

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

1. **TÍTULO:** “BALANCE ENTRE BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIÓN DE *Pinus tecunumanii* EGUILUZ & PERRY (PINO) Y *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE (ARAUCARIA) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA FAVORITA, PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”

2. **AUTOR:** Luis Andrés Montoya Verdezoto.

3. **DIRECTOR:** Ing. Walter Armando Palacios Cuenca

4. **COMITÉ LECTOR:** Ing. María Vizcaíno. Esp

 Ing. Hugo Vallejos. Mgs

 Ing. Eduardo Chagna. Mgs

5. **AÑO:** 2017

6. **LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN:** Estación Experimental La Favorita de la UTN, Ibarra.

7. **BENEFICIARIOS:** Aportará conocimiento al sector forestal relacionado con la producción de biomasa y captura de carbono.

HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



APELLIDOS: Montoya Verdezoto

NOMBRES: Luis Andrés

C. CIUDADANIA: 100xxxxxx-x

TELÉFONO CONVENCIONAL: 2 520 381

TELEFONO CELULAR: 0996941977

CORREO ELECTRÓNICO: nenfre_25@outlook.com

DIRECCIÓN: Otavalo, ciudadela Proaño Maya, calle Posada de Ubidia y Walambary.

AÑO: 2017

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 03 de agosto del 2017

Montoya Verdezoto Luis Andrés: “BALANCE ENTRE BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIÓN DE *Pinus tecunumanii* EGUILUZ & PERRY (PINO) Y *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE (ARAUCARIA) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA FAVORITA, PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”/Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. **Ibarra, 03 de agosto del 2017. 12 páginas.**

DIRECTOR: Ing. Walter Armando Palacios Cuenca.

El objetivo general de la investigación fue: determinar el balance entre la cantidad de biomasa y carbono secuestrado en las plantaciones de *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*. Entre los objetivos específicos se encuentra: cuantificar la biomasa aérea y superficial, calcular el carbono capturado, determinar el balance entre biomasa y carbono, comparar la producción de biomasa y captura de carbono entre las plantaciones de *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*

Fecha: 03 de agosto del 2017



Ing. Walter Armando Palacios Cuenca

Director de trabajo de titulación



Luis Andrés Montoya Verdezoto

Autor

**“BALANCE ENTRE BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIÓN DE *Pinus tecunumanii*
EGUILUZ & PERRY (PINO) Y *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE (ARAUCARIA) EN
LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA FAVORITA, PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE
LOS TSÁCHILAS”.**

Autor: Luis Andrés Montoya Verdezoto
Director de trabajo de titulación: Ing. Walter Armando Palacios Cuenca
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales
Carrera de Ingeniería Forestal
Universidad Técnica del Norte
Ibarra-Ecuador
nenfre_25@outlook.com
Teléfono: 2520381/0996941977

