



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del
título de Ingeniero Forestal**

**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

Ing. Walter Armando Palacios Cuenca

IBARRA - ECUADOR

2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

“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 revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADO

Ing. Walter Armando Palacios Cuenca
Director de trabajo de titulación

Ing. María Isabel Vizcaino Pantoja, Esp.
Tribunal de trabajo de titulación

Ing. Hugo Vinicio Vallejos Alvarez, Mgs.
Tribunal de trabajo de titulación

Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.
Tribunal de trabajo de titulación

Ibarra - Ecuador

2017

ii



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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 deju sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
Cédula de ciudadanía:	100433826-3	
Apellidos y nombres:	Montoya Verdezoto Luis Andrés	
Dirección:	Otavalo - Ciudadela Proaño Maya	
Email:	nenfre_25@outlook.com	
Teléfono fijo:	062520381	Teléfono móvil: 0996941977

DATOS DE LA OBRA	
Título:	“BALANCE ENTRE BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIÓN DE <i>Pinus tecunumanii</i> EGUILUZ & PERRY (PINO) Y <i>Araucaria angustifolia</i> (BERTOL.) KUNTZE (ARAUCARIA) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA FAVORITA, PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”
Autor:	Montoya Verdezoto Luis Andrés
Fecha:	03 de agosto del 2017
Solo para trabajos de grado	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Director:	Ing. Walter Armando Palacios Cuenca

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **Luis Andrés Montoya Verdezoto**, con cédula de ciudadanía Nro. 10043326-3; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo descrito anteriormente, hago la 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. CONSTANCIA

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 es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

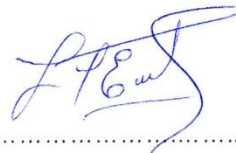
Ibarra, 03 de agosto del 2017.

EL AUTOR:

ACEPTACIÓN:



.....
Luis Andrés Montoya Verdezoto
C.C.:100433826-3



.....
Ing. Betty Mireya Chávez Martínez
JEFE DE BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Luis Andrés Montoya Verdezoto**, con cédula de ciudadanía Nro. 100433826-3; manifiesto la 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 de la obra o trabajo de grado denominada **“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”** que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero Forestal 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.

.....
Montoya Verdezoto Luis Andrés
C.C.:100433826-3

Ibarra, a los 03 días del mes de agosto del 2017

v

v

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA -UTN

Fecha: 03 de agosto del 2017

Luis Andrés Montoya Verdezoto: "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 GRADO. Ingeniero Forestal.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal Ibarra, 03 de agosto del 2017. 108 páginas.

DIRECTOR: Ing. Walter Armando Palacios Cuenca

El objetivo general de la presente investigación fue: Determinar el balance entre la cantidad de biomasa y carbono secuestrado en las plantaciones de Pino y Araucaria, Entre los objetivos específicos se encuentra: Cuantificar la biomasa aérea y superficial, Calcular el carbono capturado, Determinar el balance entre biomasa y carbono capturado, Comparar la producción de biomasa y captura de carbono entre las plantaciones de Pino y Araucaria

Fecha: 03 de agosto del 2017



.....

Ing. Walter Armando Palacios Cuenca

Director de trabajo de titulación



.....

Luis Andrés Montoya Verdezoto

Autor

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Hugo y Beatriz, pilares de mi vida; ejemplo de lucha, constancia, superación que día a día con su esfuerzo han formado a un hombre, un profesional, un hijo, un amigo. Quienes me han brindado la oportunidad de realizar mi más grande sueño culminar mis estudios de tercer nivel.

A MIS HERMANAS

Ximena y Tatiana, quienes me brindaron su cariño, confianza y apoyo incondicional en el transcurso de mi vida, gracias por sus consejos que me ayudaron a mejorar día a día.

A MIS SOBRINAS ANGIE Y VALENTINA

Regalos que me ha brindado la vida para conceptualizar la belleza e inocencia, fuentes de inspiración, y quienes con su sonrisa me han regalado la fuerza para seguir caminando.

AGRADECIMIENTO

*A la **Universidad Técnica del Norte**, a la planta de docentes de la carrera de Ingeniería Forestal por hacer posible la consecución de un sueño, una meta, por brindarme las herramientas para poder culminar mis estudios de Ingeniería Forestal.*

*Al **Ing. Walter Palacios**, Director de trabajo de titulación, por brindarme todo el conocimiento impartido durante mi periodo estudiantil, por los consejos, la paciencia, comentarios, sugerencias y el apoyo para culminar con éxito esta etapa de mi vida académica.*

*A los asesores de trabajo de titulación, **Ing. Hugo Vallejos** e **Ing. Eduardo Chagna**, por brindarme su amistad, conocimientos y sugerencias que contribuyeron a la redacción del documento.*

*A la **Ing. María Isabel Vizcaíno**, por brindarme sus conocimientos dentro y fuera del aula, por su amistad desinteresada, sus consejos que día a día fueron formando a una mejor persona y amigo.*

*A las sras. **Teresa Vizcaíno** y **Rosario Vizcaíno**, por brindarme su cariño, aprecio y haberme permitido ser parte de su hermosa familia.*

*A **mis amigos**, por formar parte de este caminar, por estar siempre ahí, por ser la familia que la vida me permitió escoger en especial a **David Q., Samuel E., René G., Kenny R., David N., Cristian E., Carla I., Alexander V.***

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
APROBACIÓN.....	ii
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	iii
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	iv
CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR	v
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
RESUMEN	17
ABSTRACT	18
CAPITULO I.....	19
INTRODUCCIÓN.....	19
1.1 Objetivos.....	21
1.1.1 General.....	21
1.1.2 Específicos.....	21
1.2 Hipótesis	21
CAPITULO II.....	22
2 MARCO TEÓRICO	22
2.1 Fundamentación Legal	22
2.1.1 Línea de investigación	22
2.2 Fundamentación teórica.....	22
2.2.1 Descripción de las especies forestales	22
2.2.2 <i>Pinus tecunumanii</i> (Bertol.) Kuntze	22

2.2.3	<i>Araucaria angustifolia</i> Eguiluz & Perry	23
2.3	El cambio climático	23
2.3.1	Consecuencias del cambio climático	23
2.4	Gases del efecto invernadero	24
2.4.1	Opciones de mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI)	24
2.5	Ciclo del carbono	24
2.5.1	Los ecosistemas forestales como sumideros de carbono	25
2.5.2	Estimación de contenido de carbono (CC)	25
2.6	Biomasa forestal	25
2.6.1	Determinación de biomasa	25
2.7	Modelos alométricos para masas forestales.....	26
2.8	Selección del modelo alométrico de mejor ajuste	27
2.9	Estudios relacionados	28
2.9.1	Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la biosfera el Cielo, Tamaulipas, México	28
2.9.2	Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de <i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore, <i>Pinus oocarpa</i> var. <i>ochoterenai</i> Mtz. y <i>Quercus</i> sp. en el norte del Estado de Chiapas, México	29
2.9.3	Ajuste de ecuaciones para la determinación de de la biomasa de plantaciones de <i>Araucaria angustifolia</i> (BERT.) O. Ktze en el norte de la provincia de Misiones	29
2.9.4	Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de <i>Araucaria angustifolia</i> Bert. O. Ktze.....	30
2.9.5	Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en <i>Pinus patula</i> Schltdl. et Cham	31
2.9.6	Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de <i>Pinus patula</i> Schltdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo.	31
2.9.7	Determinación del carbono total en bosques mixtos de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	32

2.9.8	Funciones alométricas para la determinación de existencias de carbono forestal para la especie <i>Araucaria araucana</i> (Molina) K. Koch (Araucaria).....	32
2.9.9	Estimativa de carbono individual para <i>Araucaria angustifolia</i>	33
2.9.10	Sistema volumétrico para <i>Pinus oocarpa</i> Schiede y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez en el estado de Durango	33
2.9.11	Análisis de 25 procedencias de <i>Pinus patula</i> Schlect. et Cham para su categorización como fuente semillera en la provincia de Imbabura	34
CAPITULO III		35
3	MATERIALES Y METODOLOGÍA	35
3.1	Descripción del sitio de estudio.....	35
a.	Fase de campo	35
b.	Fase de laboratorio.....	36
3.2	Materiales y equipos	36
a.	Laboratorio	36
b.	Equipos e instrumentos.....	36
c.	Insumos.....	37
d.	Material vegetativo	37
3.3	Metodología.....	37
3.3.1	Delimitación de las plantaciones	37
3.3.2	Distribución de las parcelas dentro del conglomerado	37
3.3.3	Recolección de muestras del suelo	40
3.3.4	Obtención del material vegetativo	41
3.3.5	Inventario forestal.....	41
3.3.6	Cálculo de biomasa.....	42
3.3.7	Cálculo del contenido de carbono	43
3.3.8	Medición de carbono en el suelo	43
3.3.9	Análisis estadístico	43

3.3.10	Obtención de ecuaciones alométricas para la biomasa y contenido de carbono.....	44
3.3.11	Extrapolación de datos.....	45
3.3.12	Validación de los modelos alométricos	45
CAPÍTULO IV		46
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1	Inventario forestal.....	46
4.2	Biomasa de las plantaciones	49
4.3	Carbono capturado en plantaciones	51
4.4	Balance entre biomasa y carbono capturado	53
4.5	Construcción de modelos alométricos	54
4.5.1	Modelos alométricos biomasa	54
4.5.2	Modelos alométricos contenido de carbono	62
CAPITULO V		68
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
5.1	Conclusiones.....	68
5.2	Recomendaciones	68
CAPITULO VI.....		70
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
CAPITULO VII.....		76
ANEXOS.....		76
6.1	Anexo A - Tablas.....	76
6.2	Anexo B - Figuras.....	86
6.3	Anexo C – Ilustraciones	95
LISTA DE ABREVIATURAS.....		105
GLOSARIO DE TÉRMINOS		107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reporte de analisis químico del suelo <i>Pinus tecunumanii</i> y <i>Araucaria angustifolia</i>	36
Tabla 2. Estimadores estadísticos.....	44
Tabla 3. Estimadores estadísticos del inventario forestal.....	46
Tabla 4. Crecimiento de <i>Araucaria angustifolia</i> , <i>Pinus tecunumanii</i> , <i>Pinus patula</i> , <i>Pinus oocarpa</i> en diferentes estudios	47
Tabla 5. Biomasa de las plantaciones.....	50
Tabla 6. Contenido de carbono de las plantaciones	52
Tabla 7. Prueba de de <i>t</i> de Student para biomasa.....	54
Tabla 8. Prueba de de <i>t</i> de Student para contenido de carbono.....	54
Tabla 9. Modelos alométricos de biomasa para <i>Pinus tecunumanii</i> y <i>Araucaria angustifolia</i>	55
Tabla 10. Modelos alométricos para predecir biomasa - <i>Pinus</i>	57
Tabla 11. Modelos alométricos para predecir biomasa - <i>Araucaria</i>	60
Tabla 12. Modelos alométricos para predecir el CC para <i>Pinus tecunumanii</i> y <i>Araucaria angustifolia</i>	62
Tabla 13. Modelos alométricos para predecir contenido de carbono – <i>Pinus</i>	63
Tabla 14. Modelos alométricos para predecir contenido de carbono - <i>Araucaria</i>	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las parcelas.	38
Figura 2. Parcela anidada 10 x 10 m	39
Figura 3. Parcelas anidada 50 x 50 cm	40
Figura 4. Balance de biomasa y CC (t/ha).....	53
Figura 5. Biomasa observada vs biomasa estimada por árbol – <i>Pinus</i>	58
Figura 6. Biomasa observada vs biomasa estimada por árbol – <i>Araucaria</i>	61
Figura 7. CC observado vs CC estimado por árbol – <i>Pinus</i>	63
Figura 8. CC observado vs CC estimado por árbol – <i>Araucaria</i>	66

ÍNDICE DE ANEXOS

TABLAS

Tabla A1. Biomasa total seca por parcela <i>Araucaria angustifolia</i>	76
Tabla A2. Biomasa total seca por componente, contenido de carbono <i>Araucaria angustifolia</i>	75
Tabla A3. Biomasa total seca por parcela <i>Pinus tecunumanii</i>	77
Tabla A4. Biomasa total seca por componente, contenido de carbono <i>Pinus tecunumanii</i>	77
Tabla A5. Prueba de t de Student (biomasa)	77
Tabla A6. Prueba de t de Student (carbono).....	78
Tabla A7. ADEVA y coeficientes de la regresión biomasa - Pino	79
Tabla A8. Biomasa total, estimada y sus diferencias - Pino	79
Tabla A9. ADEVA y coeficientes de la regresión carbono - Pino	80
Tabla A10. Contenido de carbono total, estimado y sus diferencias - Pino	80
Tabla A11. ADEVA y coeficientes de la regresión biomasa - Araucaria	81
Tabla A12. Biomasa total, estimada y sus diferencias - Araucaria	81
Tabla A13. ADEVA y coeficientes de la regresión carbono - Araucaria	82
Tabla A14. Contenido de carbono total, estimado y sus diferencias - Araucaria	82
Tabla A15. Resultado total inventario <i>Araucaria angustifolia</i>	83
Tabla A16. Resultado total inventario <i>Pinus tecunumanii</i>	84
Tabla A17. Matriz de toma de datos dasométricos en el campo	85
Tabla A18. Matriz de toma de datos en laboratorio	85

