboles “tipo”, considerando como DAP promedio de la edad. Por lo que es recomendable determinar árboles que representen a la población o plantación, así como se ilustra los resultados en el Cuadro 3.

**Cuadro 4** Valores de variables estadísticas del DAP de la plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham, para determinación de árboles tipo para selección del muestreo destructivo.

Edad (años)	DAP (cm)						
	mínimo	promedio	mediana	máximo	25P	50p	75p
8.1	5	13.4	14	20	12	14	15
8.3	5	12.0	12	18	10	12	14
10.2	9	15.8	16	24	14	16	18
10.8	6	15.4	16	21	14	16	18
11.8	3	14.3	14	25	11	14	18
13.0	8	16.4	16	26	14	16	20
14.0	7	16.0	16	23	14	16	18
15.0	10	22.0	22	31	20	22	25
16.4	13	22.0	22	30	20	22	24
17.3	10	22.3	23	32	19	23	26
18.1	11	25.3	26	36	23	26	28

Al definirse por seleccionar árboles correspondientes a los percentiles nos permite considerar y cubrir la distribución natural de la población, y los resultados serán más ajustados al comportamiento natural de las plantaciones, los percentiles 25 , 50 y 75 abarcan la mayor frecuencia de distribución diamétrica como se puede evidenciar en la Figura 14.



**Figura 15** Ubicación de los DAP percentiles de los árboles DAP en la distribución diamétrica por edad.

#### ***4.1.3 Determinación y ajuste de ecuaciones alométricas en la estimación de biomasa y carbono***

Con el objeto de evaluar el potencial de las plantaciones de *P. patula* para almacenar carbono aéreo, se obtuvo tablas de modelos alométricos. Estos datos son el resultante del método destructivo de los 30 árboles presentados en el Cuadro 4.

Las tablas de modelos alométricos producto del procesamiento de datos y análisis de laboratorio, permiten ajustar ecuaciones usadas y propuestas para determinados predicciones como volumen, biomasa y carbono con niveles de confianza estadística.



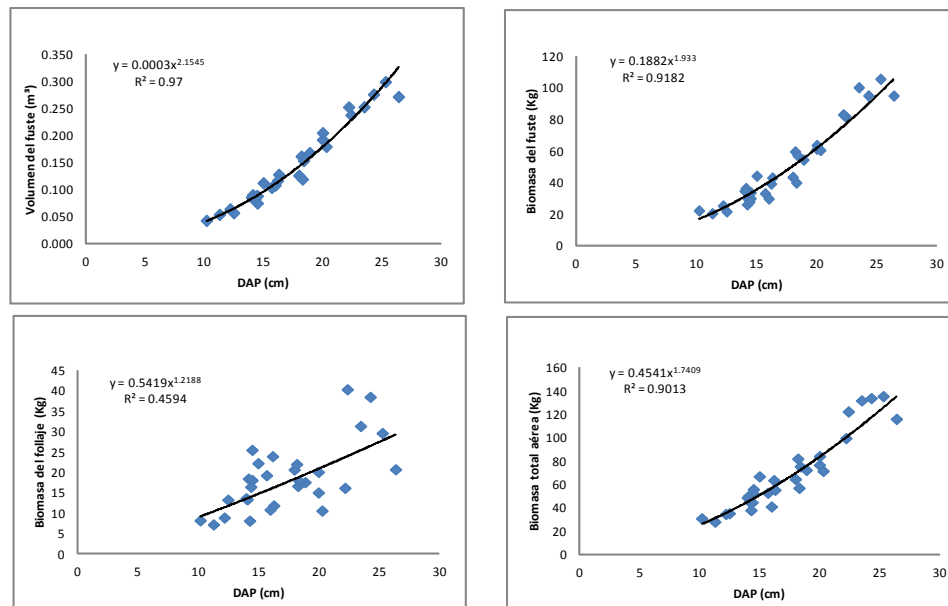
**Cuadro 5** Tabla de datos de modelo alométrico de los árboles obtenido en el proceso destructivo para ajuste de ecuaciones.

Arbol No.	DAP (cm)	Edad (años)	Altura total (m)	Volumen total del fuste (m <sup>3</sup> )	Peso verde Fuste Total (Kg)	Peso verde Total Follaje (Kg)	Peso seco Fuste Total (Kg)	Peso seco Follaje (Kg)	Biomasa Total aérea (Kg)
1	23.5	17.6	12.6	0.25	259.10	73.95	100.37	31.41	131.78
2	26.4	17.6	12.3	0.27	251.75	67.15	95.14	20.80	115.94
3	14.5	8.4	8.8	0.07	79.10	60.70	30.09	25.56	55.66
4	15.7	8.4	10.2	0.10	90.29	50.58	33.27	19.34	52.61
5	12.5	8.4	8.0	0.06	55.42	32.05	21.76	13.34	35.10
6	14.2	11.0	10.3	0.09	77.40	46.81	26.27	18.51	44.78
7	18.3	11.0	10.6	0.12	103.92	41.98	40.06	16.72	56.78
8	16.0	11.0	9.7	0.11	101.66	26.55	29.89	10.92	40.81
9	14.5	10.1	8.9	0.09	79.57	44.75	33.79	18.15	51.94
10	15.0	10.1	10.5	0.11	112.11	47.70	44.39	22.30	66.68
11	18.0	10.1	10.2	0.13	114.30	51.45	43.62	20.74	64.36
12	20.0	15.0	12.4	0.19	177.95	43.85	61.44	15.11	76.55
13	22.4	15.0	13.1	0.24	230.11	93.95	81.91	40.41	122.32
14	25.3	15.0	13.1	0.30	286.91	73.55	105.79	29.69	135.47
15	16.3	13.1	11.7	0.13	99.70	26.20	43.25	11.94	55.18
16	20.0	13.1	12.7	0.20	161.43	45.40	63.83	20.17	84.00
17	14.3	13.1	10.2	0.08	67.37	19.80	29.54	8.21	37.75
18	24.3	16.6	12.2	0.28	272.23	101.00	95.23	38.55	133.79
19	22.2	16.6	13.0	0.25	218.32	38.20	83.21	16.24	99.45
20	20.3	16.6	12.8	0.18	162.99	26.70	60.66	10.68	71.34
21	18.9	17.6	12.3	0.17	128.39	45.15	54.58	17.65	72.24
22	14.1	14.2	11.0	0.09	84.08	32.10	36.51	13.44	49.95
23	18.2	14.2	12.5	0.16	148.90	54.20	59.77	22.07	81.83
24	16.2	14.2	9.8	0.12	90.60	58.20	39.39	24.01	63.40
25	18.4	12.3	12.3	0.15	146.40	42.20	57.27	17.98	75.25
26	14.0	12.3	10.2	0.09	84.70	31.20	34.88	13.69	48.57
27	11.3	12.3	10.4	0.05	52.70	18.70	20.57	7.28	27.85
28	12.2	8.7	9.4	0.06	61.84	24.10	25.50	8.97	34.46
29	14.4	8.7	9.2	0.09	76.77	39.30	27.93	16.52	44.45
30	10.2	8.7	8.0	0.04	37.73	22.70	22.40	8.29	30.70

Algunos investigadores como: Raev; Brown; Gayoso y Schlegel citados por Méndez, Luckie, Capó y Nájera (2011) expresan y concuerdan que existe una alta correlación entre el diámetro normal o DAP y volumen, pero no entre DAP y biomasa y/o DAP y captura de carbono, además expresan que son patrones similares en casi todos los sistemas (Méndez et al., 2011). Esto sucede en lo que respecta al volumen

pero también se encontró correlación alta de 0.9013 de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) con la biomasa y/o carbono en los árboles.

Se encontró que existe correlación entre el DAP y el volumen del fuste de 0,979. Mientras que la correlación encontrada entre el diámetro y la biomasa total aérea, fue de 0.942 con un estadígrafo de bondad de ajuste como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.9013, este valor es superior a los ajustes encontrados en *P. pseudostrabus* con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.87 y de 0.73 en *P. devoniana* (Méndez et al., 2011) y menor al encontrado en bosques de pino-encino expresado que fue mayor al 0.95 para la determinación de la biomasa de los árboles (Rodríguez-Laguna, Jiménez-Pérez, & Aguirre-Calderón, 2009), valor similar encontrado de 0,91 en *P. pseudostrabus* (Luckie Navarrete, 2010) y es menor al encontrado en un bosque manejado de *P. patula* de 0.974 de coeficiente  $R^2$  en Zacualtipan, México (Figuroa Navarro, 2010).



**Figura 16** Relaciones de Volumen del fuste, peso seco del fuste, peso seco del follaje y biomasa total aérea vs DAP, de los árboles del proceso destructivo.

Posiblemente la especie presenta mejor uniformidad de la biomasa por contar con porcentajes de copas vivas similares, tendencias propias de la misma especie.

La tabla de datos del modelo alométrico obtenido, analizada junto al parámetro del DAP y sustentados en análisis estadísticos, permitieron realizar ajustes de ecuaciones alométricas para reafirmar la relación directa con el crecimiento de la plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. Luego de la determinación de sus coeficientes para calcular los valores predictivos de biomasa y al ser sometidos a la prueba de cuadrados mínimos, la mejor ecuación ajustada considerando al DAP como variable independiente fue la ecuación 2 como se puede visualizar en el Cuadro 5.