RESUMEN

Se realizó un estudio para cuantificar la biomasa y contenido de carbono en *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*. Esta investigación es para conocer el valor real de carbono atmosférico secuestrado y transformado en biomasa mediante la fotosíntesis. El estudio se realizó en la Estación Experimental La Favorita perteneciente al cantón Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. El área de investigación se encuentra entre las formaciones vegetales, bosques siempre verde montano bajo de la cordillera occidental de los Andes ubicada entre 1300 a 1800 msnm. y bosque de neblina montano bajo que se distribuye desde los 1800 a 3000 msnm. El fin de esta investigación fue, cuantificar el porcentaje de biomasa y carbono en las plantaciones de *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*. Como objetivos específicos se propuso cuantificar la biomasa aérea y superficial, calcular el carbono capturado, determinar el balance entre biomasa y carbono capturado, y comparar la producción de biomasa y captura de carbono de las plantaciones. Se empleó la metodología de la Evaluación Nacional Forestal, para determinar la biomasa se utilizó el método destructivo en donde se establece relaciones funcionales entre la biomasa y las variables de fácil medición. Se realizó la construcción de modelos alométricos para biomasa y contenido de carbono, con las variables DAP y HT, posterior de la exploración gráfica de las correlaciones y regresiones existentes entre la biomasa vs los valores originales y transformados. Los modelos alométricos construidos para *Pinus tecunumanii* son $B = 393,133 - 2,394DAP^2 + 0,944DAP^2(\ln HT)$ con un R^2 de 0,83 y $C = -196,559 - 1,197DAP^2 + 0,472DAP^2(\ln HT)$ con un R^2 de 0,83, para *Araucaria angustifolia* son $B = -3597,962 + 1,348DAP^2 + 1982,447\ln HT - 33,233DAP$ con un R^2 de 0,94 y $C = -844,4 + 0,151DAP^2 + 290,825 \ln HT$ con un R^2 de 0,89. *Araucaria angustifolia* registró una biomasa mayor a *Pinus tecunumanii* debido al número de individuos registrados en las parcelas de muestreo. Para la estimación del contenido de carbono se utilizó el factor de conversión estándar de material vegetal a contenido de carbono de 0,5. Los resultados obtenidos fueron para *Pinus tecunumanii* biomasa total de 182,13 t/ha y 91,06 t/ha de contenido de carbono; para *Araucaria angustifolia* 629,08 t/ha de biomasa total y 314,54 t/ha contenido de carbono.

Palabras clave: biomasa, contenido de carbono, modelos alométricos, *Pinus tecunumanii*, *Araucaria angustifolia*.

ABSTRACT

A study was carried out to quantify the biomass and carbon content of *Pinus tecunumanii* and *Araucaria angustifolia*. This research is to know the real value of atmospheric carbon sequestered and transformed into biomass by photosynthesis. The study was conducted at the Experimental Station La Favorita in Santo Domingo canton, Santo Domingo de los Tsáchilas province. The research area is among the plant formations, forests always montane low green of the western Andes mountain range located between 1300 to 1800 msnm. And low montane mist forest that is distributed from the 1800 to 3000 msnm. The aim of this research was to quantify the percentage of biomass and carbon in the plantations of *Pinus tecunumanii* and *Araucaria angustifolia*. As specific objectives, it was proposed to quantify the aerial and surface biomass, to calculate the captured carbon, to determine the balance between biomass and captured carbon, and to compare the biomass production and carbon capture of the plantations. It was used the National Forest Assessment methodology, and to determine the biomass was used the destructive method where it establishes functional relationships between biomass and easily measured variables. The construction of allometric models for biomass and carbon stock, with the DAP and HT variables, after it was carried out the graphic exploration of the correlations and regressions between the biomass and the original and transformed values. The allometric models constructed for *Pinus tecunumanii* are $B = 393,133 - 2,394DAP^2 + 0,944DAP^2(\ln HT)$ with an R^2 of 0,83 y $C = -196,559 - 1,197DAP^2 + 0,472DAP^2(\ln HT)$ with an R^2 of 0,83, for *Araucaria angustifolia* are $B = -3597,962 + 1,348DAP^2 + 1982,447\ln HT - 33,233DAP(\ln HT)$ with an R^2 of 0,94 y $C = -844,4 + 0,151DAP^2 + 290,825 \ln HT$ with an R^2 of 0,89. *Araucaria angustifolia* registered a bigger biomass to *Pinus tecunumanii* due to the number of individuals registered in the sampling plots. For the estimation of the carbon content it was used the standard conversion factor of plant material at a carbon content of 0,5. The obtained results were for *Pinus tecunumanii* total biomass of 182,13 t/ha and 91,06 t/ha of carbon content; for *Araucaria angustifolia* 629,08 t/ha of total biomass and 314,54 t/ha of carbon stock.