FIGURAS

Figura B1. Mapa base del sitio	86
Figura B2. Mapa base – plantación <i>Pinus tecunumanii</i>	86
Figura B3. Mapa base – plantación <i>Araucaria angustifolia</i>	87
Figura B4. Reporte de análisis de laboratorio <i>Pinus tecunumanii</i>	88
Figura B5. Reporte de análisis de laboratorio <i>Araucaria angustifolia</i>	89
Figura B6. Reporte de análisis de laboratorio (contenido de carbono) <i>Pinus tecunumanii</i> & <i>Araucaria angustifolia</i>	90
Figura B7. Regresión entre biomasa observada vs. biomasa estimada – Pinus	91
Figura B8. Regresión entre CC observado vs. CC estimado – Pinus.....	92
Figura B9. Regresión entre biomasa observada vs. biomasa estimada – Araucaria	93
Figura B10. Regresión entre CC observado vs. CC estimado – Araucaria.....	94

ILUSTRACIONES

Ilustración C1. Plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	95
Ilustración C2. Plantación de <i>Araucaria angustifolia</i>	95
Ilustración C3. Medición del perímetro del área	96
Ilustración C4. Determinación de rumbos en el establecimiento de las parcelas.....	96
Ilustración C5. Establecimiento e identificación de las parcelas	97
Ilustración C6. Identificación de las parcelas.....	97
Ilustración C7. Recolección de la muestra de hojarasca	98
Ilustración C8. Recolección de muestra hojarasca	98
Ilustración C9. Medición de árboles.....	99
Ilustración C10. Marcación de árboles	99
Ilustración C11. Construcción de calicata	100
Ilustración C12. Recolección de muestra de suelo.....	100
Ilustración C13. Extracción de material vegetal (raíces	101
Ilustración C14. Extracción de material vegetal (madera)	101
Ilustración C15. Extracción de material vegetal (hojas)	102
Ilustración C16. Pesaje de material vegetal.....	102
Ilustración C17. Etiquetado de material vegetal.....	103
Ilustración C18. Secado de material vegetal	103

Ilustración C19. Pesaje de ramas.....	104
Ilustración C20. Pesaje de corteza.....	104

TITULO: “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

Año: 2017

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 $B = -3597,962 + 1,348DAP^2 + 1982,447\ln HT - 33,233DAP(\ln HT)$ 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.

TITLE: “BALANCE BETWEEN BIOMASS AND CARBON IN PLANTATION OF *Pinus tecunumanii* EGUILUZ & PERRY (PINO) Y *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE (ARAUCARIA) AT THE EXPERIMENTAL STATION LA FAVORITA, SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS PROVINCE”

Autor: Luis Andrés Montoya Verdezoto

Director of titulation work: Ing. Walter Armando Palacios Cuenca

Year: 2017

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.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales son una importante medida de mitigación del cambio climático, ya que en ellas se secuestra 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 no se encuentra 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 sustentable 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.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Determinar el balance entre la cantidad de biomasa y carbono secuestrado en las plantaciones de *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*.

1.1.2 Específicos

- Cuantificar la biomasa aérea y superficial de las plantaciones.
- Calcular el carbono capturado en plantaciones.
- Determinar el balance entre biomasa y carbono capturado.
- Comparar la producción de biomasa y captura de carbono entre las plantaciones de *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*.

1.2 Hipótesis

Ho: La producción de biomasa y captura de carbono es similar en *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*

Ha: La producción de biomasa y captura de carbono es diferente en *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación Legal

2.1.1 Línea de investigación

El presente trabajo está enmarcado en la línea de investigación de la Carrera de Ingeniería Forestal: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible. Esta línea de investigación a su vez; contribuye: a) al objetivo 7 del Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017, que propone “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global”; y, b) a las políticas y lineamientos del mismo objetivo; 7.10 literal e) “Desarrollar actividades dirigidas a aumentar el conocimiento, la concienciación y la participación ciudadana en actividades relacionadas con la gestión del cambio climático (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2013, págs. 227, 239).

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Descripción de las especies forestales

2.2.2 *Pinus tecunumanii* (Bertol.) Kuntze

2.2.2.1 Descripción botánica

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 2012) afirma que:

Pinus tecunumaii es un árbol con altura aproximada de 40 m, con diámetros de 50 cm a 80 cm. Fuste recto, ramas verticiladas, normalmente delgadas, extendidas: copa piramidal. La corteza es café rojiza en la base, con placas pequeñas separadas por fisuras poco

profundas, de 2 cm a 5 cm de espesor a la altura del pecho. Las hojas son acículas de color verde brillante, en fascículos de 3 a 5 acículas. De 14 cm a 21 cm de largo.

2.2.3 *Araucaria angustifolia* Eguluz & Perry

2.2.3.1 Descripción botánica

De acuerdo con (CATIE, 2012) menciona que:

Araucaria angustifolia es un árbol con altura aproximada de 35 m y diámetros de 50 cm a 90 cm, copa estratificada, candeliforme con el follaje horizontal y agrupado en la parte terminal; fuste recto, cilíndrico y libre de ramas en casi toda su extensión. La corteza es de color pardo rojizo, gruesa, áspera, con lenticelas horizontales grandes y se desprende en placas anchas. Las hojas son simples, alternas, de 2 cm a 5 cm de largo. Las flores masculinas están en amentos cilíndricos y elongados, de 10 cm a 22 cm de largo y de 2 cm a 5 cm de diámetro; las flores femeninas son estróbilos solitarios y axilares, ovoides, de 6 cm de largo. Los pseudofrutos están reunidos en un estróbilo femenino o piña, de 10 cm a 25 cm de diámetro y número variable de semillas.

2.3 El cambio climático

Es la modificación o alteración de los componentes del sistema climático global convirtiéndose en uno de los problemas ambientales más mediatizados del siglo XXI (Achig, 2011); producto de las diferentes actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, transformación de bosques en tierras agrícolas, la utilización de fertilizantes nitrogenados, emisiones de metano del ganado (Fogel, 2012) y el resultado de esto es una de las causas principales del incremento de las concentraciones del carbono atmosférico (IPCC, 2007).

2.3.1 Consecuencias del cambio climático

Las consecuencias del cambio climático son generadas principalmente por la acción antrópica, la cual afecta a la biodiversidad produciendo la extinción de especies endémicas

(Pardo, 2013), incrementos de temperatura en los océanos, disminución de la cubierta de las capas de hielo, cambios de salinidad. Los efectos se podrán observarse en las zonas costeras que experimentarán aumento de niveles de inundación, erosión acelerada, pérdida de humedales y de manglares (IPCC, 2007).

2.4 Gases del efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son aquellos gases atmosféricos que ingresan a la atmósfera como parte de ciclos naturales, pasan por la radiación solar a la superficie de la tierra absorbiendo radiación infrarroja emitida por ésta, presentes en la atmósfera terrestre y dando lugar al efecto invernadero. Estos gases son producto de la actividad humana por el consumo de la energía (la quema de combustibles fósiles), la deforestación, la expansión de la frontera agrícola, el pastoreo. Entre los principales gases se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O), el metano (CH_4), los óxidos nitrosos (N_2O), los clorofluorocarbonados (CFCS), óxidos de nitrógeno (NO), monóxido de carbono (CO) y el ozono troposférico (O_3) (Idrovo, 2008; Córdova, 2013; IPCC, 2007).

2.4.1 Opciones de mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI)

Existen algunas alternativas para mitigar las emisiones del dióxido de carbono, entre ellas, utilización de medios de transporte más eficientes, obtención de bienes o servicios con menor gasto de energía también llamado eficiencia energética, promoción de energías de bajo impacto ambiental, medidas económicas a través de la incorporación de impuestos ambientales, y la fijación de carbono por medio de actividades forestales (Alcaraz, 2015).

2.5 Ciclo del carbono

Su ciclo comienza con la fijación de CO_2 atmosférico a través de los procesos de fotosíntesis, misma que es realizada por las plantas y algunos microorganismos, que ocurre por el tejido ubicado principalmente en las hojas y subsecuente en la transformación a partir de la energía lumínica, liberando O_2 a la atmósfera e hidratos de carbono a los demás órganos de la planta (Martínez, 2014). En este proceso el agua y el CO_2 reaccionan

formando carbohidratos y de forma simultánea liberando oxígeno que va directamente a la atmósfera (Flores, 2016).

2.5.1 Los ecosistemas forestales como sumideros de carbono

Rojo *et al*, (2003) indica que los ecosistemas forestales se convierten en sumideros de carbono durante el abandono de las tierras por tal motivo desempeñan un papel primordial almacenando grandes cantidades de carbono en la vegetación y en el suelo Ibacerna y Scheeije (2012); cuando los sumideros aumentan en área o productividad dan como resultado una mayor absorción del dióxido de carbono atmosférico.

2.5.2 Estimación de contenido de carbono (CC)

Para la estimación del CC se indica que el factor de conversión estándar de material vegetal a contenido de carbono es de 0.5, determinando que del 100 % de biomasa seca es 50 % de CC (IPCC, 2003).

2.6 Biomasa forestal

La biomasa forestal son los productos y residuos biodegradables procedentes de la vegetación de las áreas boscosas (Armas, 2015); siendo resultado de la fotosíntesis la cual es incorporada a los tejidos manifestándose a través del crecimiento expresado como peso seco que existe en un determinado ecosistema por encima o por debajo del suelo (Jaramillo, 2014); esta biomasa es susceptible a ser aprovechada de forma industrial parte de ella se utiliza como materia prima para su transformación (madera, corcho, pasta de celulosa), además de utilizarse como combustible, la biomasa se expresa usualmente en materia orgánica muerta (ton/ha) (Borrero, 2012).

2.6.1 Determinación de biomasa

El contenido de biomasa puede estimarse mediante métodos directos e indirectos. En el primer caso se corta el árbol y se determina la biomasa pesando directamente cada componente. En el segundo utiliza métodos de cubicación donde se suman los volúmenes y

se toman muestras las que se pesan en el campo para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco (España, 2016).

Los métodos más utilizados para cuantificar la biomasa son:

a) Método destructivo

Este método consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente del árbol proporcionando un valor exacto de la biomasa, permitiendo plantear relaciones funcionales entre la biomasa y las variables de fácil medición como el DAP, altura comercial o total (Fonseca *et al.*, 2009).

b) Sensores remotos

Este método consiste en utilizar sensores remotos pueden proveer de datos sobre el ciclo dinámico de la biomasa que posibilitan la evaluación de coberturas boscosas en grandes extensiones mediante la utilización de imágenes Landsat (Ochoa, March, Castillo y Escandon, 1999).

2.7 Modelos alométricos para masas forestales

Los modelos alométricos son ecuaciones de regresión matemática que permiten estimar el volumen, la biomasa y el carbono de Árboles Arbustos y Palmas (AAP) en función de variables de fácil medición tales como el DAP, la altura total (HT) y variables difíciles de medir como la biomasa y volumen. Para disminuir costos y la tasa de destrucción en el bosque o plantación se puede limitar el estudio a una muestra de árboles con el objetivo de identificar estadísticamente los parámetros alométricos para todo el conjunto de árboles presente en el área de investigación (CIRAD & FAO, 2012).

Andrade y Segura (2008) describen detalladamente el proceso para la elaboración de un modelo alométrico para (AAP) desde definición del ecosistema y selección de las especies de interés, determinación del tamaño de la muestra; selección de individuos por muestrear;

medición, corte y estimación de volumen, biomasa y carbono por árbol hasta selección de los mejores modelos alométricos.

Los modelos son específicos para cada tipo de ecosistema, zona de vida, especie o grupo de especies (Andrade y Segura, 2008).

En trabajos realizados en zonas tropicales se ha encontrado que las variables independientes que predicen con mayor exactitud la biomasa capturada por un árbol son el DAP, Db y HT (Regina, 2000); variables que son las más comunes en inventarios forestales (CIRAD & FAO, 2012).

2.8 Selección del modelo alométrico de mejor ajuste

Para seleccionar el modelo que se ajuste más a los datos se evalúa cada modelo con los siguientes mecanismos (Andrade y Segura, 2008):

- **Coefficiente de determinación:** Indica la proporción de la variación total observada en la variable dependiente explicada por el modelo.
- **Coefficiente de determinación ajustado:** Es una variable del coeficiente de determinación que no necesariamente aumenta una variable independiente adicional en el modelo, debido a que penaliza la inclusión de nuevas variables independientes.
- **Error cuadrático medio de predicción:** Los modelos seleccionados por su mayor capacidad de ajuste son aquellos que expresan el menor valor en el criterio (Ferriols, Alos, Rius y Navarro, 1995 citado por Lerma y Orjuela, 2014).
- **Lógica biológica del modelo:** Se realiza un balance entre la rigurosidad estadística y la practicidad en el uso de los modelos alométricos comparando los valores estimados por cada modelo con los valores que el investigador esperaría (Andrade y Segura, 2008).

2.9 Estudios relacionados

2.9.1 Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la biosfera el Cielo, Tamaulipas, México

Rodríguez, Jiménez, Aguirre, Treviño y Razo (2009) en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México emplearon de muestreo dirigido, en sitios de muestreo de 1000 m² dividido en cuatro cuadrantes. Las variables que midieron fueron altura total y diámetro normal (DAP). En cada sitio pesaron la hojarasca y la necromasa, para la hojarasca utilizaron tres parcelas de 1 m² dentro de los cuadrantes II, III, IV, formados previamente, pesaron toda la biomasa de hojas, ramillas, estróbilos y ramas de hasta 5 cm de diámetro. En la medición de la materia muerta o necromasa emplearon una parcela de 25 m² ubicada en el cuadrante I, pesándose todo el material muerto sobre el suelo con un diámetro mayor de 5 cm.