**Cuadro 6** Valor de los cuadrados mínimos en el ajuste de ecuaciones

No.	Ecuación	Parámetros estadísticos				Valor de Cuadrados mínimos
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	
1	$Y = \beta_0 D^{\beta_1}$	0.3920	1.7948			2990.548
2	$F = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^3$	3.755	0.403	0.181		2988.616 (**)
3	$F = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 H + \beta_3 D^2 H$	42.89	-0.046	-2.506	0.018	2725.128 (*)
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2$	7.3	0.192			2989.859
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2 H$	18.33	0.014			2798.414
6	$F = (\beta_0 + \beta_1 D)^2$	0.886	0.415			2989.479
7	$F = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(D))$	-0.937	1.795			2990.548
8	$F = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(D^2 H))$	-1.799	0.738			2983.864
9	$F = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 D)$	2.557	0.092			3340.758

(\*) mejor ecuación considerando DAP y altura, (\*\*) mejor ecuación considerando DAP

El mejor ajuste de las ecuaciones en la prueba de cuadrados mínimos presenta la ecuación 3 en donde se usan los parámetros de DAP (D) y altura total (H) para determinar la biomasa, le sigue la ecuación 2 cuando se emplea solamente el parámetro DAP (D). Por el objetivo planteado en la investigación la ecuación alométrica que mejor ajustada en la determinación de carbono aéreo de los árboles de las plantaciones de *P. patula* del sector de Lasso, por el método de cuadrados mínimos y considerando al DAP como variable independiente fue:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$$

En donde:  $\beta_0 = 3.755$   
 $\beta_1 = 0.403$   
 $\beta_2 = 0.1812$   
D = Diámetro normal ó DAP (cm)

Ecuación 2 Ecuación alométrica mejor ajustada

Aplicando la ecuación alométrica presentada y analizando estadísticamente la correlación entre los valores el DAP y los valores predictivos la biomasa total aérea tiene una correlación de 0.993 y presenta un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.987, valores que se pueden ver en el Cuadro 6.

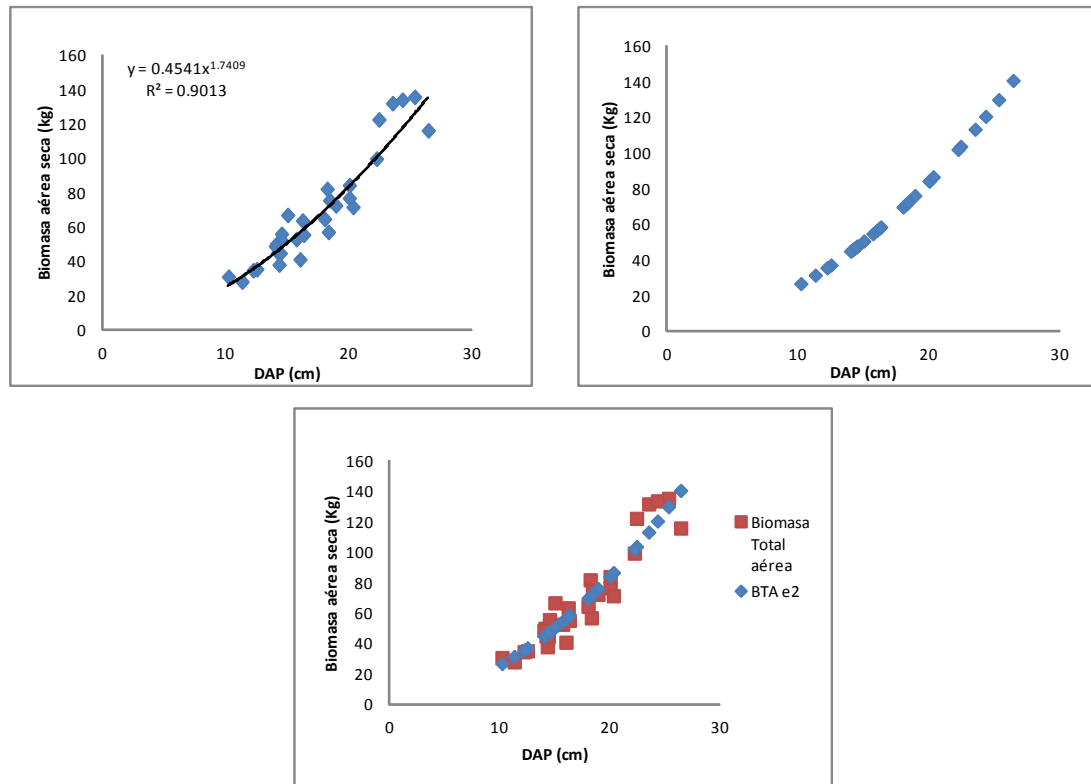
**Cuadro 7** Estadígrafos de regresiones de las ecuaciones alométricas ajustadas

No.	Ecuación	Correlación de Pearson	$R^2$	F	Error típico de estimación <sup>1</sup>
1	$Y = \beta_0 D^{\beta_1}$	0.995**	0.991	2932.644	2.996
2	$Y = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$	0.993**	0.987	2120.267	3.507
3	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 H + \beta_3 D^2 H$	0.983**	0.967	815.8	5.624
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2$	0.993**	0.985	1984.743	3.716
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2 H$	0.986**	0.973	1013.643	5.054
6	$Y = (\beta_0 + \beta_1 D)^2$	0.994**	0.988	2349.024	3.336
7	$Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(D))$	0.995**	0.991	2932.215	2.300
8	$Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(D^2 H))$	0.992**	0.983	1661.978	4.021
9	$Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 D)$	0.980**	0.961	682.344	5.933

(<sup>1</sup>) Kg de biomasa; (\*\*) La correlación es significativa al nivel 0,01

Estos valores son similares a los obtenidos por (De la Cruz, 2014) quien encontró un coeficiente ( $R^2$ ) de 0,98 al estimar la biomasa y carbono en *P. patula* Schl., en el Ejido Mariano de Matamoros, 0.974 de en Zacualtipan, México (Figuroa Navarro, 2010). Estos valores reafirman el buen ajuste que presenta la especie de *P. patula*,

para la predicción de biomasa y la confiabilidad de usar la ecuación propuesta para la determinación de captura de carbono por las plantaciones.



**Figura 17** Correlaciones de DAP y Biomasa total aérea; tendencia de ajuste de la ecuación alométrica con relación al DAP y valores predictivos de la ecuación alométrica seleccionada en los árboles según el DAP.

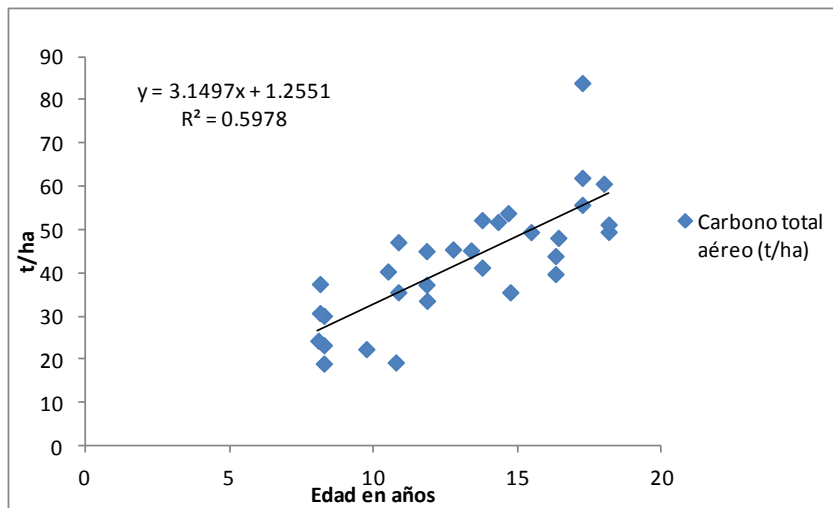
#### ***4.1.4 Determinación de biomasa y carbono capturado en las plantaciones de *P. patula* y su relación con la edad.***

El carbono total aéreo de los árboles en las plantaciones de *P. patula* en el área de estudio está distribuido el 71.8 % en el fuste y el 28.2 % en el follaje (ramas, acículas y conos), presentado en el Anexo 3, son valores con tendencia similar a los expresados por Luckie, (2010) en biomasa en *P. michoacana* de 60,16 y 39,84 y para *P. pseudostrobus* de 58,35 y 41,65 (Luckie Navarrete, 2010). Además es consistente con estudios hechos por Pacheco et al (2007) en plantaciones de *P. greggi* de 6 años

de edad que el aporte es del 24 al 25% de la biomasa total aérea (Pacheco, et al., 2007).

Segura y Kanninen (2006) y Rojas (2014) expresan que la acumulación del carbono almacenado en plantaciones forestales se encuentra relacionada directamente con la especie, con la intensidad de manejo aplicado, la edad de la plantación y las condiciones ambientales del sitio (Segura, Kanninen, & Suárez, 2006); (Rojas, 2014). En esta investigación se encontró que la densidad de las plantaciones en el *P. patula* es un factor muy importante para determinar límites bajos ó altos de captura de carbono.