Keywords: Biomass, carbon stock, allometric models, *Pinus tecunumanii*, *Araucaria angustifolia*.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales son una importante medida de mitigación del cambio climático, ya que ellas secuestran el carbono atmosférico y lo almacenan como biomasa mediante la fotosíntesis (IPCC, 2007). Diversas son las metodologías para cuantificar la biomasa, siendo la de mayor precisión el método directo o destructivo, que permite cuantificar por componente el contenido de materia seca (Fonseca, Alice y Rey, 2009).

En el Ecuador, el objetivo de las plantaciones forestales con fines de producción, es generar madera de calidad como producto inicial, aunque también brindan servicios adicionales, como el

secuestro de carbono, que se encuentra escasamente valorado; considerando que el CO₂ es uno de los principales gases que produce el efecto invernadero, y que la mayoría de las estrategias de mitigación tienden a la reducción de dicho gas en la atmósfera (Alcaraz, 2015).

Rojo, Jasso y Velásquez (2003), mencionan que las especies forestales, durante su crecimiento actúan como sumideros de carbono al absorber CO₂ atmosférico y almacenarlo en la madera. El mantenimiento de plantaciones forestales se ha convertido en un servicio ambiental de potencial valor económico por la reducción de CO₂ atmosférico, así como la mitigación de los efectos producidos por el cambio

climático en países en vías de desarrollo.

El mercado de carbono empieza a tomar forma a partir de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en 1992 en donde se propone reconocer dichos créditos para proyectos que ejecuten actividades de forestación y reforestación. Para abastecer el mercado potencial es necesario conocer la captura de carbono de diferentes especies en plantaciones (Flores, 2016).

En este contexto, el objetivo específico 2 de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) es implementar medidas que aporten a la integridad y conectividad de los ecosistemas relevantes para la captura y el almacenamiento de carbono y el manejo sustentablemente de los ecosistemas intervenidos con capacidad de almacenamiento de carbono.

Esta investigación contribuye al resultado 4 del objetivo específico 2 de la ENCC que menciona que el Ecuador cuenta con una línea base de la capacidad de captura y almacenamiento de carbono de los ecosistemas naturales remanentes del país y de ecosistemas intervenidos (MAE, 2012). El estudio se ejecutó en la Estación Experimental La Favorita de propiedad de la Universidad Técnica del Norte, donde existen diversas plantaciones, entre ellas *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*, especies de las cuales existe un número limitado de estudios de cuantificación de biomasa y almacenamiento de carbono.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en dos fases: la fase de campo se realizó en la provincia de Santo Domingo de los Tsachilas, cantón Santo Domingo, parroquia Alluriquin, comunidad Chiriboga, en la Estación Experimental La Favorita; la fase de laboratorio se realizó en la Granja Experimental Yuyucocha de propiedad de la Universidad Técnica del Norte.

Se delimitó las plantaciones y se estableció un conglomerado con parcelas anidadas, de acuerdo a la metodología del Proyecto Evaluación Nacional Forestal (MAE, 2011).

Se seleccionaron y tumbaron tres árboles

mayores a 10 cm de DAP y de cada uno se colectó/extrajo 3 kg de raíces, ramas, hojas corteza, madera. Se registró el DAP y la HT de todos los individuos superiores a 10 cm de DAP que se encontraron dentro del conglomerado. Se realizó una calicata de 1m³ donde se recolectó muestras de suelo que fueron enviadas al laboratorio para determinar las características químicas.

La biomasa se determinó mediante el método destructivo que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente del árbol (Fonseca *et al.*, 2009). Para la estimación de contenido de carbono se utilizó el factor de conversión 0,5 (IPCC, 2003). El contenido de carbono aéreo, superficial y radicular se obtuvo mediante la multiplicación de la biomasa total por el factor de conversión. El contenido de carbono en el suelo fue determinado mediante el método Walkley and Black (oxidación del carbono con exceso de dicromato en medio sulfúrico).