La biomasa aérea total fue de 186,3 t/ha, la mayor parte de la biomasa se encuentra en los fustes, ramas y hojas (88,6%), la hojarasca aporta el 10,7%, los renuevos y la necromasa almacenan el 0,4 y 0,3 % respectivamente, del total de la biomasa aérea. En lo que refiere a biomasa radicular se obtuvo 33,0 t/ha y el contenido de carbono total fue de 93,1 t/ha y contenido de carbono radicular 6,51 t/ha. La distribución del C en los depósitos del bosque se obtuvo que los árboles almacenan el 75,3%, seguido del sistema radicular con el 15% y la hojarasca almacena el 9% en el bosque, con la estimación de la biomasa en las especies de *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus* procedieron a la construcción del siguiente modelo alométrico (Rodríguez *et al.*, 2009).

Modelo	R ²
$B = 0,032495DAP^{2,76658}$	0,99

2.9.2 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

El estudio fue desarrollado por González (2008) en el municipio Coapilla, Chiapas, México, ubicado en las montañas del sureste mexicano, con una superficie de 6108,20 ha, una altitud promedio de 1630 msnm y precipitación promedio anual de 1400 a 1600 mm. La temperatura mínima oscila entre los 6 y 21 °C y máxima de 18 y 33 °C.

Se empleó el muestreo dirigido con parcelas de 1000 m², donde tomó información dendrométrica altura total y el diámetro normal (DAP) de los árboles; la biomasa del fuste se estimó con la información de volumen del fuste total y la densidad de la madera. Para la estimación del carbono almacenado se realizó a partir de los datos de biomasa total de cada árbol, empleando la fracción de carbono FC = 0,5. Las parcelas fijaron 142,23 t/ha de biomasa, y un 74,25 t/ha de carbono. Este resultado de biomasa y carbono estuvo en función de 256 árboles por hectárea, con la estimación de la biomasa en la especie de *Pinus oocarpa* procedió a la construcción del modelo alométrico para esta investigación (González, 2008).

Modelo	R²
$B = -10,4113 + (-5,3998DAP) + 0,8144DAP^2$	0,95

2.9.3 Ajuste de ecuaciones para la determinación de de la biomasa de plantaciones de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Ktze en el norte de la provincia de Misiones

Fernández., Martiarena, Goya, Lupi y Frangi (2004) investigaron en rodales de *Araucaria angustifolia* ubicados en el Norte de la provincia de Misiones, seleccionándose dos sitios de muestreo: Campo Anexo Manuel Belgrano ubicado a 600 msnm, el clima de la región se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 19,4 °C, una máxima absoluta de 35,5 °C y mínimas absolutas de -7 °C, y precipitación media anual oscila alrededor de 2000 mm. Puerto Laharrague, el clima de la zona se caracteriza por presentar una temperatura media anual entre 20 y 21 °C y una amplitud media anual de 11 °C. Las precipitaciones varían en torno a los 2000 mm.

Se inventariaron plantaciones de tres clases de edad, definidas entre 20 - 25 años, 30 - 35 años y 40 - 45 años. Para cada una de ellas se instalaron tres parcelas circulares de 600 m². En cada parcela se midió el DAP (diámetro a 1,30 metros de altura) y altura (H) de todos los individuos. El peso de los árboles se obtuvo mediante técnicas de análisis dimensional. En total se apearon 27 individuos, tres árboles por parcela, comprendidos en el rango de distribución diamétrica existente en las parcelas. En total se cosecharon 9 árboles para cada una de las clases de edad. (Fernández *et al.*, 2004).

La biomasa aérea total resultó 121,6 t/ha para la clase 20 - 25 años, 137,2 t/ha para la clase 30 - 35 años y 245,3 t/ha para la clase 40 - 45 años y carbono aéreo total 60,8 t/ha para la clase 20 - 25 años, 68,6 t/ha para la clase 30 - 35 años y 122,65 t/ha para la clase 40 - 45 años. *Araucaria angustifolia*, registro un incremento medio anual (IMA) en DAP de 1,10 cm, HT un IMA de 0,62 cm, AB un IMA 0,4708 m², volumen un IMA de 6,650 m³. Con la biomasa estimada propusieron la construcción del siguiente modelo (Fernández *et al.*, 2004).

Modelo	R ²
$P_s = -41,713 + 0,565 * DAP^2$	0,94

2.9.4 Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze

La investigación se desarrollada por Vega & Martiarena (2010) en plantaciones de *Araucaria angustifolia* de 20, 30 y 40 años de edad pertenecientes a empresas del sector y a la Estación Experimental INTA, distribuidas en diferentes puntos geográficos de la provincia de Misiones con un clima cálido. De las plantaciones se obtuvieron parámetros dasométricos como la densidad inicial de plantación, densidad arbórea, área basal y altura. Se registraron las mediciones del Dap y la altura total. De cada compartimiento se extrajo una muestra, se pesó y se llevó a laboratorio. La misma fue secada hasta peso constante para determinar el coeficiente de transformación de peso húmedo a peso seco.

La biomasa aérea total resultó 126,6 t/ha para la clase 20 años, 136,8 t/ha para la clase 30 años y 207,6 t/ha para la clase 40 años y carbono aéreo total 56,2 t/ha para la clase 20

años, 60,5 t/ha para la clase 30 años y 92,2 t/ha para la clase 40 años (Vega & Martiarena, 2010).

2.9.5 Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schltdl. et Cham

La investigación se desarrollo en Ejido Mariano de Matamoros, ubicado al Noroeste de la población El Rosario, municipio de Tlaxco, Se seleccionaron 25 árboles de *Pinus patula*, sin deformidades ni enfermedades, los cuales ya estaban marcados para aprovechamiento; se trataron de incluir todas las categorías diamétricas que se encontraron en el predio. Antes de derribar cada árbol se midió su DAP. Se procedió a derribarlo, su fuste fue seccionado en trozas comerciales de 2,55 m de longitud las primeras, las últimas trozas fueron de 1,25 m, que es el tamaño comercial de las trozas más pequeñas. El DN de los árboles muestreados varió en un rango de 6,7 a 64,1 cm, y su biomasa de 7,62 a 2741,76 kilogramos (Diaz *et al.*, 2007).

Los parámetros del modelo y la dispersión de puntos de los valores de biomasa observados. Las ecuaciones para estimar biomasa y contenido de carbono en *Pinus patula* se muestran a continuación (Diaz *et al.*, 2007).

Modelo	R²
$B = 0,0357DAP^{2,6916}$	0,98
$C = 0,021 * DAP^{2,6451}$	0,98

2.9.6 Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo.

La investigación desarrollada por Figueroa, Angeles, Velázquez, de los Santos (2010) se realizó en el Ejido La Mojonera, que está localizado en el municipio de Zacualtipán, Hidalgo. El clima es templado húmedo, temperatura media anual es de 12.7°C y la precipitación es de 1901 mm. La estimación de biomasa aérea se realizó a través de una selección aleatoria de 18 árboles, los cuales se derribaron, se midió su altura y se obtuvieron trozas de dimensiones comerciales.

Los árboles ya cosechados se separaron en sus componentes estructurales, se registró el peso seco de cada una de las muestras por componente. Mediante la diferencia entre el peso fresco y el peso seco de las muestras se determinó el contenido de humedad. La investigación desarrollo el modelo para estimar biomasa en *Pinus patula* (Figueroa *et al.*, 2010).

Modelo	R²
$B = 5,338 + 0,018635 * DAP^2 * HT$	0,97

2.9.7 Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham.

El presente trabajo se desarrolló en dos predios contiguos bajo aprovechamiento forestal: Tlacotla y el nacimiento en el ejido Mariano de Matamoros, que se ubica a aproximadamente 5 km al noroeste de la población El Rosario, municipio de Tlaxco, Se utilizó la metodología donde se obtuvieron muestras del estrato aéreo (árboles, arbustivo - herbáceo y mantillo) y subterráneo (suelo + raíces en dos profundidades, 0 - 20 cm y 21 - 40 cm), en sitios de 1000 m², la estimación del contenido de carbono fue mediante el siguiente modelo alométrico con un R² 0,32 (Diaz, 2007 citado por Acosta *et al.*, 2009).

Modelo	R²
$C = 0,0948 * DAP^{2,4079}$	0,32

2.9.8 Funciones alométricas para la determinación de existencias de carbono forestal para la especie *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (Araucaria)

El estudio se realizó en el predio La Fusta, ubicado en la Comuna de Lonquimay, provincia de Malleco, Novena Región de la Araucanía, vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes, Chile, a una altitud de 1380 msnm, clima frío, húmedo y con 2 a 4 meses secos en verano. La precipitación de 1.500 a 2.500 mm, temperatura media que varían entre -1°C en invierno hasta 9°C en verano. El proceso de selección de los individuos se basó en la disponibilidad de árboles aislados vivos, se procedió a la estimación del

contenido de carbono con diversos modelos construidos para la investigación (Gayoso 2013).

Modelo	R²
$B = EXP^{-2,25492+2,3987 * \ln (DAP)}$	0,99
$B = EXP^{(5,44174 + 0,0257384 * DAP+0,0319936 * HT)}$	0,98
$B = -699,191 + EXP^{(6,17466 + 0,0226917 * DAP + 0,0195849 * HT)}$	0,97

2.9.9 Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*

La investigación se desarrollo en los municipios de Caídas del Iguazú y General Carneiro, sur del país en el estado de Paraná – Brasil, se utilizaron 30 árboles para el presente estudio, que fueron apeados y pesados. Se procedió a la estimación de contenido de carbono mediante los siguientes modelos construidos por los investigadores (Sanquetta, Dalla, Mognon, Benedet, Lourenço, 2014).

Modelo	R²
$\log Y = -1,2538 + 2,3474 * \log DAP$	0,86
$Y = 7,2153 + 0,0095 * DAP^2 * H$	0,86
$\log Y = -1,7967 + 0,9506 * \log(DAP^2 * H)$	0,85
$\log Y = -1,5232 + 2,1400 * \log DAP + 0,4559 * \log H$	0,86

2.9.10 Sistema volumétrico para *Pinus oocarpa* Schiede y *Pinus douglasiana* Martínez en el estado de Durango

La investigación desarrollada por Valencia (2013) se realizó en El Salto ubicado al suroeste del estado de Durango, y comprende los municipios de Pueblo Nuevo, San Dimas y Durango, con una extensión superficial de más 558 mil hectáreas. Para este estudio se seleccionaron dos especies forestales maderables de la región *Pinus oocarpa*, y *Pinus douglasiana*. Se derribaron y midieron árboles por categoría diamétrica y por especie,

Los árboles fueron seleccionados a través de muestreo dirigido, la toma de datos de campo se realizó mediante un muestreo destructivo, se midieron entre otras variables las siguientes: diámetro normal con y sin corteza (D, en cm), altura total (H, en m), diámetro

con y sin corteza (d, en cm) para cada sección a la altura que se encontraba con respecto al suelo (h, en cm), diámetro con y sin corteza de todas las ramas que sobrepasaron los 5 cm en diámetro a la base. *Pinus oocarpa*, registro un incremento medio anual (IMA) en DAP de 0,79 cm, HT un IMA de 0,45 cm, AB un IMA 0,279 m², volumen un IMA de 1,981 m³ (Valencia, 2013).

2.9.11 Análisis de 25 procedencias de *Pinus patula* Schlect. et Cham para su categorización como fuente semillera en la provincia de Imbabura

El rodal donde se realizó la investigación tiene una extensión de 1,94 Ha con las siguientes dimensiones 231x84 m, está plantado siguiendo las curvas de nivel, con un espaciamiento de 3x3 m, sobre un terreno de textura arenosa, con una topografía que va de suave a ondulado. Cuenta con 44 bloques y/o repeticiones, la unidad experimental o parcela está representada por un individuo. *Pinus patula*, registro un incremento medio anual (IMA) en DAP de 2,48 cm, HT un IMA de 1,41 cm, AB un IMA 1,1190 m², volumen un IMA de 9,590 m³ (Yépez, 2012).

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 Descripción del sitio de estudio

a. Fase de campo

El estudio se realizó en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, parroquia Alluriquin, comunidad Chiriboga (Figura B1 del Anexo B), en la Estación Experimental La Favorita (EELF), que se encuentra situado a 2 km de la comunidad de Chiriboga, sus límites son al norte río Saloya, al sur terrenos baldíos, al este quebrada las Peñas, al oeste predio del señor Ernesto Descalzi (Meneses, 2016), con una precipitación promedio 3000 mm, temperatura 16 °C (Rosero & Cuamacas, 2005).

El sitio está comprendido 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 (MAE, 2012).

Las plantaciones de *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia* fueron establecidas en 1988 y 1982 respectivamente, mientras transcurría su crecimiento se estableció sistemas silvopastoriles, además de realizarse raleos fitosanitarios y silviculturales (Rosero y Cuamacas, 2005).

Las características edáficas de las macronutrientes de las plantaciones se presentan en la Tabla 1 y Figuras B4 y B5 del Anexo B:

Tabla 1.

Reporte de analisis químico del suelo Pinus tecunumanii y Araucaria angustifolia

Nutriente	<i>Pinus tecunumanii</i>	<i>Araucaria angustifolia</i>	Unidad
N	18,14 (bajo)	23,8 (bajo)	ppm
P	4,24 (bajo)	3,9 (bajo)	
S	7,97 (bajo)	10,33 (bajo)	
K	0,20 (bajo)	0,31(medio)	meq/100 ml
Ca	6,54 (alto)	4,46 (medio)	
Mg	0,82 (medio)	0,75 (medio)	
MO	11,48 (alto)	10,54 (alto)	%
ph	7,09 (neutro)	6,55 (neutro)	

b. Fase de laboratorio

Las muestras de madera, corteza, hojas, ramas y raíces se secaron en el Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca de la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte.