El contenido de carbono total aéreo expresado en las plantaciones de *P. patula* tiene un coeficiente de correlación de 0.773 en relación con la edad de la plantación y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.598. El coeficiente de correlación encontrado es mejor al valor del coeficiente de correlación entre la edad de la plantación con el DAP de los árboles que presenta un coeficiente de 0.68345, esto dado a que la plantación cuenta con árboles con un amplio rango de distribución de la clase diamétrica, en cambio la cantidad de carbono total aéreo capturado por la plantación está dada por la edad y por la densidad de la plantación. Esta respuesta está definida por las bondades de la especie que “permite competencia intraespecífica y acepta densidades altas”, esto de acuerdo al protocolo de manejo y registros dasométricos de Aglomerados Cotopaxi S.A.



**Figura 18** Ajuste de la correlación Edad y Carbono total aéreo en Plantaciones de *P. patula*

El potencial de producción de carbono de las plantaciones de *P. patula* del sector, para la edad que está comprendida entre los 8 a 18 años en promedio tiene una producción de 3,253 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de Carbono total aéreo (Cta), valor similar al que expone una plantación de *P. greggi* de 6 años de edad que tiene una producción de 17,9 t ha<sup>-1</sup> (Pacheco, et al., 2007), que equivale a 2,983 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de Carbono total aéreo (Cta). Como valor máximo se encontró una producción total de carbono total aéreo de 83.952 t ha<sup>-1</sup> de Cta a los 17 años pero con densidades altas de 1360 árboles ha<sup>-1</sup>.

#### ***4.1.5 Potencial de producción de carbono capturado en las plantaciones de P. patula y su relación con la edad y densidad.***

El potencial de producción de carbono en las plantaciones de *P. patula* en el país está muy determinado por la edad y la densidad de la plantación, se encontró densidades altas y con producciones de carbono también altas, esto debido que la especie soporta competencia intraespecífica.

Con los resultados encontrados y las ecuaciones ajustadas se presenta el Cuadro 6, valores de doble entrada que expresan el potencial de captura de carbono que llega a tener las plantaciones de *P. patula* en el centro de país como es en la provincia de Cotopaxi, considerando como información la edad de la plantación como la densidad existente producto del régimen de manejo dado.

Estos valores presentados en el Cuadro 7 permiten cuantificar valores que mitigan las plantaciones de *P. patula* a las emisiones de dióxido de carbono.



**Cuadro 8** Potencial de producción de carbono total aéreo en t ha<sup>-1</sup> en las plantaciones de *P. patula* según su edad y densidad

	Edad (años)													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
400	4.77	5.69	6.71	7.82	9.02	10.31	11.70	13.18	14.76	16.43	18.19	20.04	21.99	24.04
500	5.97	7.12	8.39	9.77	11.27	12.89	14.62	16.48	18.45	20.53	22.74	25.06	27.49	30.05
600	7.16	8.54	10.06	11.72	13.52	15.47	17.55	19.77	22.13	24.64	27.28	30.07	32.99	36.06
700	8.36	9.97	11.74	13.68	15.78	18.04	20.47	23.07	25.82	28.74	31.83	35.08	38.49	42.07
800	9.55	11.39	13.42	15.63	18.03	20.62	23.40	26.36	29.51	32.85	36.38	40.09	43.99	48.08
900	10.74	12.81	15.09	17.58	20.29	23.20	26.32	29.66	33.20	36.96	40.92	45.10	49.49	54.09
1000	11.94	14.24	16.77	19.54	22.54	25.78	29.25	32.95	36.89	41.06	45.47	50.11	54.99	60.10
1100	13.13	15.66	18.45	21.49	24.79	28.35	32.17	36.25	40.58	45.17	50.02	55.12	60.49	66.11
1200	14.32	17.08	20.12	23.45	27.05	30.93	35.10	39.54	44.27	49.28	54.56	60.13	65.98	72.12
1300	15.52	18.51	21.80	25.40	29.30	33.51	38.02	42.84	47.96	53.38	59.11	65.15	71.48	78.13
1400	16.71	19.93	23.48	27.35	31.56	36.09	40.95	46.13	51.65	57.49	63.66	70.16	76.98	84.14
1500	17.91	21.35	25.16	29.31	33.81	38.66	43.87	49.43	55.34	61.60	68.21	75.17	82.48	90.15
1600	19.10	22.78	26.83	31.26	36.06	41.24	46.80	52.72	59.02	65.70	72.75	80.18	87.98	96.16
1700	20.29	24.20	28.51	33.21	38.32	43.82	49.72	56.02	62.71	69.81	77.30	85.19	93.48	102.16
1800	21.49	25.63	30.19	35.17	40.57	46.40	52.64	59.31	66.40	73.91	81.85	90.20	98.98	108.17
1900	22.68	27.05	31.86	37.12	42.83	48.98	55.57	62.61	70.09	78.02	86.39	95.21	104.48	114.18
2000	23.87	28.47	33.54	39.08	45.08	51.55	58.49	65.90	73.78	82.13	90.94	100.22	109.97	120.19
2100	25.07	29.90	35.22	41.03	47.33	54.13	61.42	69.20	77.47	86.23	95.49	105.24	115.47	126.20
2200	26.26	31.32	36.89	42.98	49.59	56.71	64.34	72.49	81.16	90.34	100.04	110.25	120.97	132.21
2300	27.45	32.74	38.57	44.94	51.84	59.29	67.27	75.79	84.85	94.45	104.58	115.26	126.47	138.22

#### 4.2 Influencia del manejo de rodales en el secuestro de carbono en plantaciones de *P. patula*.

Las plantaciones de *P. patula* por tener la bondad de soportar densidades altas y competencia intraespecífica, la empresa propietaria de los bosques había establecido plantaciones con densidades altas con el propósito de conseguir volúmenes altos. Para esta investigación se escogieron los rodales de 14 años que contaban con densidades altas. Considerando que el tiempo que se había efectuado la intervención del raleo fue de hace 4,5 años, con una intervención de raleo del 45% en relación a la densidad inicial de 2000 árboles ha<sup>-1</sup>, para dejar una densidad en entre 1000 a 1100 árboles ha<sup>-1</sup>.

Los valores promedios presentados de producción de carbono en plantaciones sin manejo fue de 56,248 t ha<sup>-1</sup> de una densidad promedio de la plantación de 1926 ha<sup>-1</sup>, notablemente superior a los presentados en plantaciones raleadas (con manejo) de 42,502 t ha<sup>-1</sup> de una densidad promedio de 1093 árboles ha<sup>-1</sup>. La recuperación de ocupación del sitio aun no está a su máxima producción a pesar que el bosque residual tiene densidades altas.

**Cuadro 9** Valores observados de captura de carbono en rodales manejados y no manejados en plantaciones de *P. patula* a los 14 años de edad.

Tratamientos	Observaciones			Suma	Promedio
	I	II	III		
<b>Sin manejo Cta (t/ha)</b>	64.651	52.268	51.826	168.745	56.248
<b>Con manejo Cta (t/ha)</b>	50.647	41.281	35.578	127.506	42.502
<b>Suma</b>	115.298	93.549	87.404	296.251	

El secuestro de carbono observado en las parcelas permanentes establecidas en plantaciones de *P. patula* a la edad de 14 años, plantaciones que cuentan con manejo (raleo o entresaca) y las que no han sido raleadas, En la Cuadro 9, se presenta el

análisis de varianza, estadísticamente presentan diferencia significativa entre tratamientos como observaciones con un nivel del 95% de confianza.

**Cuadro 10** Análisis de Varianza (ANOVA) de las plantaciones de *P. patula* para el análisis de la influencia de manejo.

ANALISIS DE VARIANZA						
Fuente	G.L	SC	CM	F	Valor <i>F</i> tabular	
					0.05	0.01
Repeticiones	2	214.811	107.41	30.8191	19.0000	99.0000 *
Tratamientos	1	283.45	283.44917	81.3335	18.513	98.503 *
Error	2	6.97	3.485022			
Total	5					

Se puede evidenciar en los Cuadro 8 y Cuadro 10, en donde se visualiza significativamente una producción mayor de captura de carbono cuando tienen densidades altas.

Los valores promedios sometidos a las prueba de comparación de Rango Múltiple de Duncan como a la Prueba de Tukey, se mantiene la diferencia estadística significativa del manejo al 95% de probabilidad. Es decir el raleo como manejo si influencia a la plantación *P. patula* en la captura de carbono  $t\ ha^{-1}$ .

**Cuadro 11** Prueba de comparación de medias de rango múltiple (DUNCAN) y Prueba de comparación de medias de Tukey, de producción de carbono en plantaciones de *P. patula* en rodales con manejo y sin manejo.