Una vez obtenido la cantidad de biomasa y contenido de carbono de los árboles apeados, y con sus respectivos datos de DAP y HT, se realizó una exploración gráfica de las correlaciones y regresiones existentes entre la biomasa vs los valores originales y transformados (logaritmos naturales, cuadrados y productos). Con los datos que obtuvieron mayor ajuste en los coeficientes de determinación individual se construyeron los modelos alométricos, empleando los programas InfoStat 2017 (e), e IBM SPSS Statistics 20, en los que se obtuvo constantes y coeficientes; así como también los coeficientes de correlación, de determinación normal (R^2) y ajustado (Ra^2); los análisis de varianza (ADEVA), error típico de la estimación y las prueba de t de los coeficientes.

De los modelos que presentaron coeficientes de determinación ajustados (Ra^2) superiores al 75 % se procedió a aplicar la ecuación con los datos de DAP y HT. Se comparó los valores observados de biomasa y contenido de carbono vs valores estimados resultantes de la aplicación del modelo construido, empleando el rango obtenido de la adición y sustracción del error típico de la estimación. Los modelos que presentaron más del 75 % de datos dentro del rango de comparación fueron aceptados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En tabla 1 se muestra el análisis estadístico del inventario forestal, en donde se observa que, para las variables de medición directa (DAP y HT) los valores se encuentran medianamente dispersos, relativamente homogéneos y la medias obtenidas son

representativas del conjunto de datos; por el contrario, en las variables calculadas, se registra una mayor dispersión, por ende mayor heterogeneidad; sin embargo, las medias son representativos de los datos analizados.

Tabla 1.
Estimadores estadísticos del inventario forestal

| Estimador | <i>Araucaria angustifolia</i> | | | | <i>Pinus tecunumanii</i> | | | |
|--|-------------------------------|---------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------|----------------------------|---------------------------|
| | DAP (cm) | HT (cm) | AB/árbol (m ²) | V/árbol (m ³) | DAP (cm) | HT (cm) | AB/árbol (m ²) | V/árbol (m ³) |
| Media | 42,89 | 19 | 0,157 | 1,603 | 40,63 | 21 | 0,133 | 1,198 |
| Varianza | 165,90 | 14,6 | 0,009 | 1,475 | 46,62 | 10 | 0,002 | 0,280 |
| Desviación estándar de la media | 12,88 | 3,83 | 0,096 | 1,215 | 6,953 | 3,2 | 0,046 | 0,539 |
| Error estándar de la media | 1,23 | 0,37 | 0,009 | 0,116 | 1,29 | 0,6 | 0,008 | 0,100 |
| Coefficiente de variación | 30,0 | 20,1 | 61,3 | 75,8 | 17,1 | 15,0 | 34,3 | 450 |

La Tabla 2 muestra los resultados promedios, IMA de DAP, HT, AB y volumen en diferentes estudios.

Tabla 2.
Crecimiento de *Araucaria angustifolia*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus patula*, *Pinus oocarpa* de diferentes estudios

| Especie | Promedio | | IMA | | Total/ha | | IMA | | Arb/ha | Edad | Fuente |
|-------------------------------|----------|---------|----------|---------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------|-------|------------------|
| | DAP (cm) | HT (cm) | DAP (cm) | HT (cm) | AB (m ²) | V (m ³) | AB (m ²) | V (m ³) | | | |
| <i>Araucaria angustifolia</i> | 42,9 | 19 | 1,23 | 0,54 | 63,3815 | 647,137 | 1,8109 | 18,490 | 413 | 35 | Este estudio |
| <i>Pinus tecunumanii</i> | 40,6 | 21 | 1,40 | 0,72 | 13,7926 | 124,237 | 0,4756 | 4,284 | 104 | 29 | |
| | 27,5 | 17,9 | 1,22 | 0,80 | 9,1065 | 115,549 | 0,4047 | 5,136 | 306 | 20-25 | Fernández (2004) |
| <i>Araucaria angustifolia</i> | 35,8 | 20 | 1,10 | 0,62 | 15,2996 | 216,111 | 0,4708 | 6,650 | 206 | 30-35 | |
| | 38,3 | 21,8 | 0,90 | 0,51 | 18,3114 | 291,736 | 0,4309 | 6,864 | 300 | 40-45 | Yépez (2012) |
| <i>Pinus patula</i> | 33,5 | 19,1 | 2,48 | 1,41 | 15,1064 | 129,461 | 1,1190 | 9,590 | 169 | 13,5 | |
| <i>Pinus oocarpa</i> | 27,6 | 15,8 | 0,79 | 0,45 | 9,752 | 69,337 | 0,279 | 1,981 | 163 | 35 | Valencia (2013) |