3.2 Materiales y equipos

a. Laboratorio

- Horno
- Balanza digital

b. Equipos e instrumentos

- Balanza
- Calibrador
- Cinta métrica
- Cinta diamétrica
- Flexómetro
- GPS
- Hipsómetro
- Motosierra

c. Insumos

- Plástico de embalaje

d. Material vegetativo

Muestras de 3 kg, por componente de árbol (ramas, corteza, hojas, raíces, madera) de *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*.

3.3 Metodología

3.3.1 Delimitación de las plantaciones

Con la ayuda de un navegador (GPS) se procedió a tomar puntos referenciales, posteriormente se realizó el mapa base de las plantaciones empleando el software ArcGis (Figuras B2 y B3 del Anexo B).

3.3.2 Distribución de las parcelas dentro del conglomerado

Para el diseño se tomó en cuenta la distribución de las parcelas del Proyecto Evaluación Nacional Forestal (MAE, 2011).

a. Parcelas principales

Las parcelas fueron de 30 m x 30 m dentro de estas se procedió a medir la biomasa. En las parcelas (Figura 1) se midieron todos los árboles vivos, muertos en pie y tocones mayores de 10 cm de DAP.

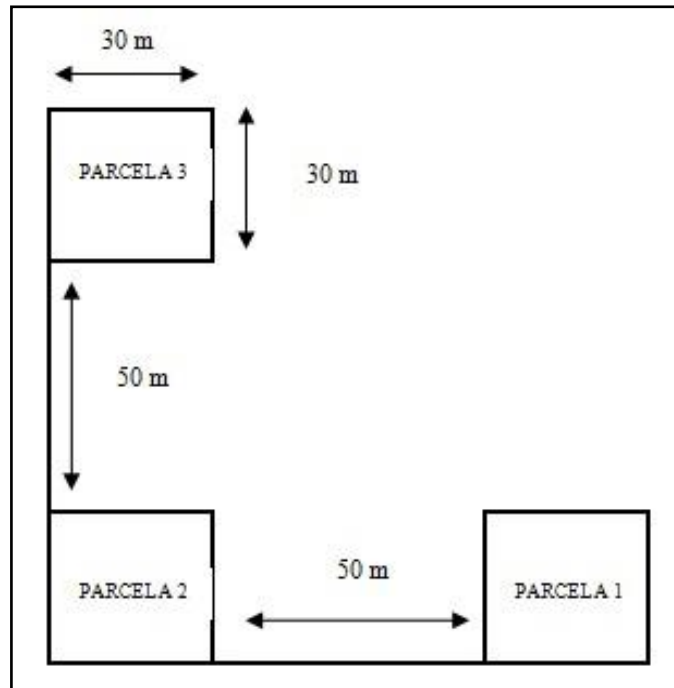


Figura 1. Distribución de las parcelas

b. Parcela anidada # 1

La primera parcela anidada fue un cuadrado de 10 m x 10 m, que se ubicó al extremo sureste de la parcela principal. En la parcela (Figura 2) se midieron los árboles vivos y muertos en pie con DAP mayores a 5 cm y menores a 10 cm.

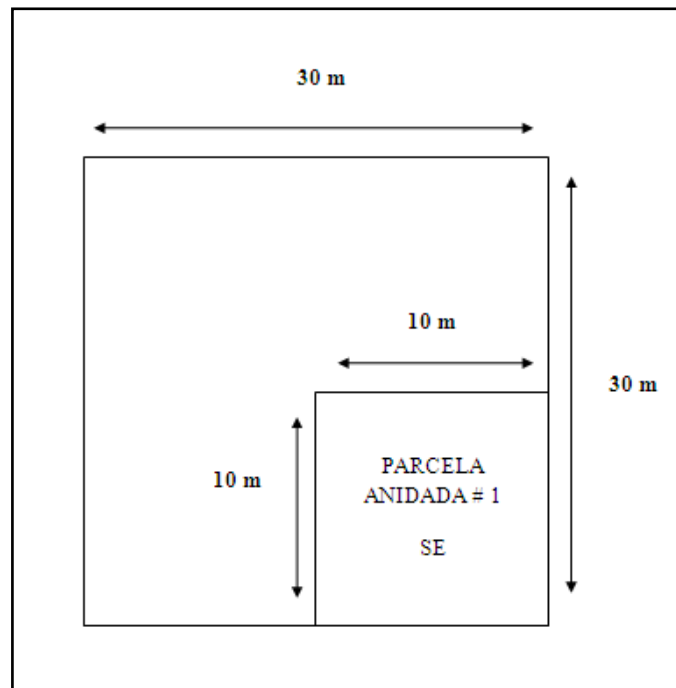


Figura 2. Parcela anidada 10 x 10 m

3.3.2.1 Parcela anidada # 2

La segunda parcela anidada consistió en dos cuadrados de 50 cm x 50 cm que se ubicaron en la esquina sureste y otra en la noroeste de la parcela principal. En la parcela (Figura 3) se separó del material de la parcela aquellos elementos que tuvieron más de 5 cm de diámetro para posteriormente pesar los elementos inferiores a esta dimensión.

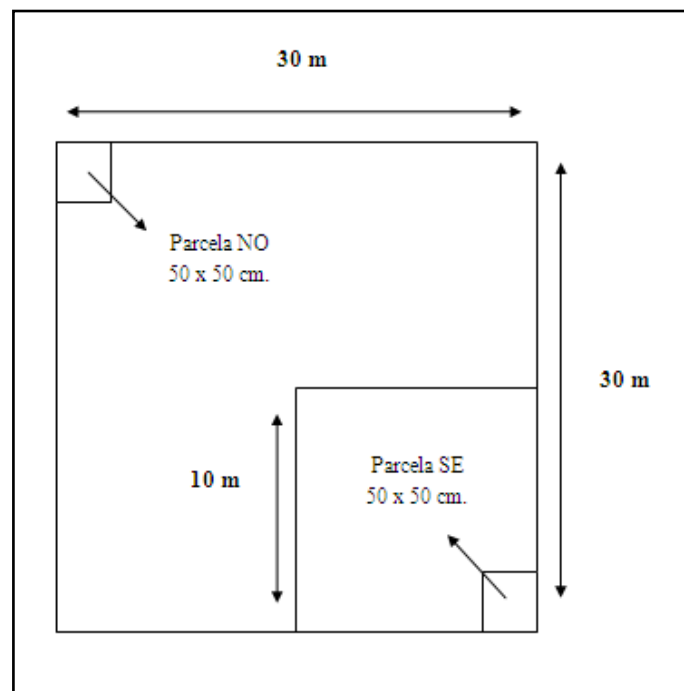


Figura 3. Parcelas anidada 50 x 50 cm

3.3.3 Recolección de muestras del suelo

Se hizo una calicata de 1 m³ donde se recolectó muestras de suelo que fueron enviadas a LABORNORT¹ para determinar las características químicas (Figuras B4 y B5 del Anexo B).

¹ LABORNORT: Laboratorios Norte

3.3.4 Obtención del material vegetativo

- En cada parcela se seleccionaron y apearon tres árboles mayores a 10 cm de DAP (Figura 1); de cada árbol se colectó/extrajo 3 kg de raíces, ramas, hojas corteza, madera.
- Los 3kg extraídos fueron embalados con plástico para mantener su contenido de humedad y trasladados al laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca de la Universidad Técnica del Norte, donde se procedió a secar las muestras en la estufa y así obtener la biomasa seca.

3.3.5 Inventario forestal

Se registró el DAP y la HT de todos los individuos superiores a 10 cm que se encontraron dentro del conglomerado, posteriormente se procesó los datos mediante las siguientes ecuaciones.

$$AB = \pi \cdot DAP^2 / 4$$

Ec. 1

En donde:

AB	=	Área basal
π	=	3.141516
DAP	=	Diámetro del árbol a la altura del pecho (1,30 m)

$$V = AB \cdot h \cdot f$$

Ec. 2

En donde:

V	=	Volumen del árbol
AB	=	Área basal
h	=	Altura de árbol
f	=	Factor de forma

$$IMA = Y/T$$

Ec. 3

En donde:

IMA	=	Incremento medio anual
Y	=	Dimensión de la variable considerada
T	=	Edad de la especie

3.3.6 Cálculo de biomasa

La biomasa se determinó mediante el método destructivo que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente del árbol, lo que permite plantear relaciones funcionales entre la biomasa y las variables DAP, altura comercial o total (Fonseca *et al.*, 2009).

Para el cálculo de biomasa se empleó los valores de las muestras de raíces, ramas, hojas corteza y madera; luego se relacionó con el peso verde total de cada uno de los componentes y se aplicó la siguiente ecuación.

$$B = Psh + Psr + Psf + Psrz$$

Ec. 3

Donde:

B	=	Biomasa total
Psh	=	Peso seco hojas
Psr	=	Peso seco ramas
Psf	=	Peso seco fuste
Psrz	=	Peso seco raíz

3.3.7 Cálculo del contenido de carbono

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.

3.3.8 Medición de carbono en el suelo

El CC en el suelo fue determinado por LABORNORT (Figura B6 del Anexo B) mediante el método Walkley and Black (oxidación del carbono con exceso de dicromato en medio sulfúrico).

3.3.9 Análisis estadístico

El análisis se realizó en base a las medidas estadísticas centrales y de dispersión (media, desviación estándar, error estándar de la media, coeficiente de variación) además de la prueba de “*t*” de Student citados por Aguirre & Vizcaíno (2010), cuyas ecuaciones se indican en la Tabla 1.

Las variables en estudio fueron: dasométricas (DAP, área basal, altura total, volumen edáficas) y edáficas (análisis químico del suelo, contenido de carbono).

Tabla 2.*Estimadores estadísticos*

Medida estadística	Ecuación
Media	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$
Varianza	$S^2 = \frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}$
Desviación estándar	$S = \sqrt{S^2}$
Coefficiente de variación	$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$
Error estándar de la media	$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$
Prueba de “t” de Student	$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{x_c}}$

Para comparar la producción de biomasa y el porcentaje de carbono capturado de las plantaciones de *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia*, se aplicó prueba de “t” de Student al 1 y 5 % de probabilidad estadística.

3.3.10 Obtención de ecuaciones alométricas para la biomasa y contenido de carbono

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, 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.

3.3.11 Extrapolación de datos

Con los de datos de biomasa por árbol y biomasa total por conglomerado se realizó la extrapolación para las plantaciones de las especies investigadas.

3.3.12 Validación de los modelos alométricos

Para la validación de los modelos alométricos se tomó los datos de DAP y HT de los arboles apeados y se aplicó los modelos teóricos de las investigaciones citadas, se obtuvieron con cada modelo valores estimados de biomasa y carbono. Con los valores estimados y observados se elaboro graficos de comparación para observar la existencia de sub y sobre estimaciones, finalmente se realizaron analisis de regresión entre los valores estimados y observados para determinar los coeficientes R^2

Se calculó las desviaciones entre los valores estimados y observados y mediante la sumatoria se determinó las diferencias de estimación de los modelos alométricos

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Inventario forestal

La Tabla 3 muestra los resultados del análisis estadístico de las variables de medición directa (DAP y HT) y calculadas (AB y volumen) del inventario forestal.

Tabla 3.

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

Al realizar el análisis estadístico del inventario forestal (Tabla 3) 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.

La Tabla 4 muestra los resultados promedios, IMA de DAP, HT, AB y volumen en diferentes estudios.

Tabla 4.

Crecimiento de Araucaria angustifolia, Pinus tecunumanii, Pinus patula, Pinus oocarpa en 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 <i>et al</i> , (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	
<i>Pinus patula</i>	33,5	19,1	2,48	1,41	15,1064	129,461	1,1190	9,590	169	13,5	Yépez (2012)
<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 *et al.* (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 4).

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 4).

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 4).

4.2 Biomasa de las plantaciones

La biomasa de cada uno de los componentes del árbol se presenta en la Tabla 5; donde 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 5).

Rodríguez *et al.* (2009) y González (2008) en condiciones similares de temperatura, altitud, y menor precipitación que la EELF registró 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 5).

Del análisis que antecede se deduce que, el número de árboles es el factor determinante en la diferencia de cantidad de biomasa en las plantaciones de las especies estudiadas. Se puede inferir que el crecimiento de *Araucaria angustifolia* fue superior al registrado en las investigaciones citadas, debido a las condiciones climáticas, principalmente a temperatura y precipitación, que son superiores en la EELF.

Pinus tecunumanii en la EELF fue objeto de raleos que incidieron en el número de individuos presentes en la plantación, que si bien la biomasa es inferior, el desarrollo del crecimiento general de la especie es superior en la EELF.

La Tabla 5 muestra los resultados de biomasa de las plantaciones, con mayor biomasa aérea en *Araucaria angustifolia* y *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus*

Tabla 5.
Biomasa de las plantaciones

Espece	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 Laharrague	Fernández <i>et al.</i> (2004)
	30 - 35	137,2	-	-	206		
<i>Araucaria angustifolia</i>	40 - 45	245,3	-	-	300	Campo Anexo Manuel Belgrano	Vega & Martiarena, (2010)
	20	126,6	-	-	444	Estación Experimental INTA	
	30	136,8	-	-	212		
	40	207,6	-	-	258		

4.3 Carbono capturado en plantaciones

El contenido de carbono total para cada uno de los componentes del árbol se presenta en la Tabla 6. 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 6).

Rodríguez *et al.* (2009) y González (2008) registraron valores de CC aéreo y radicular superiores para especies de *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 6).