Manejo	Producción de Carbono total aéreo $t\ ha^{-1}$	Sin manejo (A)	Con manejo (B)	Grupo Duncan	Grupo Tukey
Sin manejo (A)	56.248	13.746	-	A	a
Con manejo (B)	42.502	-		B	b

Valor significativo del Rango Múltiple de Duncan al 0.05= 6.56 y al 0.01 = 15.09

Valores significativos de Tukey al 0.05= 6.5585; al 0.01=15.1325

Esta diferencia significativa encontrada al realizar aclareos también concuerda a lo expresado por Vásquez et al. (2015) en plantaciones de *P. patula* en donde expresan que “El aclareo no afectó significativamente la Productividad Primaria Neta aérea, ni la producción de hojarasca en ambas plantaciones. Pero, en cuanto a los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas en la plantación de 13 años fueron afectados significativamente por el aclareo; lo contrario ocurrió en la plantación de 15 años”

### **4.3 Manejo forestal para mejorar el secuestro de carbono en plantaciones de *Pinus patula***

#### ***4.3.1 Escenario actual de la actividad de raleo en el manejo P. patula***

La empresa propietaria de las plantaciones estipula la producción por medio de procesos para cada unidad productiva, el raleo es una actividad del régimen de manejo forestal establecido, la empresa detalla que la necesidad de raleo un rodal depende de la competencia intraespecífica que exista en el mismo, la cual reduce los crecimientos individuales de los árboles. Esta decisión se toma, por lo tanto, observando en un rodal el tamaño de las copas, el entrelazamiento entre ellas y la densidad de plantación. También puede sustentarse en inventarios simples que indiquen la densidad y área basal precisas.

Las actividades de raleo o entresaca en la empresa se resume en actividades con su orden como:

- a) La cuadrilla que hace el marcaje de raleo deberá identificar y marcar con pintura aquellos árboles a extraer según la prescripción técnica para cada rodal (densidad, área basal y volumen) y a su vez tengan las siguientes características:

- Notoriamente suprimidos
- Con curvaturas en el fuste
- Que afecten la calidad futura de la troza
- Con bifurcaciones en el fuste (con mayor razón si son en las primeras trozas)
- Con problemas serios de sanidad

Si existe un rodal denso, con alta competencia intraespecífica, en donde no existan mayores diferencias entre los árboles, se podrá hacer un raleo sistemático marcando los árboles con un patrón determinado e independiente de la calidad de los mismos: por ejemplo, uno de cada tres dentro de las hileras de plantación.

- b) Luego de realizar la marcación de raleo de un rodal o área, se hace un inventario forestal de pre raleo, esto con el fin de determinar su estado antes del raleo. La ejecución del raleo es efectuada por el proceso de cosecha y transporte forestal. Que luego de las actividades de raleo se procede a realizar otro inventario de post raleo en donde se puede determinar la densidad residual y volumen residual y si hace falta se puede realizar otra nueva intervención de raleo.

#### ***4.3.2 Acciones para mejorar el secuestro de carbono en plantaciones de *P. patula****

A pesar de que existe un proceso que define mucho como efectuar el raleo, actividad de manejo que tienen que ver con la densidad final de la plantación. El proceso no permite conseguir el máximo incremento de volumen y por ende el secuestro de carbono.

Se debe considerar y aprovechar los mejores Incrementos Medios Anuales (IMA) de la plantación es decir ralear oportunamente, al inicio de la mejor tendencia de

crecimiento y permitir que los árboles que están en el estrato superior o dominante incrementen su volumen en el período que presente su mejor IMA. Camacho citado por Alvarez (2013), expresa que la lucha por la permanencia de los árboles se nota por la posición relativa y el estado de copa de los árboles, los vigorosos ocupan posiciones superiores y tienen las mayores posibilidades de sobrevivir a la futura competencia, proceso conocido como diferenciación en clases de copas (Alvarez Yon, 2013). La poda de los árboles influencia mucho en los crecimientos de los árboles, lo que requiere que los árboles mantengan una copa que no afecte el crecimiento (recesión de crecimiento) es decir la altura de la copa no debe pasar del 50% de la altura del árbol total (Galloway, 1993).

Los escenarios de los regímenes de manejo no son una receta, están establecidos por los objetivos propuestos en proyectos de las plantaciones, considerando hacerlos oportunos, tomando en cuenta su genética y la respuesta de crecimiento de la especie según el Índice de sitio.

En los raleos, los sistemas de marcación de árboles o selección de árboles a extraer, ya sean sistemáticos como selectivos son los que permitirán programar el tipo de plantación futura. Es necesario escoger el mejor sistema de marcación para el objetivo propuesto. Utilizar el método de selección de árboles por lo bajo, con una intensidad de raleo que no supere el 30% del Área Basal, con priorización del área de ocupación del árbol en su distribución espacial, para llegar a la ocupación del sitio, sería lo deseable.

#### **4.4 Comprobación de las Hipótesis**

La cantidad total de carbono aéreo presente en las plantaciones de *P. patula*, sí está influenciado por la edad de la plantación. A medida que la plantación tiene más edad del establecimiento, aumenta la producción de carbono, inclusive a edades superiores a los 18 años, cifras de turnos de cosecha establecidos para la especie.

El raleo como la actividad del manejo que determina la densidad de la plantación si influencia proporcionalmente en la cantidad total de carbono aéreo presente en las plantaciones de *P. patula*. A medida que la plantación es intervenida con actividades de raleo, la producción total de carbono al final del turno disminuye, lo que significa que una plantación sin raleo llega a obtener más carbono que una intervenida.

## V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

La mejor ecuación que se ajusta para determinación de biomasa considerando al D (DAP en cm) como variable independiente es: “ $Y=3.755+0.403D+0.1812D^2$ ”. El buen ajuste que presenta la especie de *P. patula*, reafirma la confiabilidad estadística en la predicción de biomasa y la confiabilidad estadística de usar la ecuación propuesta para la determinación de captura de carbono mediante la aplicación del factor de conversión del IPCC de 0.5.

El potencial de producción de carbono de las plantaciones de *P. patula*, tiene una producción promedio de 3,253 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de Carbono total aéreo (Cta) para edades de 8 a 17 años, siendo valores similares a plantaciones establecidas en otros países. Lo que significa que la respuesta de crecimiento de la especie es parecida a pesar que existe diferentes sitios por estar en latitudes como altitudes diferentes.

La capacidad de producción de carbono en las plantaciones de *P. patula*, está dada principalmente por la edad y por la densidad, es decir por el régimen de manejo que se brinde por los raleos o entresacas. Debido a que la especie soporta competencia intraespecífica, plantaciones con más árboles ha<sup>-1</sup> serán los que aportarán mejor a la captura de carbono, por lo que será necesario cubrir una mayor superficie de plantaciones con esta especie con densidades altas.

Se debe considerar y aprovechar los mejores IMA de la plantación, raleando oportunamente con determinados sistemas de marcación de árboles o selección de árboles a extraer, utilizando el método de selección de árboles por lo bajo, con una



intensidad de raleo que no supere el 30% del Área Basal, con priorización del área de ocupación del árbol en su distribución espacial y acompañados con un régimen de podas que no afecten el crecimiento de los árboles, podas que no sobrepasen el 50% de la altura del árbol total (Galloway, 1993).

La producción de carbono en el área de estudio como las plantaciones establecidas en el país, están marginadas ya que son plantaciones que están ubicadas en altitudes que van desde 3200 hasta 3500 m y en ocasiones superiores a los 3600 m, debido esto a que estos suelos en el país son los que están disponibles para este tipo de cultivos. Si se establecieran en altitudes menores probablemente se consiga que la producción de captura de carbono sea mayor.

La recuperación de ocupación del sitio afectado por el raleo no llega al que se estima su proyección con su densidad original de establecimiento, a pesar que esta está en su máxima producción y considerando que el bosque residual tiene densidades altas. Esto principalmente por que la especie de *Pinus patula* soporta densidades altas y competencia intraespecífica.

## 5.2 Recomendaciones

Conocer la densidad más alta de árboles  $\text{ha}^{-1}$  que soporte las plantaciones de *P. patula*, para obtener la mejor producción de volumen como el mejor secuestro de carbono total aéreo (Cta), que no afecte la producción de madera en lo que respecta a calidad como agotamiento de suelos.

Realizar investigaciones de captura de carbono considerando los niveles altitudinales como de índices de sitio y relacionados con los usos de suelo y de aptitud, para zonificar áreas que pudieran tener la productividades altas y fomentar proyectos de forestación en estas áreas.

Realizar investigaciones de captura de carbono con la especie de *P. radiata*, por ser otra especie que ha sido mayormente establecida en plantaciones forestales en sierra ecuatoriana, para contar con información similar a esta investigación y proyectar la aportación de captura de carbono por las plantaciones de pino.

Realizar investigaciones que permitan cuantificar la biomasa de las plantaciones que se queda en terreno en el proceso de aprovechamiento forestal, para que se considere el carbono que es revertido al suelo como materia orgánica y cuanto se emite a la atmosfera como CO<sub>2</sub>. Así como es necesario realizar investigaciones de C y biomasa superficial y subterránea y C contenido en el suelo en este tipo de plantaciones.