Fernández, Martiarena, Goya, Lupi y Frangi (2004) en condiciones similares de temperatura y altitud, pero con menor precipitación a las que imperan en la EELF, registraron para *Araucaria angustifolia* un incremento medio anual (IMA) en DAP similar a los registrados en la EELF, a los 20 y 25 años; sin embargo, en edades superiores, los mismos autores, observaron que el IMA decreció. Por otro lado, el incremento registrado en la EELF fue superior al registrado por Fernández *et al.*, (2004) en el mismo rango de edad. Cabe mencionar que, aunque las especies forestales tienden a disminuir la velocidad de crecimiento a mayor madurez fisiológica, el IMA se mantiene superior en la EELF (Tabla 2).

El IMA de AB y volumen, registra valores superiores en la EELF en relación a Fernández *et al.*, (2004) este incremento se

debe al mayor número de árboles por hectárea. El IMA de HT de Fernández *et al.*, (2004) entre los 20 y 25 años registra un valor superior en relación a los otros rangos de edad debido a que persiste un acelerado crecimiento en altura en edades inferiores (Tabla 2).

Yépez (2012) en condiciones diferentes de altitud, temperatura y precipitación a la EELF registró para *Pinus patula* un IMA en DAP, HT, AB y volumen a 13,5 años diferente a los registrados por Valencia (2013) en *Pinus oocarpa* y en este estudio para *Pinus tecunumanii*. El incremento del IMA en DAP y HT se debe a que *Pinus patula* presenta un crecimiento más acelerado debido a la edad en relación a las otras especies; además, al registrar un mayor número de árboles, el IMA en AB y volumen se mantiene superior (Tabla 2).

La Tabla 3 muestra los resultados de biomasa de las plantaciones, con mayor biomasa aérea en *Araucaria angustifolia*, *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus*

Tabla 3.
Biomasa de las plantaciones

| Especie | Edad (años) | Biomasa aérea (t/ha) | Biomasa superficial (t/ha) | Biomasa radicular (t/ha) | Número de árboles/ha | Sitio de estudio | Fuente |
|---|-------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------|---|----------------------------------|
| <i>Araucaria angustifolia</i> | 35 | 442,31 | 34,41 | 152,36 | 413 | EELF | Este estudio |
| <i>Pinus tecunumanii</i> | 29 | 95,75 | 34,37 | 52 | 104 | EELF | |
| <i>Pinus montezumae</i> , <i>Pinus teocote</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> | - | 186,3 | - | 33 | 250 | Reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México | Rodríguez <i>et al.</i> , (2009) |
| <i>Pinus oocarpa</i> | - | 142,23 | - | - | 256 | Norte del estado de Chiapas, México | González (2008) |
| | 20 - 25 | 121,6 | - | - | 306 | Campo Puerto | Fernández <i>et al.</i> , (2004) |
| | 30 - 35 | 137,2 | - | - | 206 | Laharrague | |
| <i>Araucaria angustifolia</i> | 40 - 45 | 245,3 | - | - | 300 | Campo Anexo Manuel Belgrano | |
| | 20 | 126,6 | - | - | 444 | Estación | Vega & Martiarena, (2010) |
| | 30 | 136,8 | - | - | 212 | Experimental | |
| | 40 | 207,6 | - | - | 258 | INTA | |

En la Tabla 3; se observa que la biomasa aérea y radicular alcanzó mayores valores en *Araucaria angustifolia*; mientras que la biomasa superficial fue similar para *Araucaria angustifolia* y *Pinus tecunumanii*.