Cabe recalcar que para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia* presentaron un mayor crecimiento en las variables DAP y HT, debido a la mayor precipitación y temperatura presentes en la estación.

La Tabla 6 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 6.
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	
Pino (<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	Fernández <i>et al.</i> (2004)
	30 - 35	68,6			206	Laharrague	
	40 - 45	122,65			300	Campo Anexo Manuel Belgrano	
<i>Araucaria angustifolia</i>							
	20	56,2			444	Estación Experimental INTA	Vega & Martiarena, (2010)
	30	60,5			212		
	40	92,2			258		

4.4 Balance entre biomasa y carbono capturado

Los valores del balance entre biomasa y carbono de las dos especies se muestran en la Figura 4. 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.

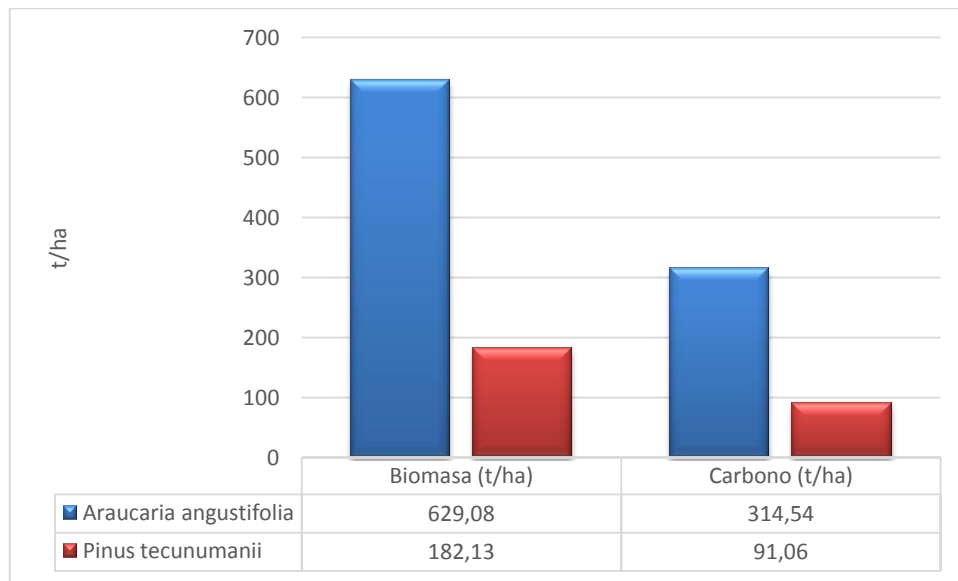


Figura 4. Balance de biomasa y CC (t/ha)

En las tablas 7 y 8 muestra la prueba de t de Student que indica la producción de biomasa y 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 (Tablas A15 y A16 del Anexo A) 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 7.*Prueba de de t de Student para biomasa*

Especie	Aérea	Superficial	Radicular	Total
<i>Araucaria angustifolia</i>	147,44	11,47	50,79	209,69
<i>Pinus tecunumanii</i>	31,92	11,46	17,33	60,71
Prueba de t de Student	27,06	0,17	8,40	26,31
Significancia	**	ns	**	**

ns: no significativo, **: altamente significativo

Tabla 8.*Prueba de de t de Student para contenido de carbono*

Especie	Aérea	Superficial	Radicular	Total
<i>Araucaria angustifolia</i>	73,72	5,74	25,39	104,85
<i>Pinus tecunumanii</i>	15,96	5,73	8,67	30,35
Prueba de t de Student	27,17	0,05	8,40	26,30
Significancia	**	ns	**	**

ns: no significativo, **: altamente significativo

4.5 Construcción de modelos alométricos

4.5.1 Modelos alométricos biomasa

En la Tabla 9 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 R^2 de 0,83 y 0,94 para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia* respectivamente (Tablas A7 y A11 del Anexo A). Así mismo los valores observados vs los estimados mostraron porcentajes de 77,78 y 88,89 % para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia* respectivamente.

Tabla 9.*Modelos alométricos de biomasa para Pinus tecunumanii y Araucaria angustifolia*

Especie	Modelo	R²	Σ(BT-BTest)
<i>Pinus tecunumanii</i>	$B = 393,133 - 2,394DAP^2 + 0944DAP^2(\ln HT)$	0,83	0,04
<i>Araucaria angustifolia</i>	$B = -3597,962 + 1,348DAP^2 + 1982,447\ln HT - 33,233DAP(\ln HT)$	0,94	0,00

B= Biomasa, **DAP**= diámetro a la altura del pecho, **lnHT**= logaritmo natural de altura total

Para estimar la biomasa se consideró la relación entre las variables DAP y HT, debido a que éstas son de medición directa y permiten realizar mejores estimaciones. El modelo construido para *Pinus tecunumanii* mostró un R^2 inferior al calculado por otros autores (Tabla 10). Al comparar las estimaciones con el modelo construido vs los modelos citados, se demuestra que existe una mejor estimación (Figura 5); debido a que se realizan sobre estimaciones y sub estimaciones de la biomasa por individuo.

Al sumar las desviaciones de la biomasa estimada del modelo de *Pinus tecunumanii* con respecto a los valores observados se obtuvo un valor de 0,04 kg; es decir, los errores de estimación se compensan (Tabla A8 del Anexo A). Por el contrario, al aplicar los modelos citados, se tiende a sub estimar la cantidad de biomasa; por lo tanto, los valores de las desviaciones son superiores, siendo el modelo de mejor ajuste el de *Pinus oocarpa* de González (2008).

Al comparar los coeficientes R^2 entre los valores observados vs valores estimados del modelo construido, se tiene un mejor ajuste a la recta de regresión que con los modelos de los otros autores; siendo el modelo más aceptable el de Figueroa *et al.* (2010) (Figura B7 del Anexo B).

En la Tabla 10 se muestran los modelos alométricos de biomasa para pino en donde el modelo de mejor ajuste es de *Pinus oocarpa*

Tabla 10.

Modelos alométricos para predecir biomasa - Pinus

Especie	Modelo	R²	Σ(BT-BTest) (kg)	Fuente
<i>Pino</i> ²	$B = 0,032495DAP^{2,76658}$	0,99	2617,59	Rodríguez <i>et al.</i> (2009)
<i>Pinus patula</i>	$B = 0,0357DAP^{2,6916}$	0,98	3799,27	Diaz <i>et al.</i> (2007)
	$B = 5,338 + 0,018635 * DAP^2 * HT$	0,97	4548,40	Figueroa <i>et al.</i> (2010)
<i>Pinus oocarpa</i>	$B = -10,4113 + (-5,3998DAP) + 0,8144DAP^2$	0,95	982,63	González (2008)

B= Biomasa, **DAP**= diámetro a la altura del pecho

² Pino : *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus*

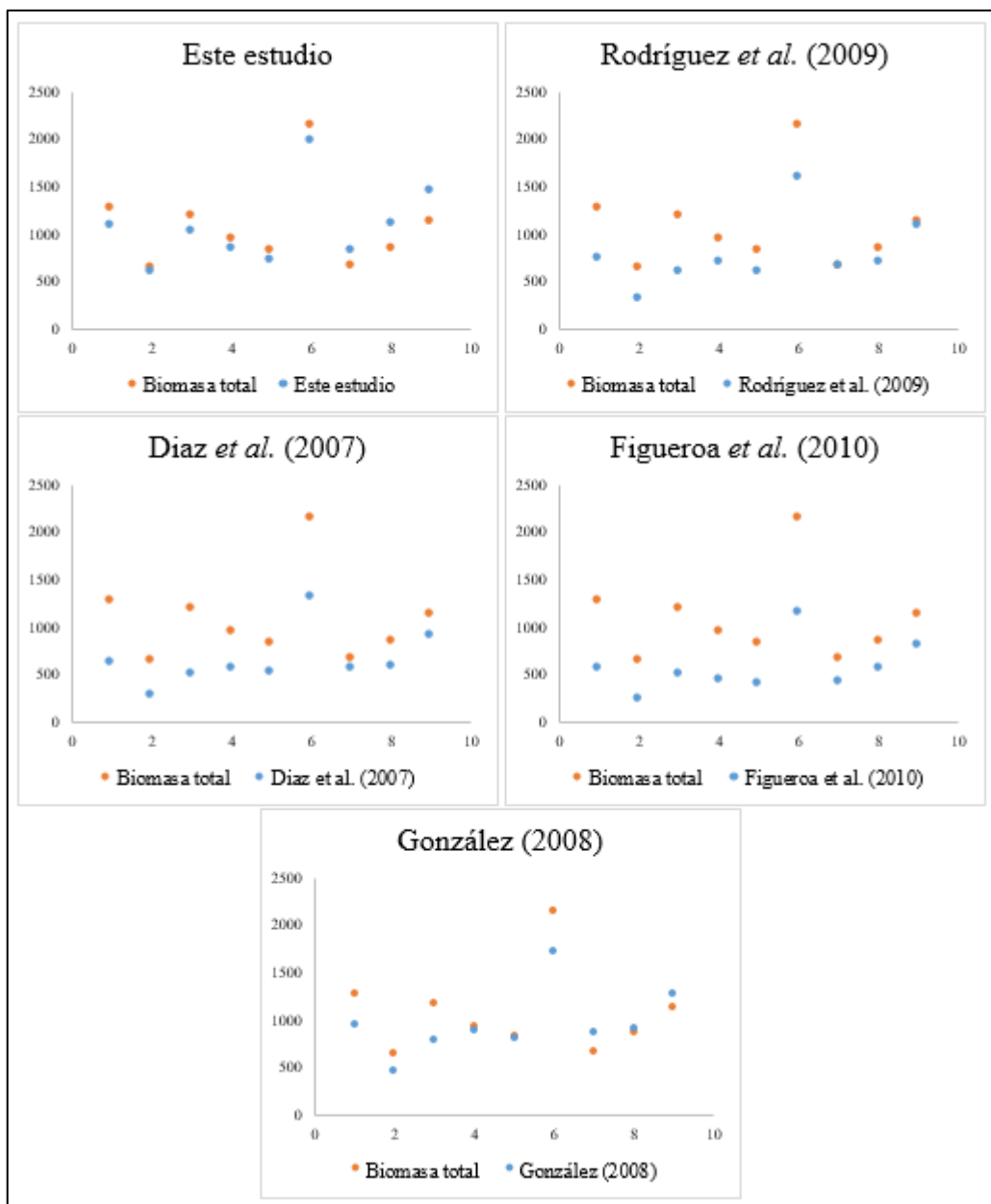


Figura 5. Biomasa observada vs biomasa estimada por árbol – Pinus.

El modelo construido para *Araucaria angustifolia* mostró un R^2 similar al calculado por otros autores (Tabla 11). Al comparar las estimaciones con el modelo construido vs los modelos citados, se demuestra que existe una mejor estimación (Figura 6); debido a que se realizan sobre estimaciones y sub estimaciones de la biomasa por individuo.

Al sumar las desviaciones de la biomasa estimada del modelo de *Araucaria angustifolia* con respecto a los valores observados se obtuvo un valor de 0,00 kg; es decir, los errores de estimación se compensan absolutamente (Tabla A12 del Anexo A). Por el contrario, al aplicar los modelos citados, se tiende a sub estimar la cantidad de biomasa; por lo tanto, los valores de las desviaciones son superiores, siendo el modelo 1 de mejor ajuste el de *Araucaria araucana* de Gayoso (2013).

Al comparar los coeficientes R^2 entre los valores observados vs valores estimados del modelo construido, se tiene un mejor ajuste a la recta de regresión que con los modelos de los otros autores; siendo el modelo 2 el más aceptable el de Gayoso (2013) (Figura B9 del Anexo B).

En la Tabla 11 se muestran los modelos alométricos de biomasa para araucaria en donde el modelo de mejor ajuste es el modelo 1 de *Araucaria araucana*

Tabla 11.