Realizar y determinar cuál es valor ambiental económico que aporta como captura de carbono las plantaciones establecidas de *P. patula* como sumideros de carbono, en el mercado de Bonos de Carbono, para contar con estadísticas de aportación al cambio climático.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta-Mireles, M., Vargas-Hernández, J., Velásquez-Martínez, A., & Etchevers-Barra, J. D. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oxaca, México. *Revista Agrociencia; Colegio de Postgraduados, Vol. 36*, pp. 725-736.
- Alvarez Yon, J. A. (2013). *Evaluación de tres intensidades de raleo en plantaciones de Pino (Pinus caribea var. hondurensis); Cobán, Alta Verapaz*. San Juan Chamelco, Alta Verapaz: Universidad Rafael Landívar, Tesis de grado.
- Alvarez, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia*. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado como requisito para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad, CATIE, Centro agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.
- Burgos Córdova, D. A., Cerda Cerda, A. Y., Cueto Wong, J. A., Muños Villalobos, J. A., & Gándara Solis, A. K. (2012). *Determinación de Carbón Total y Carbón Orgánico en diferentes Suelos usando Método de Combustión Seca*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (INIFAP CENID RASPA).
- Cabrera Gaillard, C. (2003). *Plantaciones Forestales: Oportunidades para el Desarrollo Sostenible*. Guatemala: Serie de documentos Técnicos No. 6; Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. IARNA-URL; Universidad Rafael Landívar.
- Calderón Reyes, D. A., & Solis Urbina, D. E. (2012). *Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de Pino (Pinus oocarpa, L) Dipilto, Nueva Segovia, Nicaragua*. Managua: Universidad Nacional Agraria; Tesis de grado.
- Cancino, J. (2006). *Dendrometría básica* (1 ed.). Concepción, Chile: Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales.
- De la Cruz, J. L. (2014). *Cuantificación de Carbono y Producción de Oxígeno en una Plantación de Tres Procedencias de Pinus cembroides Zucc., en Arteaga*,

Coahuila, México. Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de grado.

- Diaz Franco, R., Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., Buendía Rodríguez, E., Flores Ayala, E., & Etchevers Barra, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revista Madera y Bosques*, Vol. 13(1), pp. 25-34.
- Eguren C., I. (2004). *El mercado de carbono en América y el Caribe: balance y perspectivas*. Santiago de Chile, Chile: Medio ambiente y desarrollo; División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL; GTZ.
- Figueroa Navarro, C. M. (2010). *Almacenamiento de carbono en bosques manejados de Pinus patula en el Ejido La Mojonera, Zacualtipan, Hidalgo*. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Tesis de investigación.
- Fonseca, W., Alice, F., & Rey, J. (2009). Modelos para estimar biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Revista Bosque*, Vol.30(1), pp. 30 - 47.
- Galloway, G. (1993). *Manejo de Plantaciones Forestales; Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE* (Vol. Manual Técnico No. 7). Turrialba, Costa Rica.
- García Martínez, A. (2014). *Estimación de Biomasa Aérea de Pinus cembroides Zuc. Usando un método indirecto, en una plantación en Arteaga, Coahuila*. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Tesis de grado.
- Gayoso A, J., & Guerra C, J. (2005). Contenido de Carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Revista Bosque*, Vol. 26(2), pp. 33-38.
- Gómez Díaz, J. D., Etchevers Barra, J. D., Monterrosos Rivas, A. I., Campo Alvez, J., & Tinoco Rueda, J. A. (2011). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Vol. 17(2), pp. 261-271.
- González Zárate, M. (2008). *Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi H. E. More, Pinus oocarpa var. ochoteranoi Mtz. y Quercus sp. en el norte del Estado de Chiapas, México*. Turrialba, Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.

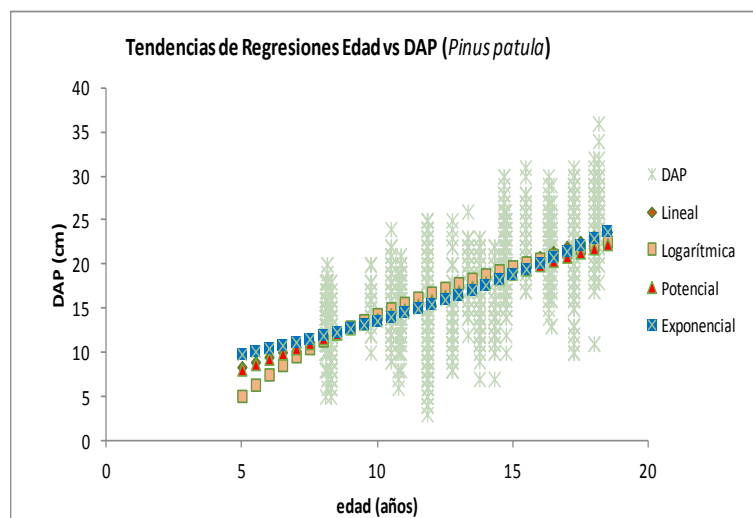
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry (GPG LULUCF)*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). National Greenhouse Gas Inventories Programmes.
- Jiménez Pérez, J., Treviño Garza, E. J., & Yerena Yamallel, J. I. (2013). Concentración de carbono en especies del bosque de Pino - Encino en la Sierra Madre Oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Vol. 4(17)*, pp. 50-61.
- Luckie Navarrete, S. L. (2010). *Biomasa aérea y captura de carbono en una plantación de Pinus michoacana Mart. y Pinus Pseudostrobus Lindl., en Jerécuaro, Guanajuato*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Tesis de grado.
- Méndez Gonzales, J., Luckie Navarrete, L., Capó Arteaga, M. Á., & Nájera Luna, J. A. (2011). Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa y carbono en una plantación mixta de Pinus devoniana Lindl. y P. pseudostrobus Lindl. en Guanajuato, México. *Revista Agrociencia, Vol. 45(4)*, pp.479-491.
- Molina Molina, A. B. (2013). *Acciones Legislativas para aplicación del protocolo de Kyoto en el Ecuador*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Montoya Vázquez, R. (2014). *Cuantificación de Biomasa Aérea, Carbono y Oxígeno en Pinus alepensis Mill., en Arteaga, Coahuila, México*. Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de grado.
- Navar, J., González, N., & Graciano, J. (2001). Ecuaciones para estimar componentes de biomasa en plantaciones Forestales de Durango, México. *Simposio internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*, (pág. 12). Durango.
- Ordóñez, J., & Maser, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Revista Madera y Bosques; Instituto de Ecología A.C., Vol. 7(1)*, pp.3-12.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, F. (2010). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010, Términos y Definciones*. Forestal, Roma.

- Ospina, C., Hernández, R., Rincón, E., Sánchez, F., Urrego, J., & Rodas, .. (2011). *El Pino pátula, Pinus patula Schiede and Deppe in Schlecht. & Cham.*, Manizales, Colombia: Blanecolor S.A.S.; Guías Silviculturales.
- Pacheco Aquino, G., Duran Medina, E., & Ordóñez Díaz, J. A. (2014). Estimación del carbono arbóreo en el área de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Vol. 6, pag 29.
- Pacheco, F., Aldrete, A., Gómez, A., Fierros, A., Cetina, V., & Vaquera, H. (2007). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnica Mexicana*, Vol.30(3), pp 251-254.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., & Pipatti, & o. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.
- Pimienta de la Torre, D. d., Domínguez Cabrera, G., Aguirre Calderón, O., Hernández, F. J., & Jiménez Pérez, J. (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Madera y Bosques; Instituto de Ecología A.C.*, Vol. 13(1), pp. 35-46.
- Rodríguez Ortiz, G., De los Santos Posadas, H. M., Gonzáles Hernández, V. A., Aldrete, A., Gomez Gerrero, A., & Fierros Gonzales, A. M. (2012). Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de pino de rápido crecimiento en Oaxaca. (A. Instituto de Ecología, Ed.) *Revista Madera y Bosques*, Vol. 18(1), pp 25-42.
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., & Aguirre-Calderón, O. A. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de Pino encino en la reserva de la Biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. (U. A. México, Ed.) *Revista Ra Ximhai*, Vol. 5(3), pp 317-327.
- Rojas, M. (2014). Carbono almacenado plantaciones forestales de *Pinus caribaea*, *Cupressus lusitanica* y *Eucalyptus deglupta* en el Proyecto Hidroeléctrico Cachí. *Revista de Ciencias Ambientales, Tropical Journal of Environmental Sciences*, Vol. 47(1), pp.5-15.
- Romhan de la Vega, C. F., & Ramírez Maldonado, H. (2010). *Dendrometría*. Chapingo: División de Ciencias Forestales; Universidad Autónoma de Chapingo.

- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Lima, Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF);Amazónica, Consórcio Iniciativa Amazónica (IA).
- Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2001). *Medición de la Capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado Mundial, Manual de Procedimientos, Muestreos de Biomasa Forestal*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Segura, M., Kanninen, M., & Suárez, D. (Junio de 2006). Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffe bushes grown together. *Rev. Agroforest Syst;*, Vol 68, pp. 143 -150.
- Tapia, J., & José, N. (2011). Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México. *Revista Foresta Veracruzana; Recursos Genéticos Forestales*, Vol.13(2), pp.19-28.
- Toro Vergara, J. (2004). Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales. *Revista Bosque*, Vol. 25(2), pp. 101-113.
- Torres Rojo, J. M. (2001). Curvas de Índice de sitio de foma y escala variables en Investigación forestal. *Revista Agrociencia*, Vol. 3(1), pp.87-98.
- Vásquez García, I., López López, M., Ángeles Pérez, G., Trinidad Santos, A., Jiménez Casas, M., & Aguilar Benítez, G. (2015). Aclareo y fertilización química en la productividad primaria neta de plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias*, Vol. 6(31), pp 82-93.
- Yáñez Sandoval, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Revista Gaceta Ecológica; Secretaría de medio Ambiente y recursos Naturales*(Num. 70), pp. 5-18.
- Yerena Yamallel, J. I., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., & Alanís Rodríguez, E. (2012). Concentración de carbono en el fuste de 21 especies de coníferas del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Vol. 3(13), pp. 45-56.