Fernández *et al.*, (2004) en condiciones similares de temperatura, altitud, y menor precipitación que la EELF, en diferentes rangos de edad, obtuvieron valores de biomasa aérea inferiores para *Araucaria angustifolia*, debido a que registraron un número menor de árboles, AB y volumen por unidad de superficie. Así también, Vega & Martiarena (2010) calcularon valores de biomasa aérea inferior, con diferente cantidad de individuos por hectárea, y distintos rangos de edad (Tabla 3).

Rodríguez, Jiménez, Aguirre, Treviño y Razo (2009) y González (2008) en condiciones similares de temperatura, altitud, y menor precipitación que la EELF registraron valores de biomasa aérea y radicular, superiores para *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oocarpa*, con un número mayor de árboles por hectárea, y al desconocer la edad de las plantaciones, se infiere que la diferencia está dada por el menor número de árboles por hectárea de *Pinus tecunumanii* (Tabla 3).

La Tabla 4 muestra los resultados de contenido de carbono de las plantaciones, con mayor CC aéreo en *Araucaria angustifolia* y *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus*

Tabla 4.
Contenido de carbono de las plantaciones

| Especie | Edad (años) | CC aéreo (t/ha) | CC superficial (t/ha) | CC radicular (t/ha) | Número de árboles/ha | Sitio de estudio | Fuente |
|---|-------------|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------|---|----------------------------------|
| <i>Araucaria angustifolia</i> | 35 | 221,16 | 17,21 | 76,18 | 413 | EELF | Este estudio |
| <i>Pinus tecunumanii</i> | 29 | 47,88 | 17,19 | 26 | 104 | EELF | |
| <i>Pinus montezumae</i> , <i>Pinus teocote</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> | | 93,1 | - | 16,51 | 250 | Reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México | Rodríguez <i>et al.</i> , (2009) |
| <i>Pinus oocarpa</i> | | 74,25 | - | - | 256 | Norte del estado de Chiapas, México | González (2008) |
| | 20 - 25 | 60,8 | | | 306 | Campo Puerto Laharrague | Fernández <i>et al.</i> , (2004) |
| | 30 - 35 | 68,6 | | | 206 | | |
| <i>Araucaria angustifolia</i> | 40 - 45 | 122,65 | | | 300 | Campo Anexo Manuel Belgrano | |
| | 20 | 56,2 | | | 444 | Estación Experimental INTA | Vega & Martiarena, (2010) |
| | 30 | 60,5 | | | 212 | | |
| | 40 | 92,2 | | | 258 | | |

En la Tabla 4 se aprecia que el contenido de carbono (CC) aéreo y radicular alcanzó los mayores valores para *Araucaria angustifolia*, y CC superficial registró un valor similar para *Araucaria angustifolia* y *Pinus tecunumanii*.

Fernández *et al.*, (2004) y Vega & Martiarena (2010) obtuvieron valores de CC aéreo inferiores a la EELF para *Araucaria angustifolia* en diferentes rangos de edad debido a que como se menciona en el acápite anterior se registraron un número menor de árboles por hectárea por ende la producción de biomasa fue inferior (Tabla 4).

Rodríguez *et al.*, (2009) y González (2008) registraron valores de CC aéreo y radicular superiores para *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oocarpa*, debido a que como se menciona en el acápite anterior se registraron un número mayor de árboles por hectárea y al desconocer la edad de las plantaciones se infiere que la diferencia está dada por el menor número de árboles por hectárea de *Pinus tecunumanii* (Tabla 4).