Modelos alométricos para predecir biomasa - Araucaria

Especie	Modelo	R²	Σ(BT-BTest)	Fuente
	$B = EXP(-2,25492+2,3987 * \ln (DAP))$	0,99	-3762,50	
<i>Araucaria araucana</i>	$B = EXP(5,44174 + 0,0257384 * DAP+0,0319936 * HT)$	0,97	-7290,70	Gayoso (2013)
	$B = -699,191 + EXP(6,17466 + 0,0226917 * DAP + 0,0195849 * HT)$	0,98	-6259,39	
<i>Araucaria angustifolia</i>	$Ps = -41,713 + 0,565 * DAP^2$	0,94	-4688,23	Fernández <i>et al.</i> (2004)

B= Biomasa, **DAP=** diámetro a la altura del pecho, **ln=** logaritmo natural, **HT=** altura total, **Ps=** peso seco,

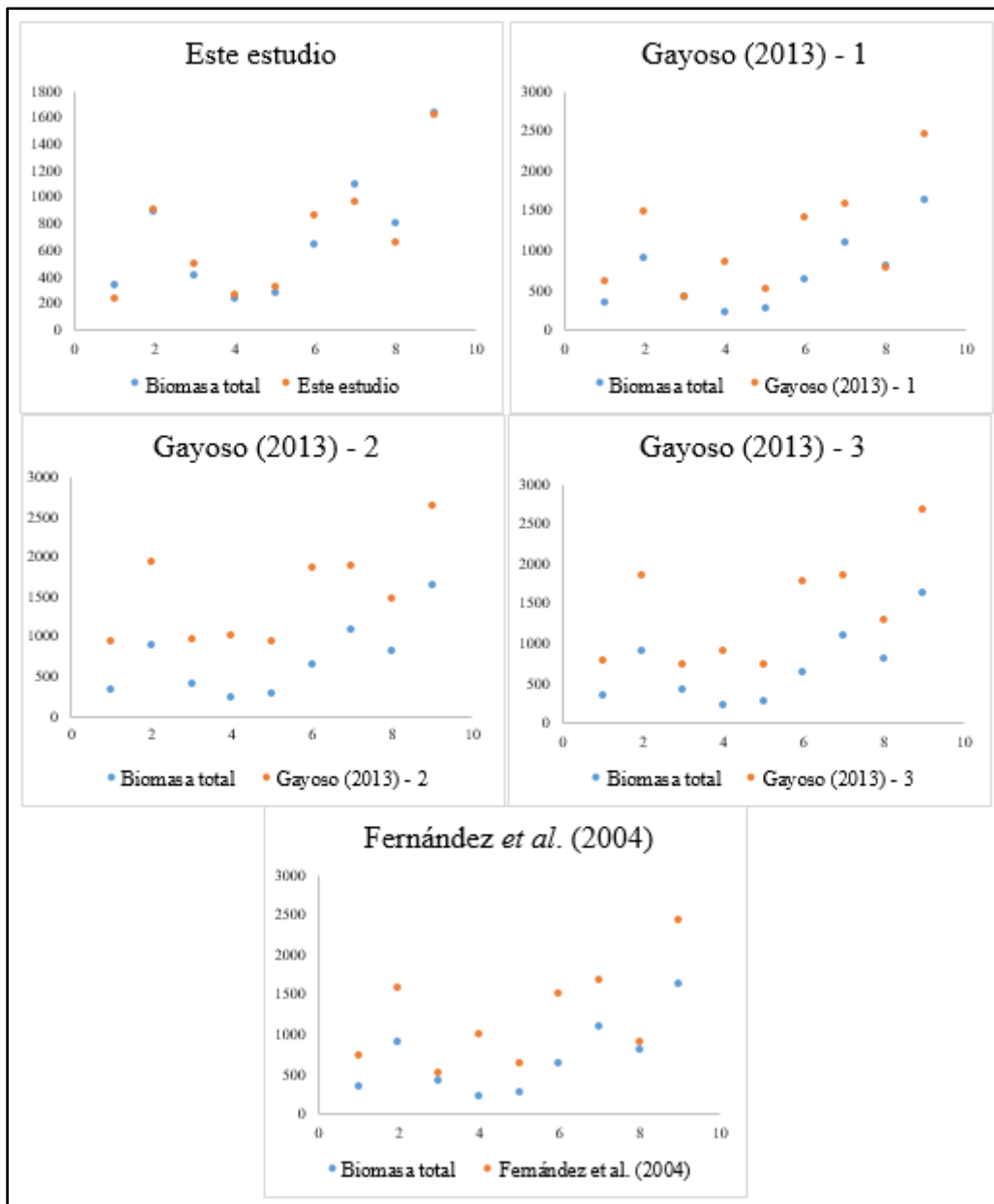


Figura 6. Biomasa observada vs biomasa estimada por árbol – Araucaria.

4.5.2 Modelos alométricos contenido de carbono

En la Tabla 12 se muestra los modelos alométricos construidos 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 R^2 de 0,83 y 0,94 para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia* respectivamente (Tablas A9 y A13 del Anexo A). Así mismo los valores observados vs los estimados mostraron porcentajes de 77,78 y 100 % para *Pinus tecunumanii* y *Araucaria angustifolia* respectivamente.

Tabla 12.

Modelos alométricos para predecir el CC para Pinus tecunumanii y Araucaria angustifolia

Especie	Modelo	R^2	$\Sigma(\text{BT-BTest})$
<i>Pinus tecunumanii</i>	$C = -196,559 - 1,197DAP^2 + 0,472DAP^2(\ln HT)$	0,83	0,01
<i>Araucaria angustifolia</i>	$C = -844,4 + 0,151DAP^2 + 290,825 \ln HT$	0,89	0,25

C= carbono, DAP= diámetro a la altura del pecho, lnHT= logaritmo natural de altura total

Para estimar CC se considera la variable DAP. Los modelos construidos por los autores citados en la Tabla 13 registraron coeficientes R^2 de 0,98 y 0,32; disimiles al obtenido para *Pinus tecunumanii* de 0,83. Al comparar las estimaciones con el modelo construido vs los modelos citados, se demuestra que existe una mejor estimación de los valores con el modelo construido (Figura 7); debido a que se realizan sobre estimaciones y sub estimaciones del CC por individuo.

Al sumar las desviaciones del CC estimado del modelo de *Pinus tecunumanii* con respecto a los valores observados se obtuvo un valor de 0,01 kg; es decir, los errores de estimación se compensan (Tabla A10 del Anexo A). Por el contrario, al aplicar los modelos de los autores, se tiende a sub estimar la cantidad de biomasa; por lo tanto, los valores de las desviaciones son superiores, siendo el modelo de mejor ajuste para *Pinus patula* de Diaz *et al.* (2007).

Al comparar los coeficientes R^2 entre los valores observados vs valores estimados del modelo construido, se tiene un mejor ajuste a la recta de regresión que con los modelos de los otros autores; siendo el más aceptable el modelo de Diaz, 2007 citado por Acosta *et al.* (2009). (Figura B8 del Anexo B).

En la Tabla 13 se muestran los modelos alométricos de CC para pino en donde el modelo de mejor ajuste es para *Pinus patula* de Diaz *et al.* (2007)

Tabla 13.

Modelos alométricos para predecir contenido de carbono – Pinus

Especie	Modelo	R²	Σ(BT-BTest)	Fuente
<i>Pinus patula</i>	$C = 0,021 * DAP^{2,6451}$	0,98	1924,81	Diaz <i>et al.</i> (2007)
	$C = 0,0948 * DAP^{2,4079}$	0,32	-683,07	Diaz, 2007 citado por Acosta <i>et al.</i> , (2009)

C= carbono, DAP= diámetro a la altura del pecho (cm)

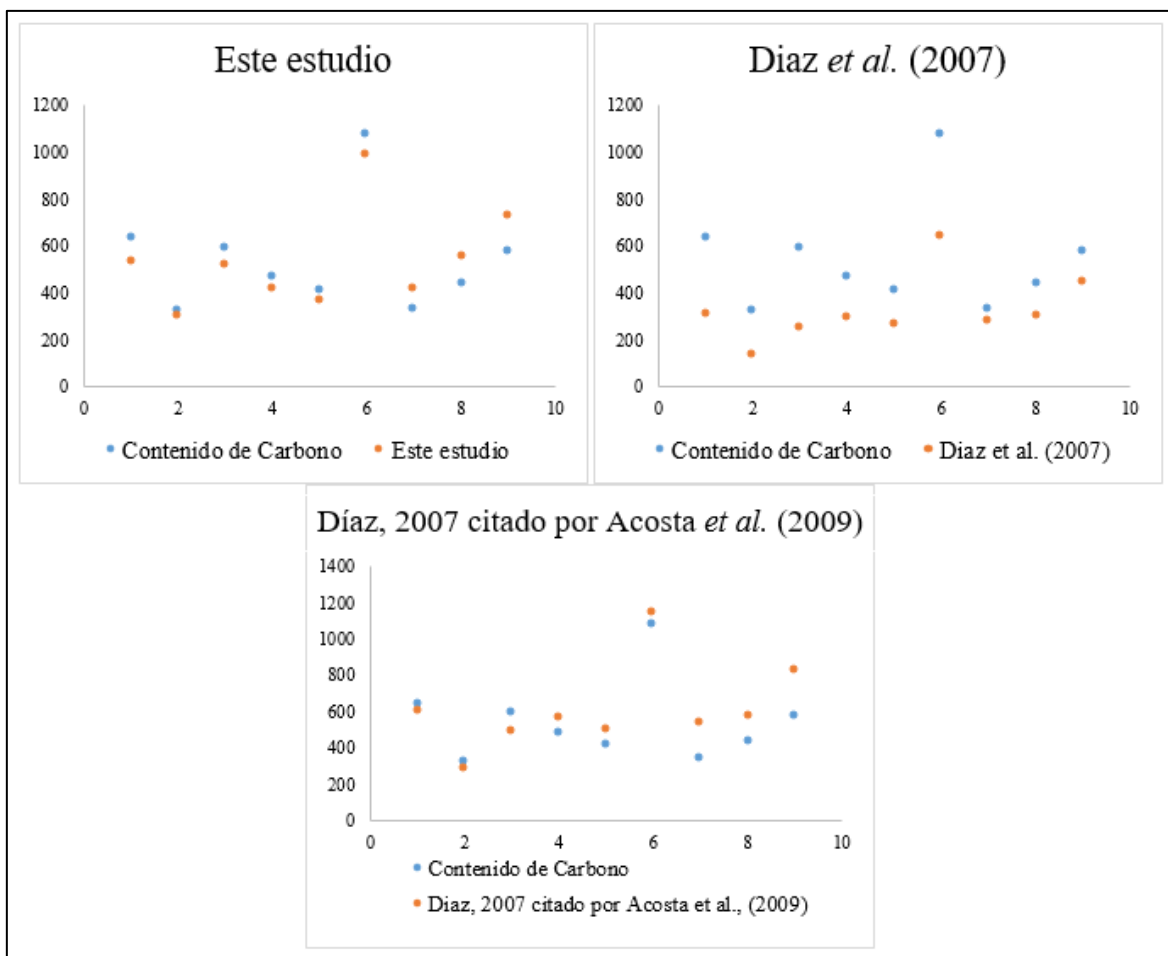


Figura 7. CC observado vs CC estimado por árbol – Pinus

Los modelos construidos por los autores citados en la Tabla 14 registraron coeficientes R^2 sobre el 0,80; similar al calculado para *Araucaria angustifolia* de 0,89. Al comparar las estimaciones con el modelo construido vs los modelos citados, se demuestra que existe una mejor estimación de los valores con el modelo construido (Figura 8); debido a que se realizan sobre estimaciones y sub estimaciones del CC por individuo.

Al sumar las desviaciones del CC estimado del modelo de *Araucaria angustifolia* con respecto a los valores observados se obtuvo un valor de 0,25 kg; es decir, los errores de estimación se compensan (Tabla A14 del Anexo A). Por el contrario, al aplicar los modelos de los autores, se tiende a sub estimar la cantidad de biomasa; por lo tanto, los valores de las desviaciones son superiores, siendo el modelo 3 de Sanquetta *et al.*, (2014) el de mejor ajuste.

Al comparar los coeficientes R^2 entre los valores observados vs valores estimados del modelo construido, se tiene un mejor ajuste que con los modelos de los otros autores; siendo el más aceptable el modelo 3 de Sanquetta *et al.* (2014) (Figura B10 del Anexo B).

En la Tabla 14 se muestran los modelos alométricos de CC para araucaria en donde el modelo de mejor ajuste es el modelo 3 para *Araucaria angustifolia*

Tabla 14.

Modelos alométricos para predecir contenido de carbono - Araucaria

Especie	Modelo	R²	S(BT-BTest)	Fuente
<i>Araucaria angustifolia</i>	$\log Y = -1,2538 + 2,3474 * \log DAP$	0,86	-1217,98	Sanquetta <i>et al.</i> (2014)
	$Y = 7,2153 + 0,0095 * DAP^2 * H$	0,85	-847,10	
	$\log Y = -1,7967 + 0,9506 * \log(DAP^2 * H)$	0,85	-705,46	
	$\log Y = -1,5232 + 2,1400 * \log DAP + 0,4559 * \log H$	0,86	-971,71	

Y= stock de carbono, **DAP**= diámetro a la altura del pecho, **H**= altura total.