## ANEXOS

### Anexo 1 Regresiones Edad vs DAP en la dispersión diamétrica de los árboles en la plantación de *Pinus patula*



### Estadígrafos de la correlación Edad vs DAP

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.6834496
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.46710336
R <sup>2</sup> ajustado	0.46682465
Error típico	3.95670125
Observaciones	1914

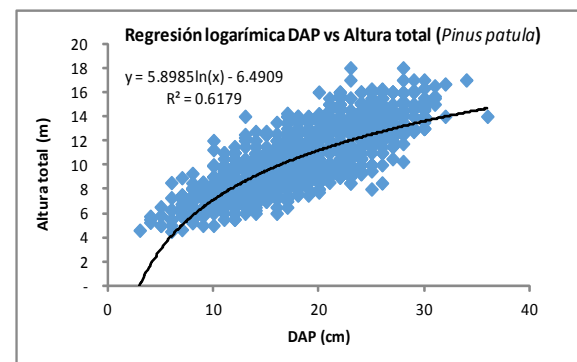
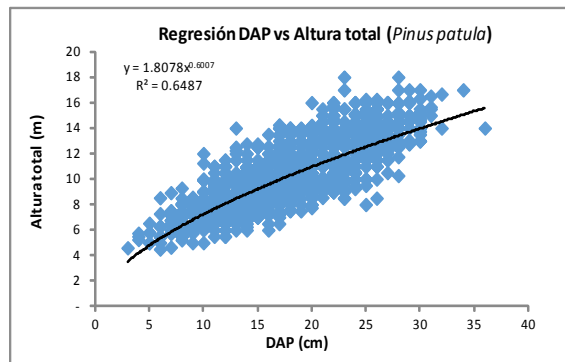
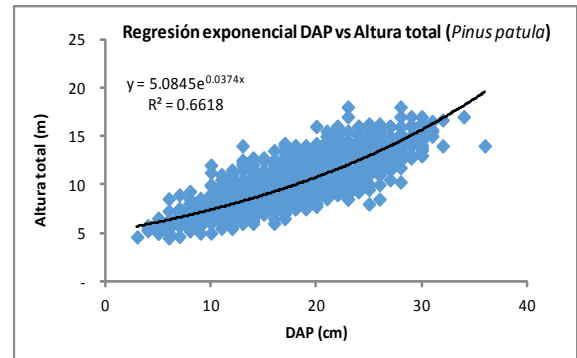
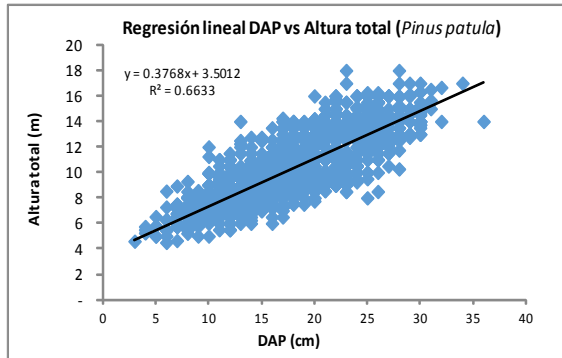
#### ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	26237.6186	26237.6186	1675.937796	1.25E-263
Residuos	1912	29933.2868	15.65548475		
Total	1913	56170.9054			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	2.6626748	0.3634257	7.3266010	0.0000000	1.9499224	3.3754272	1.9499224	3.3754272
Variable X 1	1.1367661	0.0277678	40.9382193	0.0000000	1.0823077	1.1912246	1.0823077	1.1912246



## Anexo 2 Regresiones y Estadígrafos de la correlación DAP vs Altura total de los árboles medidos de *Pinus patula*



### Estadígrafos de la correlación DAP vs Altura total

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.814449901
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.663328641
R <sup>2</sup> ajustado	0.663152558
Error típico	3.14495803
Observaciones	1914

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

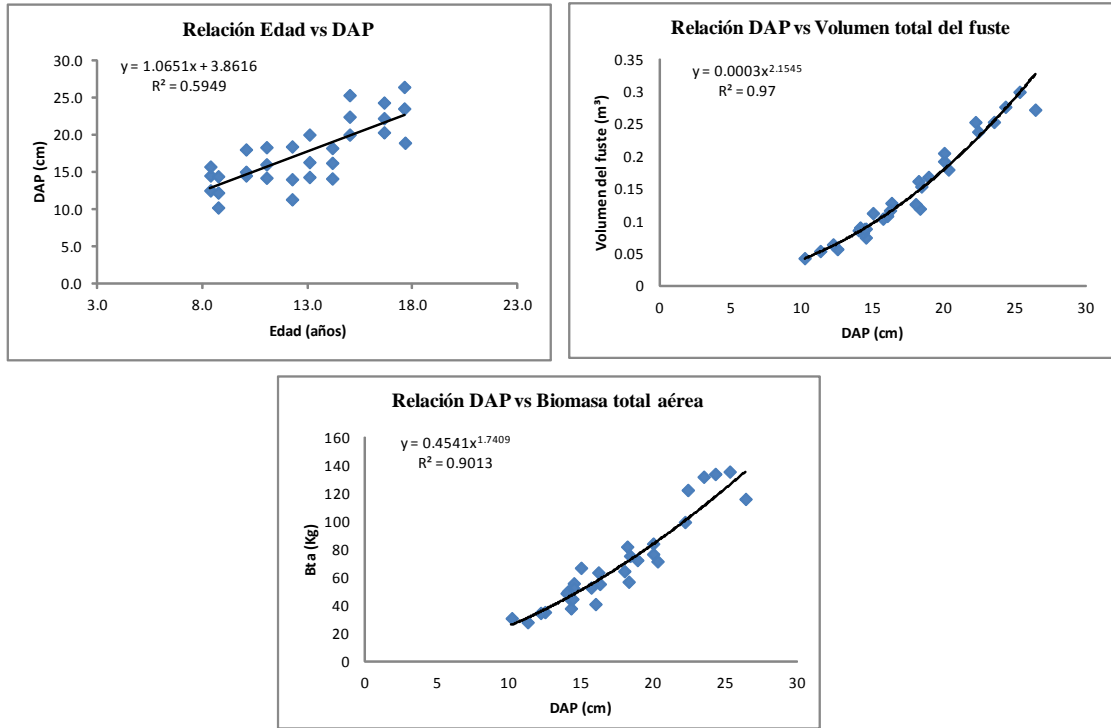
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	37259.77038	37259.77038	3767.128772	0
Residuos	1912	18911.13505	9.89076101		
Total	1913	56170.90543			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-0.416240954	0.293869852	-1.416412577	0.156817637	-0.9925801	0.1600982	-0.99258011	0.1600982
Variable X 1	1.760547008	0.028684177	61.37694007	0	1.70429144	1.81680257	1.70429144	1.81680257

**Anexo 3** Tabla de datos del modelo alométrico, aporte en la biomasa total aérea por el fuste y follaje en *P. patula*.