Cabe recalcar que, los estudios citados utilizaron el factor de conversión del 0,5 para obtener el valor de contenido de carbono; por ende, se mantiene el comportamiento observado en los resultados de biomasa.

Los valores del balance entre biomasa y carbono de las dos especies se muestran en la

Figura 1. Se aprecia que la relación de biomasa y contenido de carbono tienen una proporcionalidad 1:1, debido a la utilización del factor de conversión 0,5 usado por el IPCC.

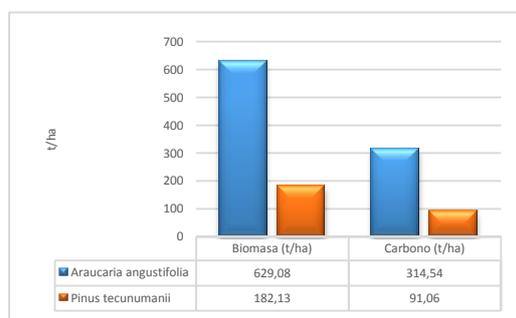


Figura 1. Balance de biomasa y CC (t/ha)

En la tabla 5 muestra la prueba de *t* de Student que indica la producción de biomasa, carbono aéreo y radicular de las dos especies fue estadísticamente muy diferente, mientras que en el componente superficial fue similar. Por otro lado, en todos los componentes la producción de biomasa y carbono fue mayor en *Araucaria angustifolia*, debido principalmente a la diferencia de edad y número de árboles entre las dos plantaciones.

En este contexto se infiere que se debe aceptar la hipótesis alterna, debido a que la producción de biomasa y captura de carbono es diferente entre *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*.

Tabla 5.
Prueba de de *t* de Student para biomasa y carbono

| Especie | Biomasa | | | | Carbono | | | |
|-------------------------------|---------|-------------|-----------|--------|---------|-------------|-----------|--------|
| | Aérea | Superficial | Radicular | Total | Aérea | Superficial | Radicular | Total |
| <i>Araucaria angustifolia</i> | 147,44 | 11,47 | 50,79 | 209,69 | 73,72 | 5,74 | 25,39 | 104,85 |
| <i>Pinus tecunumanii</i> | 31,92 | 11,46 | 17,33 | 60,71 | 15,96 | 5,73 | 8,67 | 30,35 |
| Prueba de <i>t</i> de Student | 27,06 | 0,17 | 8,4 | 26,31 | 27,17 | 0,05 | 8,4 | 26,3 |
| Significancia | ** | ns | ** | ** | ** | ns | ** | ** |

En la Tabla 6 se muestran los modelos alométricos generados para biomasa, con las variables DAP y HT transformadas, mediante los análisis del ADEVA, se obtuvieron coeficientes de correlación de 0,910 y 0,969 y coeficientes R² de 0,83 y 0,94 para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*

respectivamente. Así mismo los valores observados vs los estimados mostraron porcentajes de 77,78 y 88,89 % para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia* respectivamente.

Tabla 6.
Modelos alométricos de biomasa para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*

| Especie | Modelo | R ² |
|-------------------------------|---|----------------|
| <i>Pinus tecunumanii</i> | $B = 393,133 - 2,394DAP^2 + 0944DAP^2(\ln HT)$ | 0,83 |
| <i>Araucaria angustifolia</i> | $B = -3597,962 + 1,348DAP^2 + 1982,447\ln HT - 33,233DAP(\ln HT)$ | 0,94 |

En la Tabla 7 se muestran los modelos alométricos generados para CC con las variables DAP y HT transformados, mediante los análisis del ADEVA, se obtuvieron coeficientes de correlación de 0,910 y 0,969 y coeficientes R²

de 0,83 y 0,94 para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia* respectivamente (Tablas 7). Así mismo los valores observados vs los estimados mostraron porcentajes de 77,78 y 100 % para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia* respectivamente.