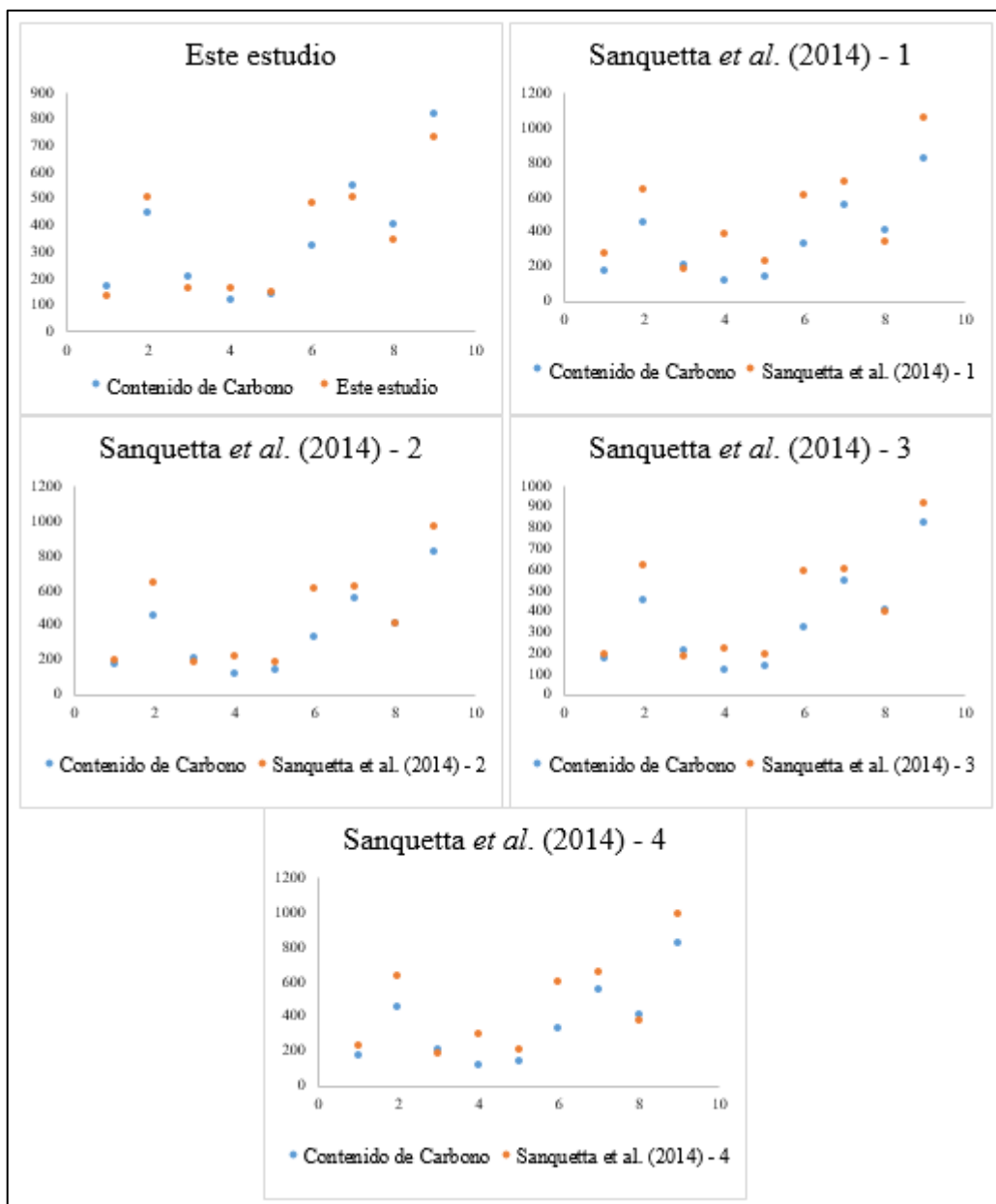


Figura 8. CC observado vs CC estimado por árbol – Araucaria

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se concluye lo siguiente:

- 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*

5.2 Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- 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.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achig, K. (2011). *Cambio climático y vulnerabilidad social: Reflexiones desde la cotidianidad de una comunidad Afro* (tesis de maestría). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Quito, Ecuador.
- Acosta, M., Carrillo, F., & Díaz, M. (2009). Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. *TERRA LATINOAMERICANA*. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n2/v27n2a3.pdf>.
- Aguirre, C., & Vizcaino, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- 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>
- Andrade, H., & Segura, M. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas peennes?. *Agroforestería en las Américas*. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5907/Como_construir_modelos_alometricos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Armas, A. (2015). *Diseño y construcción de una máquina reductora de biomasa forestal para procesar los desechos de diámetros de hasta 40 mm extraídos de la poda de los bosques comerciales* (tesis de ingeniero mecánico). Universidad Politécnica Salesiana Sede, Quito, Ecuador.
- Borrero, J. (2012). *Biomasa aérea y contenido de carbono en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá* (tesis de ecólogo). Universidad Javeriana de Bogotá, Bogotá, Colombia.

- CATIE. (2012, 03 de Noviembre). Nota técnica *Pinus tecunumanii*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0008s/A0008s12.pdf>
- CATIE. (2012, 8 de Abril). Nota técnica *Araucaria angustifolia*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0008s/A0008s76.pdf>
- Centre de Coopération Internationale en Recherche, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles*. Roma, Italia: Centre de Coopération Internationale en Recherche.
- Córdova, V. (2013). *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte al 2012* (tesis de ingeniera química). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., & Etchevers, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/617/61713103.pdf>
- España, R. (2016). *Construcción de modelos alométricos para la determinación de biomasa aérea en Aliso de Nepal (Alnus nepalensis D. Don) en la zona de Intag, andes del norte del Ecuador* (tesis de ingeniero forestal). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Fernández, R., Martiarena, R., Goya, J., Lupi, A., & Frangi, J. (Abril de 2004). Ajuste de ecuaciones para la detrmnación de 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.
- Figuroa, C., Ángeles, G., Velázquez, A., & De los Santos, H. M. (2010). Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. En Zacualtipán, Hidalgo. *Bosques y Madera*. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000100012

- 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.
- Fogel, R. (2012). *Cambio climático, alteraciones ambientales y pobreza en Paraguay*. Buenos Aires, Argentina: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- 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
- Gayoso, J. (2013). *Funciones alométricas para la determinación de existencias de carbono forestal para la especie Araucaria araucana (Molina) K. Koch (ARAUCARIA)*. Santiago de Chile, Chile: Corporación Nacional Forestal.
- 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>
- Ibárcena, M., & Scheelje, J. (2012, 02 de Marzo). Rol de los bosques en el cambio climático. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0814-B2.HTM>
- Idrovo, G. (2008). *La emisión de gases efecto invernadero (gei) durante el desarrollo de operaciones de explotación de hidrocarburos* (tesis de maestría). Instituto de Altos Estudios Nacionales, Quito, Ecuador.
- 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/gpglulucf/gpglulucf_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
- Jaramillo, A. (2014). *Modelos alométricos para estimar biomasa aérea del frailejón (Espeletia hartwegiana cuatrecasas) del páramo de anaime, Cajamarca, Tolima, Colombia* (tesis de bióloga). Universidad de Tolima, Cajamarca, Tolima, Colombia.
- Lerma, M., & Orjuela, E. (2014). *Modelos slométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, departamento del Tolima, Colombia* (tesis de ingeniero forestal). Universidad de Tolima, Ibagué, Colombia.
- Martinez, B. (2014, 3 de junio). Descomposición de la fracción foliar de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. y dinámica de la producción de hojarasca en un bosque manejado, en el estado de Hidalgo. *Scielo Analytics*. Recuperado de <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/2324?locale-attribute=en>
- Meneses, C. (2016). *Propuesta de elaboración del programa de corta para el aprovechamiento del Eucalyotus spp. en la Estación Experimental La Favorita*. (tesis de ingeniero forestal). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2011). *Proyecto Evaluación Nacional Forestal. Manual de Campo*. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente Ecuador.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente Ecuador.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente Ecuador.
- Ochoa, S., March, I., Castillo, M., & Escandón, J. (1999). Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos Landsat TM en Jusnajib. *Redalyc*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56904006>

- Pardo, C. (2013). *Gestión comunitaria del agua en un contexto de cambio climático como consecuencia de la crisis global ambiental: un estudio de caso en la comunidad de Chimborazo, parroquia de San Juan, Ecuador* (tesis de maestría). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Quito, 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>
- Regina, S. (2000). *Biomass estimation and nutrient pools in four Quercus pyrenaica in Sierra de Gata, Salamanca*. Salamanca, Spain: Forest Ecology Management.
- 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>
- Rosero, B., & Cuamacas, D. (2005). *Propuesta del plan de manejo de los recursos naturales de la estación experimental la Favorita* (tesis de ingeniero en recursos naturales). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Sanquetta, C, Dalla, A., Mognon, F., Benedet, G., & Lourenço, A. (2014). Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253030054001>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR 2013-2017* (Primera ed). Quito, Ecuador: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- 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.

CAPITULO VII

ANEXOS

6.1 Anexo A - Tablas

Tabla A1.

Biomasa total seca por parcela Araucaria angustifolia

Biomasa total	Parcela	tot/parc.kg	tot/parc.ton	tot/parc.ton/m2	ton/ha
Aérea	P 1	41247,92	41,25	0,0458	152,77
	P 2	35539,71	35,54	0,0395	131,63
	P 3	42636,14	42,64	0,0474	157,91
	Subtotal	119423,77	119,42	0,1327	442,31
Superficial	P 1	3081,12	3,12	0,0034	11,56
	P 2	3081,12	3,09	0,0034	11,44
	P 3	3081,12	3,08	0,0034	11,41
	Subtotal	9243,37	9,29	0,0103	34,41
Radicular	P 1	17450,12	17,45	0,0194	64,63
	P 2	13492,19	13,49	0,0150	49,97
	P 3	10195,33	10,20	0,0113	37,76
	Subtotal	41137,64	41,14	0,0457	152,36

Tabla A2.

Biomasa total seca por componente, contenido de carbono Araucaria angustifolia

Componente	Biomasa ton/parcela	Biomasa ton/ha	Carbono ton/ha
Aérea	119,42	442,31	221,16
Superficial	9,29	34,41	17,21
Radicular	41,14	152,36	76,18
Total	169,85	629,08	314,54

Tabla A3.

Biomasa total seca por parcela Pinus tecunumanii

Biomasa total	Parcela	tot/parc.kg	tot/parc.ton	tot/parc.ton/m2	ton/ha
Aérea	P 1	8378,12	8,38	0,0093	31,03
	P 2	10058,90	10,06	0,0112	37,26
	P 3	7416,80	7,42	0,0082	27,47
	Subtotal	25853,82	25,85	0,0287	95,75
Superficial	P 1	3095,48	3,10	0,0034	11,46
	P 2	3095,48	3,09	0,0034	11,44
	P 3	3095,48	3,09	0,0034	11,46
	Subtotal	9286,45	9,28	0,0103	34,37
Radicular	P 1	3979,54	3,98	0,0044	14,74
	P 2	5573,87	5,57	0,0062	20,64
	P 3	4486,63	4,49	0,0050	16,62
	Subtotal	14040,04	14,04	0,0156	52,00

Tabla A4.

Biomasa total seca por componente, contenido de carbono Pinus tecunumanii

Componente	Biomasa ton/parcela	Biomasa ton/ha	Carbono ton/ha
Aérea	25,85	95,75	47,88
Superficial	9,28	34,37	17,19
Radicular	14,04	52,00	26,00
Total	49,17	182,13	91,06

Tabla A5.

Prueba de t de Student para biomasa

Especie	Estimador	Aérea	Superficial	Radicular	Total
<i>Araucaria angustifolia</i>	Media	147,44	11,47	50,79	209,69
	Suma	442,31	34,41	152,36	629,08
	Suma de Cuadrados	65600,86	394,73	8100,01	132570,39
<i>Pinus tecunumanii</i>	Media	31,92	11,46	17,33	60,71
	Suma	95,75	34,37	52,00	182,13
	Suma de Cuadrados	3105,39	393,80	919,54	11169,96
Pruebe de t de Student	Varianza combinada	109,38	0,02	95,09	192,34
	Error estándar de la media combinado	4,27	0,06	3,98	5,66
	t de Student calculada	27,06	0,17	8,40	26,31
	Significancia	**	ns	**	**

ns: no significativo, **: altamente significativo

Tabla A6.*Prueba de t de Student para carbono*

Especie	Estimador	Aérea	Superficial	Radicular	Total
<i>Araucaria angustifolia</i>	Media	73,72	5,74	25,39	104,85
	Suma	221,16	17,21	76,18	314,54
	Suma de Cuadrados	16400,21	98,68	2025,00	33142,60
<i>Pinus tecunumanii</i>	Media	15,96	5,73	8,67	30,35
	Suma	47,88	17,19	26,00	91,06
	Suma de Cuadrados	776,35	98,45	229,89	2792,49
	Varianza combinada	27,12	0,23	23,77	48,16
Pruebe de t de Student	Error estándar de la media combinado t de Student	2,13	0,19	1,99	2,83
	calculada	27,17	0,05	8,40	26,30
	Significancia	**	ns	**	**

ns: no significativo, **: altamente significativo

Tabla A7.*ADEVA y coeficientes de la regresión biomasa - Pino*

FV	SC	gl	CM	Fc	F$\alpha_{0,05}$	F$\alpha_{0,01}$
Regresión	1406064,60	2	703032,30	14,47 **	5,14	10,92
Residual	291495,30	6	48582,55			
Total	1697559,90	8				
r	R2	Ra2	Error típ. de la estimación			
0,910	0,828	0,771	220,414			

Tabla A8.*Biomasa total, estimada y sus diferencias - Pino*

N	Biomasa total	Biomasa estimado		Rodríguez et al. (2009)		Díaz et al. (2007)		Figueroa et al. (2010)		González (2008)	
		BTest	BT - BTest	BTest	BT - BTest	BTest	BT - BTest	BTest	BT - BTest	BTest	BT - BTest
1	1275,61	1083,11	192,50	756,09	519,52	632,53	643,09	566,83	708,79	953,55	322,06
2	645,06	613,88	31,18	328,08	316,99	280,74	364,32	253,90	391,16	477,33	167,73
3	1185,62	1036,55	149,07	608,25	577,37	511,86	673,77	507,95	677,67	798,96	386,67
4	943,21	850,30	92,91	704,53	238,69	590,52	352,70	462,65	480,56	900,54	42,68
5	828,30	744,36	83,95	623,68	204,63	524,48	303,82	400,82	427,49	815,48	12,83
6	2158,37	1984,86	173,51	1599,06	559,32	1310,84	847,53	1154,06	1004,31	1729,55	428,82
7	672,93	834,67	-161,74	671,43	1,50	563,51	109,42	447,02	225,91	866,02	-193,08
8	870,02	1121,05	-251,03	721,46	148,56	604,32	265,70	573,96	296,06	918,04	-48,03
9	1145,01	1455,33	-310,31	1093,99	51,02	906,09	238,92	808,56	336,46	1282,04	-137,03
Σ			0,04		2617,59		3799,27		4548,40		982,63
\bar{x}	1080,46	1080,46		789,62		658,32		575,08		971,28	