Arbol No.	DAP (cm)	Edad (años)	Altura total (m)	Volumen total del fuste (m <sup>3</sup> )	Peso verde Fuste Total (Kg)	Peso verde Total Follaje (Kg)	Peso seco Fuste Total (Kg)	Peso seco Follaje (Kg)	Biomasa Total aérea (Kg)	Aporte de la biomasa aérea por el fuste (%)	Aporte de la biomasa aérea por el follaje (%)
1	23.5	17.6	12.6	0.25	259.10	73.95	100.37	31.41	131.78	0.76	0.24
2	26.4	17.6	12.3	0.27	251.75	67.15	95.14	20.80	115.94	0.82	0.18
3	14.5	8.4	8.8	0.07	79.10	60.70	30.09	25.56	55.66	0.54	0.46
4	15.7	8.4	10.2	0.10	90.29	50.58	33.27	19.34	52.61	0.63	0.37
5	12.5	8.4	8.0	0.06	55.42	32.05	21.76	13.34	35.10	0.62	0.38
6	14.2	11.0	10.3	0.09	77.40	46.81	26.27	18.51	44.78	0.59	0.41
7	18.3	11.0	10.6	0.12	103.92	41.98	40.06	16.72	56.78	0.71	0.29
8	16.0	11.0	9.7	0.11	101.66	26.55	29.89	10.92	40.81	0.73	0.27
9	14.5	10.1	8.9	0.09	79.57	44.75	33.79	18.15	51.94	0.65	0.35
10	15.0	10.1	10.5	0.11	112.11	47.70	44.39	22.30	66.68	0.67	0.33
11	18.0	10.1	10.2	0.13	114.30	51.45	43.62	20.74	64.36	0.68	0.32
12	20.0	15.0	12.4	0.19	177.95	43.85	61.44	15.11	76.55	0.80	0.20
13	22.4	15.0	13.1	0.24	230.11	93.95	81.91	40.41	122.32	0.67	0.33
14	25.3	15.0	13.1	0.30	286.91	73.55	105.79	29.69	135.47	0.78	0.22
15	16.3	13.1	11.7	0.13	99.70	26.20	43.25	11.94	55.18	0.78	0.22
16	20.0	13.1	12.7	0.20	161.43	45.40	63.83	20.17	84.00	0.76	0.24
17	14.3	13.1	10.2	0.08	67.37	19.80	29.54	8.21	37.75	0.78	0.22
18	24.3	16.6	12.2	0.28	272.23	101.00	95.23	38.55	133.79	0.71	0.29
19	22.2	16.6	13.0	0.25	218.32	38.20	83.21	16.24	99.45	0.84	0.16
20	20.3	16.6	12.8	0.18	162.99	26.70	60.66	10.68	71.34	0.85	0.15
21	18.9	17.6	12.3	0.17	128.39	45.15	54.58	17.65	72.24	0.76	0.24
22	14.1	14.2	11.0	0.09	84.08	32.10	36.51	13.44	49.95	0.73	0.27
23	18.2	14.2	12.5	0.16	148.90	54.20	59.77	22.07	81.83	0.73	0.27
24	16.2	14.2	9.8	0.12	90.60	58.20	39.39	24.01	63.40	0.62	0.38
25	18.4	12.3	12.3	0.15	146.40	42.20	57.27	17.98	75.25	0.76	0.24
26	14.0	12.3	10.2	0.09	84.70	31.20	34.88	13.69	48.57	0.72	0.28
27	11.3	12.3	10.4	0.05	52.70	18.70	20.57	7.28	27.85	0.74	0.26
28	12.2	8.7	9.4	0.06	61.84	24.10	25.50	8.97	34.46	0.74	0.26
29	14.4	8.7	9.2	0.09	76.77	39.30	27.93	16.52	44.45	0.63	0.37
30	10.2	8.7	8.0	0.04	37.73	22.70	22.40	8.29	30.70	0.73	0.27
Suma			328.2	4.3	3913.7	1380.2	1502.3	558.7	2061.0	21.526	8.474
Mínimo			8.0	0.0	37.7	18.7	20.6	7.3	27.9	0.541	0.150
Máximo			13.1	0.3	286.9	101.0	105.8	40.4	135.5	0.850	0.459
Promedio			10.94	0.14	130.46	46.01	50.08	18.62	68.70	0.718	0.282
Desviación estándar			1.584	0.075	71.624	20.465	25.622	8.270	31.845	0.075	0.075

**Anexo 4** Tabla de datos del modelo alométrico, aporte en la biomasa total aérea por el fuste y follaje en *P. patula*

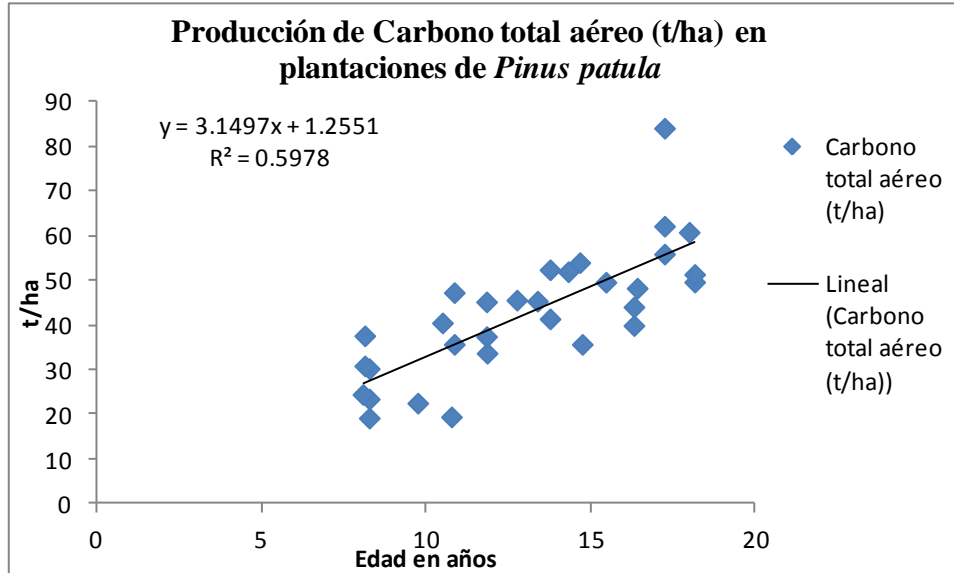


Estadígrafos de correlaciones: Edad vs DAP; DAP vs Volumen del fuste y DAP vs Biomasa total aérea (Bta)

		Correlaciones			
		DAP (cm)	Edad (años)	Volumen Fuste (m3)	Biomasa Total Aérea (Kg)
DAP (cm)	Correlación de Pearson	1	,771**	,979**	,942**
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000
	N	30	30	30	30
Edad (años)	Correlación de Pearson	,771**	1	,793**	,724**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000
	N	30	30	30	30
Volumen Fuste (m3)	Correlación de Pearson	,979**	,793**	1	,963**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000
	N	30	30	30	30
Biomasa Total Aérea (Kg)	Correlación de Pearson	,942**	,724**	,963**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	
	N	30	30	30	30

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

**Anexo 5** Regresión y Estadígrafos de la correlación Edad vs Carbono Total Aéreo en las plantaciones de *Pinus patula*



*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0.773149
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.59775938
R <sup>2</sup> ajustado	0.58388901
Error típico	9.03347557
Observaciones	31

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	3516.80439	3516.804385	43.096149	3.426E-07
Residuos	29	2366.50674	81.60368081		
Total	30	5883.31113			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad d	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	1.25507096	6.48280805	0.193599896	0.84783884	-12.00376	14.5139019	-12.00376	14.5139019
Variable X 1	3.14974881	0.47979607	6.564765722	3.426E-07	2.16845568	4.13104195	2.16845568	4.13104195

**Anexo 6** Matriz de coherencia

**“Determinación de la captura de carbono aéreo y la influencia del manejo en plantaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham., en Lasso, provincia de Cotopaxi, Ecuador”**

**OBJETIVO GENERAL:** Cuantificar el potencial de captura de Carbono total aéreo en las plantaciones de *P. patula* en la sierra centro del Ecuador y su relación con el manejo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS	MARCO TEORICO	METODOLOGÍA	RESULTADOS	DISCUSION	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
	Correlaciones de Edad- DAP en las plantaciones	Selección de muestra	Coefficiente de correlación baja de 0.68345 entre la edad de la plantación y el DAP de todos los árboles y un coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) de 0.4671	Algunos investigadores como: Raev; Brown; Gayoso y Schlegel citados por Méndez, Luckie, Capó y Nájera (2011) expresan y concuerdan que existe una alta correlación entre el diámetro normal o DAP y volumen, pero no entre DAP y biomasa y/o DAP y captura de carbono, además expresan que son patrones similares en casi todos los sistemas (Méndez et al., 2011). Esto sucede en lo que respecta al volumen pero también se encontró correlación alta de 0.9013 de coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) con la biomasa y/o carbono en los árboles.	La mejor ecuación que se ajusta para determinación de biomasa considerando al diámetro en cm como variable independiente es: “ $Y=3.755+0.403D+0.1812D^2$ ”. El buen ajuste que presenta la especie de <i>P. patula</i> , reafirma la confiabilidad estadística en la predicción de biomasa y la confiabilidad estadística de usar la ecuación propuesta para la determinación de captura de carbono mediante la aplicación del factor de conversión del IPCC de 0.5	Realizar y determinar cuál es valor ambiental económico que aporta como captura de carbono las plantaciones establecidas de <i>P. patula</i> como sumideros de carbono, en el mercado de Bonos de Carbono, para contar con estadísticas de aportación al cambio climático
	Cubicación de volumen de árboles individuales	Recopilación de información				
	Ecuaciones alométricas para estimación de Biomasa	Sistematización de información	El carbono total aéreo de los árboles en las plantaciones de <i>P. patula</i> está distribuido el 71.8 % en el fuste y el 28.2 % en el follaje (ramas, acículas y conos)			
	Modelos de crecimiento y	Análisis descriptivo				
		Elaboración de cuadros sistematizados	Correlación entre el DAP y el volumen del fuste de 0,979 en los árboles del	Existe correlación entre el DAP y el volumen del fuste de 0,979. Mientras que la correlación	El potencial de producción de carbono de las plantaciones de <i>P. patula</i> , tiene una producción promedio de 3,253 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> de Carbono total aéreo (Cta) para	