Tabla 7.
Modelos alométricos de contenido de carbono para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*

| Especie | Modelo | R ² |
|-------------------------------|--|----------------|
| <i>Pinus tecunumanii</i> | $C = -196,559 - 1,197DAP^2 + 0,472DAP^2(\ln ht)$ | 0,83 |
| <i>Araucaria angustifolia</i> | $C = -844,4 + 0,151DAP^2 + 290,825 \ln ht$ | 0,89 |

CONCLUSIONES

La biomasa total fue de 182,13 t/ha para *Pinus tecunumanii* a una edad de 28 años, y para *Araucaria angustifolia* fue de 629,08 t/ha a una edad de 34 años.

El contenido de carbono fue de 91,06 t/ha, para *Pinus tecunumanii* y de 314,54 t/ha, para *Araucaria angustifolia*, utilizando el

factor de conversión 0,5 propuesto por el IPCC.

El balance entre biomasa y contenido de carbono de *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*, presenta una proporción 1:1.

Mediante la aplicación de la prueba de “*t*” de Student se demostró que la producción de biomasa y carbono es diferente en *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*

RECOMENDACIONES

La presente investigación servirá como línea base para determinar la biomasa y por ende el contenido de carbono en plantaciones forestales.

Difundir los datos obtenidos del contenido de carbono en las plantaciones estudiadas para el mercado de bonos de carbono.

Proponer un manejo silvicultural para concentrar la biomasa y el carbono en los individuos de las plantaciones.

Se debe proceder a la construcción de modelos alométricos para las diferentes especies en sus ecosistemas de vida, porque al aplicar modelos de otras especies o contextos no proporcionarían estimaciones reales de biomasa y carbono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaraz, L. (2015). Causas, consecuencias y soluciones. Ciencia y cambio climático en el discurso informativo de Clarín. *TERRA LATINOAMERICANA*. Recuperado de <http://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/4514/Gonz%C3%A1lez%20Alcaraz.pdf?sequence=3>
- Fernández, R., Martiarena, R., Goya, J., Lupi, A., & Frangi, J. (Abril de 2004). Ajuste de ecuaciones para la determinación de la biomasa de plantaciones de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE en el norte de la provincia de Misiones. Onceavas Jornadas Técnicas Forestales, Misiones, Argentina.
- Flores, M. (2016). *Evaluación del carbono en la biomasa de 3 especies forestales nativas (Miconia aspergillaris, Vallea stipularis, Oreocallis grandiflora) en el bosque Aguarongo* (tesis de ingeniero ambiental). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Fonseca, W., Alice, F., & Rey, J. M. (2012, 02 de Julio). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Scielo Analytics*. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002009000100006
- González, M. (2008). Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2922e/A2922e.pdf>
- IPCC. (2003, 2 de Noviembre). Good Practice Guidance for LULUCF. *Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Recuperado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html,
- IPCC. (2007, 3 de Octubre). Informe de síntesis. Contribución de los grupos de Trabajo I, II y III, al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. *Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2011). *Proyecto Evaluación Nacional Forestal. Manual de Campo*. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente Ecuador.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente Ecuador.
- Rodríguez, R., Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño, E., & Razo, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino - encino en la reserva de la biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo*, Recuperado de

<http://revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/15164/14413>

- Rojo, G., Jasso, J., & Velásquez, A. (2003). Las masas forestales como sumideros de CO₂ ante un cambio climático global. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62990106>
- Valencia, J. (2013). *Sistema volumétrico para Pinus oocarpa Schiede y Pinus douglasiana Martínez en el estado de Durango* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Mexico.
- Vega, J., & Martiarena, R. (2010). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de araucaria (*Araucaria angustifolia* -Bert.- O. Ktze). *Revista de Ciencia y Tecnología*, Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872010000100011
- Yépez, G. (2012). *Análisis de 25 procedencias de Pinus patula Schlect. et Cham para su categorización como fuente semillera en la provincia de Imbabura* (tesis de ingeniero forestal). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.