Determinar la relación de edad y captura de carbono de plantaciones de <i>P. patula</i>	volumen		proceso destructivo.	encontrada entre el diámetro y la biomasa total aérea, fue de 0.942 con un estadígrafo de bondad de ajuste como el coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) de 0.9013, este valor es superior a los ajustes encontrados en <i>P. pseudostrabus</i> con un coeficiente de determinación R <sup>2</sup> de 0.87 y de 0.73 en <i>P. devoniana</i> (Méndez et al., 2011) y menor al encontrado en bosques de pino-encino expresado que fue mayor al 0.95 para la determinación de la biomasa de los árboles (Rodríguez-Laguna, Jiménez-Pérez, & Aguirre-Calderón, 2009), valor similar encontrado de 0,91 en <i>P. pseudostrabus</i> (Luckie Navarrete, 2010) y es menor al encontrado en un bosque manejado de <i>P. patula</i> de 0.974 de coeficiente R <sup>2</sup> en Zacualtipan, México	edades de 8 a 17 años, siendo valores similares a plantaciones establecidas en otros países. Lo que significa que la respuesta de crecimiento de la especie es parecida a pesar que existe diferentes sitios por estar en latitudes como altitudes diferentes.	Realizar investigaciones que permitan cuantificar la biomasa de las plantaciones que se queda en terreno en el proceso de aprovechamiento forestal, para que se considere el carbono que es revertido al suelo como materia orgánica y cuanto se emite a la atmosfera como CO <sub>2</sub> . Así como es necesario realizar investigaciones de C y biomasa superficial y subterránea y C contenido en el suelo en este tipo de plantaciones.
	Captura de carbono	Selección de árboles tipo	Correlación entre el DAP y la Biomasa total aérea, fue de 0.942 con un estadígrafo de bondad de ajuste como el coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) de 0.9013 de los árboles del proceso destructivo.			
	Biomasa y carbono	Proceso destructivo				
	Determinación de Biomasa	Secado de muestras	La ecuación alométrica que mejor se ajusto considerando al DAP en cm como variable independiente ó predictoras es: $Y = 3.755 + 0.403 + 0.1812DAP^2$	El potencial de producción de carbono total aéreo de las plantaciones de <i>P. patula</i> encontrado es similar al que expone una plantación de <i>P. greggi</i> de 6 años de edad que tiene una producción de 17,9 t ha <sup>-1</sup> (Pacheco, et al., 2007), que equivale a 2,983 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> de Carbono total aéreo (Cta).		
	Proceso destructivo en la determinación de Biomasa	Sistematización de información				
		Ajuste de ecuaciones				
		Correlaciones y regresiones	El contenido de carbono total aéreo expresado en las plantaciones de <i>P. patula</i> tiene un coeficiente de correlación de 0.773 en relación con la edad de la plantación y un coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) de 0.598	El contenido de carbono total aéreo expresado en las plantaciones de <i>P. patula</i> es mejor al valor del coeficiente de correlación entre la edad de la plantación con el DAP de los árboles que presenta un coeficiente de 0.68345, esto dado a que la plantación cuenta con árboles con un amplio rango de distribución	Como valor máximo se encontró una producción total de carbono total aéreo de 83.952 t ha <sup>-1</sup> de Cta a los 17 años pero con densidades altas de 1360 árboles ha <sup>-1</sup> .	
	Análisis e Interpretación de resultados			La producción de carbono en el área		

		A través del SPSS Statistics 21 y hojas de Excel se utilizarán estadísticos de correlación para la interpretación de resultados	El potencial de producción de Carbono total aéreo de las plantaciones de <i>P. patula</i> del sector, para la edad que está comprendida entre los 8 a 18 años en promedio tiene una producción de 3,253 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	de la clase diamétrica, en cambio la cantidad de carbono total aéreo capturado por la plantación está dada por la edad y por la densidad de la plantación. Esta respuesta está definida por las bondades de la especie que “permite competencia intraespecífica y acepta densidades altas”.	de estudio como las plantaciones establecidas en el país, pueden estar marginadas ya que son plantaciones que están ubicadas en altitudes que van desde 3200 hasta 3500 m y en ocasiones superiores a los 3600 m, debido esto a que estos suelos en el país son los que están disponibles para este tipo de cultivos. Si se establecieran en altitudes menores probablemente se consiga que la producción de captura de carbono sea mayor.	
		Selección de muestra  Recopilación de información  Sistematización de información  Comparación de los valores del tipo de manejo por medio del	Los valores promedios presentados de producción de carbono en plantaciones sin manejo fue de 56,248 t ha <sup>-1</sup> de una densidad promedio de la plantación de 1926 ha <sup>-1</sup> , notablemente superior a los presentados en plantaciones raleadas (con manejo) de 42,502 t ha <sup>-1</sup> de una densidad promedio de 1093 árboles ha <sup>-1</sup> .  El secuestro de carbono		El raleo como parte del manejo si influencia a la plantación <i>P. patula</i> en la captura de carbono t ha <sup>-1</sup> .  La recuperación de ocupación del sitio afectado por el raleo no llega al que se estima su proyección con su densidad original de establecimiento a pesar que esta	Conocer la densidad más alta de árboles ha <sup>-1</sup> que soporte las plantaciones de <i>P. patula</i> , para obtener la mejor producción de volumen como el mejor secuestro de carbono total aéreo, que no afecte la producción de madera en lo que respecta a calidad como agotamiento de suelos.  Realizar investigaciones de

Analizar la influencia del manejo de rodales en el secuestro de carbono en plantaciones de <i>P. patula</i>	Índices de sitio	Análisis de Varianza (ANOVA) con la prueba de comparación F, al 95 y 99 % de probabilidad con repeticiones u observaciones.	observado en plantaciones de <i>P. patula</i> a la edad de 14 años, plantaciones que cuentan con manejo (raleo o entresaca) y las que no han sido raleadas, estadísticamente presentan diferencia significativa entre tratamientos como observaciones con un nivel del 95% de confianza.	Esta diferencia significativa encontrada al realizar aclareos también concuerda a lo expresado por Vásquez et al. (2015) en plantaciones de <i>P. patula</i> en donde expresan que “El aclareo no afectó significativamente la Productividad primaria neta aérea, ni la producción de hojarasca en ambas plantaciones. Pero, en cuanto a los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas en la plantación de 13 años fueron afectados significativamente por el aclareo; lo contrario ocurrió en la plantación de 15 años”	está en su máxima producción y considerando que el bosque residual tiene densidades altas . Esto principalmente por que la especie de <i>Pinus patula</i> soporta densidades altas y competencia intraespecífica.	captura considerando los niveles altitudinales como de índices de sitio y relacionados con los usos de suelo y de aptitud, para zonificar áreas que pudieran tener la productividades altas y fomentar proyectos de forestación en estas áreas.
	Mejoramiento de la productividad en las plantaciones forestales	Prueba de comparación Duncan y la prueba de comparación de Tukey	Los valores promedios sometidos a las prueba de comparación de Rango Múltiple de Duncan como a la Prueba de Tukey, mantiene la diferencia estadística significativa del manejo al 95% de probabilidad.			Realizar investigaciones de captura de carbono con la especie de <i>P. radiata</i> , por ser otra especie que ha sido mayormente establecida en plantaciones forestales en sierra ecuatoriana, para proyectar la aportación de captura de carbono por las plantaciones de pino.
	Aclareos como actividad de Manejo y productividad de las plantaciones	Análisis e Interpretación de resultados				
	Importancia de las plantaciones forestales					
	Mejoramiento de la		Existe un proceso que define mucho como		En los raleos, los sistemas de marcación de árboles a extraer, ya	Se debe considerar y aprovechar los



<p>Proponer acciones para mejorar el secuestro de carbono en plantaciones de <i>P. patula</i></p>	<p>productividad en las plantaciones forestales</p> <p>Aclareos como actividad de Manejo y productividad de las plantaciones</p>	<p>Escenario de la actividad de raleo como Régimen de manejo.</p> <p>Análisis de escenario de manejo</p>	<p>efectuar el raleo, actividad de manejo que tienen que ver con la densidad final de la plantación.</p> <p>El proceso no permite conseguir el máximo incremento de volumen y por ende el secuestro de carbono.</p>	<p>Los escenarios de los regímenes de manejo no son una receta, están establecidos por los objetivos propuestos en proyectos de las plantaciones, considerando hacerlos oportunos, tomando en cuenta su genética y la respuesta de crecimiento de la especie según el Índice de sitio</p>	<p>sean sistemáticos como selectivos son los que permitirán programar el tipo de plantación futura. Es necesario escoger el mejor sistema de marcación para el objetivo propuesto.</p> <p>Utilizar el método de selección de árboles por lo bajo, con una intensidad de raleo que no supere el 30% del Área Basal, con priorización del área de ocupación del árbol en su distribución espacial, para llegar a la ocupación del sitio, sería lo deseable.</p>	<p>mejores Incrementos Medios Anuales (IMA) de la plantación raleando oportunamente, al inicio de la mejor tendencia de crecimiento y permitir que los árboles que están en el estrato superior o dominante incrementen su volumen en el período que presente su mejor IMA.</p> <p>La poda de los árboles influencia mucho en los crecimientos de los árboles, lo que requiere que los árboles mantengan una copa que no afecte el crecimiento (recesión de crecimiento) es decir la altura de la copa no debe pasar del 50% de la altura del árbol total (Galloway, 1993).</p>
---	--	--	---	---	---	---

**Anexo 7** Plano del Patrimonio forestal de la empresa de Aglomerados Cotopaxi S.A.,  
 área de estudio