Tabla A9.*ADEVA y coeficientes de la regresión carbono - Pino*

FV	SC	gl	CM	Fc	F$\alpha_{0,05}$	F$\alpha_{0,01}$
Regresión	351520,18	2	175760,09	14,47 **	5,14	10,92
Residual	72873,76	6	12145,63			
Total	424393,94	8				
r	R2	Ra2	Error típ. de la estimación			
0,910	0,828	0,771	110,207			

Tabla A10.*Contenido de carbono total, estimado y sus diferencias - Pino*

N	Carbono	Carbono estimado		Diaz et al. (2007)		Diaz, 2007 citado por Acosta et al. (2009)	
		Cest	C - Cest	Cest	C - Cest	Cest	C - Cest
1	637,81	541,56	96,25	314,22	323,59	599,00	38,80
2	322,53	306,94	15,59	141,43	181,10	289,63	32,91
3	592,81	518,28	74,54	255,21	337,60	495,66	97,15
4	471,61	425,15	46,45	293,70	177,91	563,28	-91,68
5	414,15	372,18	41,97	261,39	152,76	506,58	-92,43
6	1079,19	992,43	86,75	643,04	436,14	1149,59	-70,41
7	336,47	417,34	-80,87	280,49	55,97	540,18	-203,71
8	435,01	560,53	-125,52	300,44	134,56	575,05	-140,04
9	572,51	727,67	-155,16	447,33	125,17	826,17	-253,66
Σ			-0,01		1924,81		-683,07
\bar{x}	540,23	540,23		326,36		616,13	

Tabla A11.*ADEVA y coeficientes de la regresión biomasa - Araucaria*

FV	SC	gl	CM	Fc	F$\alpha_{0,05}$	F$\alpha_{0,01}$
Regresión	1589728,72	3	529909,57	25,36 **	5,41	12,06
Residual	104458,15	5	20891,63			
Total	1694186,87	8				
r	R2	Ra2	Error típ. de la estimación			
0,969	0,938	0,901	144,539			

Tabla A12.*Biomasa total, estimada y sus diferencias - Araucaria*

N	Biomasa total	Biomasa estimado		Gayoso (2013) - 1		Gayoso (2013) - 2		Gayoso (2013) - 3		Fernández et al. (2004)	
		BTest	BT - BTest	BTest	BT - BTest	BTest	BT - BTest	BTest	BT - BTest	BTest	BT - BTest
1	344,73	237,09	107,64	615,38	-270,65	942,06	-597,33	772,16	-427,43	741,93	-397,20
2	898,76	913,19	-14,43	1486,68	-587,92	1923,64	-1024,89	1855,78	-957,02	1593,30	-694,54
3	412,33	494,19	-81,85	412,21	0,13	953,93	-541,60	725,70	-313,36	519,36	-107,02
4	236,76	268,63	-31,87	867,39	-630,63	1024,06	-787,30	912,08	-675,32	1001,60	-764,83
5	279,29	324,25	-44,97	519,23	-239,94	940,61	-661,32	745,03	-465,74	638,43	-359,14
6	647,37	863,40	-216,03	1403,67	-756,30	1861,64	-1214,27	1783,02	-1135,65	1516,81	-869,45
7	1092,48	968,67	123,81	1594,37	-501,90	1879,85	-787,37	1847,99	-755,51	1691,47	-599,00
8	807,50	663,48	144,01	777,78	29,72	1477,78	-670,29	1291,12	-483,62	910,92	-103,42
9	1641,37	1627,67	13,70	2446,38	-805,01	2647,71	-1006,34	2687,10	-1045,74	2434,99	-793,62
Σ			0,00		-3762,50		-7290,70		-6259,39		-4688,23
\bar{x}	706,73	706,73		1124,79		1516,81		1402,22		1227,65	

Tabla A13.

ADEVA y coeficientes de la regresión carbono -Araucaria

FV	SC	gl	CM	Fc	F$\alpha_{0,05}$	F$\alpha_{0,01}$
Regresión	375994,31	2	187997,15	23,72 **	5,41	12,06
Residual	47550,38	6	7925,06			
Total	423544,69	8				
r	R2	Ra2	Error típ. de la estimación			
0,942	0,888	0,850	89,023			

Tabla A14.

Contenido de carbono total, estimado y sus diferencias - Araucaria

N	Carbono^o	Carbono estimado		Sanquetta et al. (2014) - 1		Sanquetta et al. (2014) - 2		Sanquetta et al. (2014) - 3		Sanquetta et al. (2014) - 4	
		Cest	C - Cest	Cest	C - Cest	Cest	C - Cest	Cest	C - Cest	Cest	C - Cest
1	172,37	134,08	38,28	271,67	-99,31	191,68	-19,32	190,40	-18,03	229,79	-57,43
2	449,38	506,58	-57,20	644,06	-194,69	639,52	-190,14	614,09	-164,71	632,97	-183,60
3	206,17	163,26	42,91	183,54	22,62	186,46	19,71	185,27	20,90	184,73	21,44
4	118,38	158,83	-40,45	380,13	-261,75	217,72	-99,34	215,86	-97,48	290,94	-172,56
5	139,64	145,18	-5,54	230,06	-90,42	190,19	-50,55	188,93	-49,29	209,87	-70,23
6	323,68	486,09	-162,40	608,85	-285,17	609,94	-286,25	586,75	-263,07	601,35	-277,66
7	546,24	506,43	39,81	689,69	-143,45	619,20	-72,96	595,32	-49,08	646,36	-100,12
8	403,75	347,99	55,76	341,65	62,09	407,66	-3,91	397,79	5,96	368,88	34,87
9	820,68	732,11	88,57	1048,60	-227,92	965,02	-144,34	911,33	-90,65	987,11	-166,42
Σ			-0,25		-1217,98		-847,10		-705,46		-971,71
\bar{x}	353,37	353,39		488,70		447,49		431,75		461,33	

Tabla A16.*Resultado total inventario Pinus tecunumanii*

N°	DAP (cm)	HT (m)	AB (m ²)	V (m ³)
1	39,79	22	0,124	1,143
2	37,88	21	0,113	0,989
3	46,79	21	0,172	1,509
4	41,7	20	0,137	1,142
5	41,7	21	0,137	1,199
6	57,3	24	0,258	2,587
7	28,01	17	0,062	0,438
8	39,15	20	0,12	1,006
9	28,81	14	0,065	0,381
10	35,01	22	0,096	0,885
11	42,97	28	0,145	1,697
12	36,92	18	0,107	0,806
13	40,11	19	0,126	1,003
14	50,29	26	0,199	2,159
15	28,65	16	0,064	0,431
16	35,33	17	0,098	0,697
17	41,7	16	0,137	0,913
18	52,2	23	0,214	2,058
19	41,38	20	0,134	1,124
20	49,66	25	0,194	2,024

N°	DAP (cm)	HT (m)	AB (m ²)	V (m ³)
21	45,04	23	0,159	1,532
22	32,94	20	0,085	0,713
23	36,29	18	0,103	0,778
24	39,95	22	0,125	1,153
25	41,7	24	0,137	1,37
26	37,24	22	0,109	1,002
27	45,84	20	0,165	1,379
28	43,29	23	0,147	1,415

\bar{x}	40,63	21	0,133	1,198
S ²	46,62	10	0,002	0,28
S	6,953	3,2	0,046	0,539
S \bar{x}	1,29	0,6	0,008	0,1
CV	17,11	15	34,28	44,98

Tabla A17.*Matriz de toma de datos dasométricos en el campo*

Especie:		
Numero de parcela:		
N Arbol	DAP (cm)	Altura total (HT)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		

Tabla A18.*Matriz de toma de datos en laboratorio*

Especie:						
Numero de árbol						
Componente\	Peso Verde (gr)	Pesaje 1 (gr)	Pesaje 2 (gr)	Pesaje 3 (gr)	Pesaje 4 (gr)	Pesaje 5 (gr)
Raíz						
Ramas						
Madera						
Corteza						
Hojas						

6.2 Anexo B - Figuras

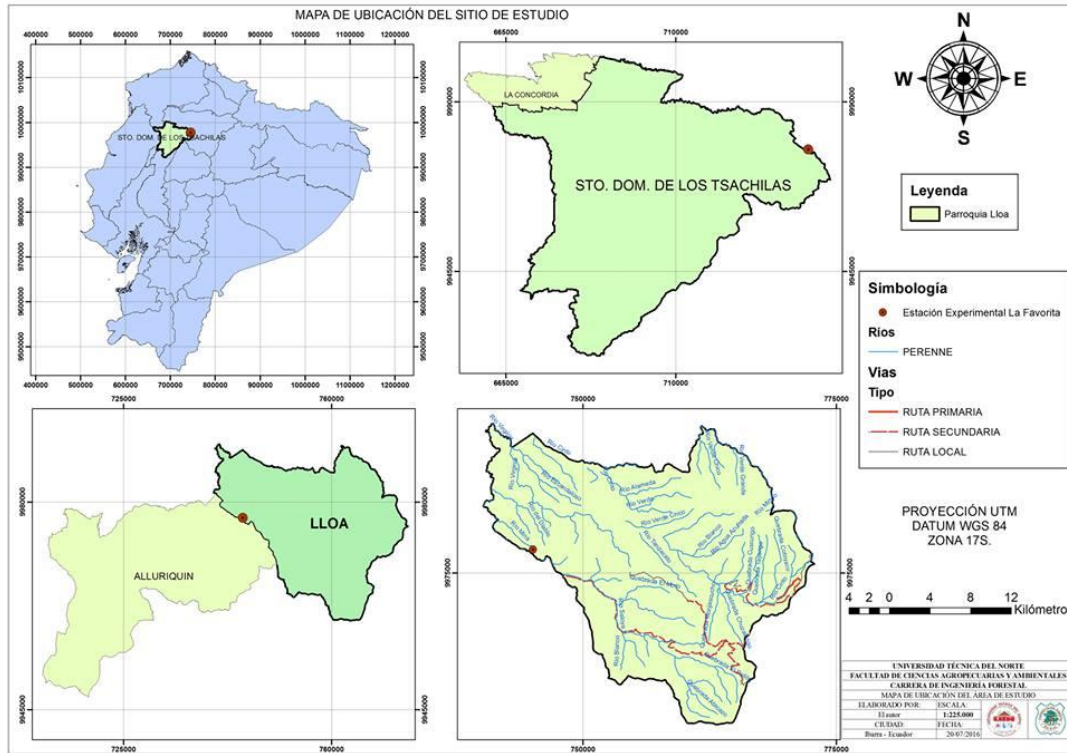


Figura B1. Mapa base del sitio

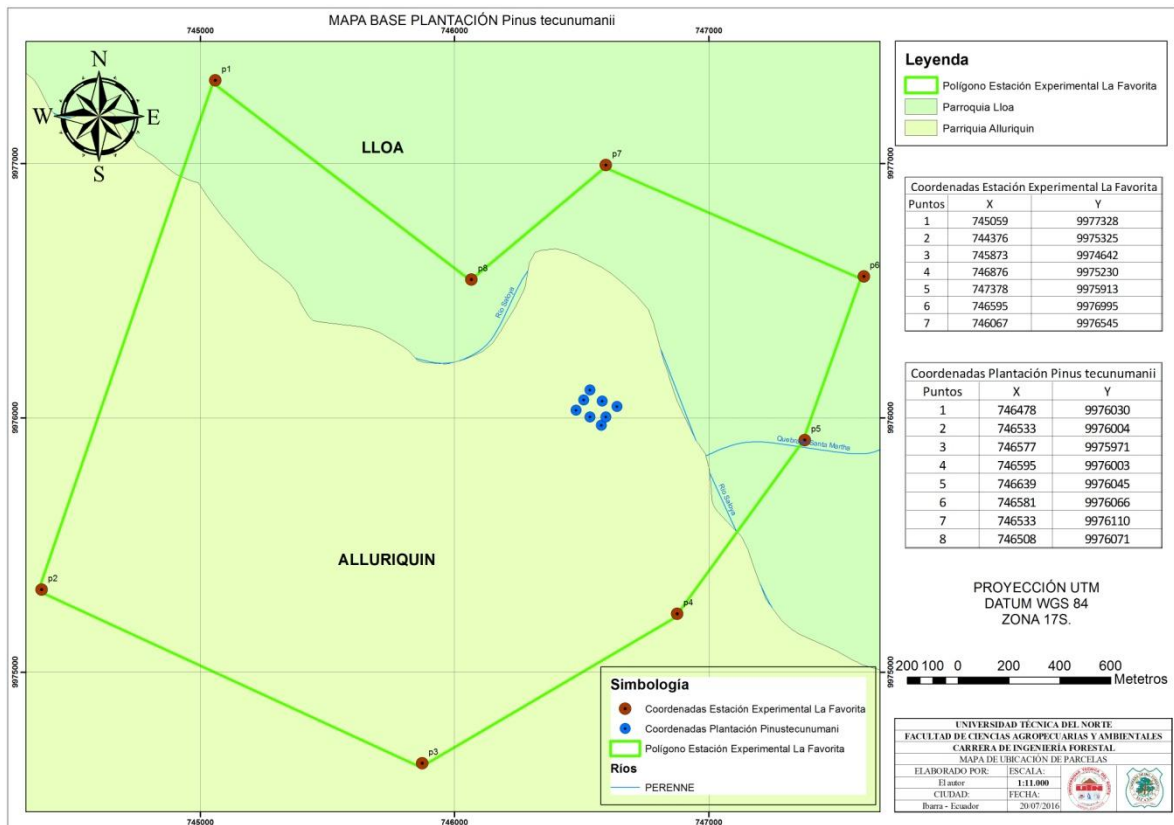


Figura B2. Mapa base – plantación *Pinus tecunumanii*

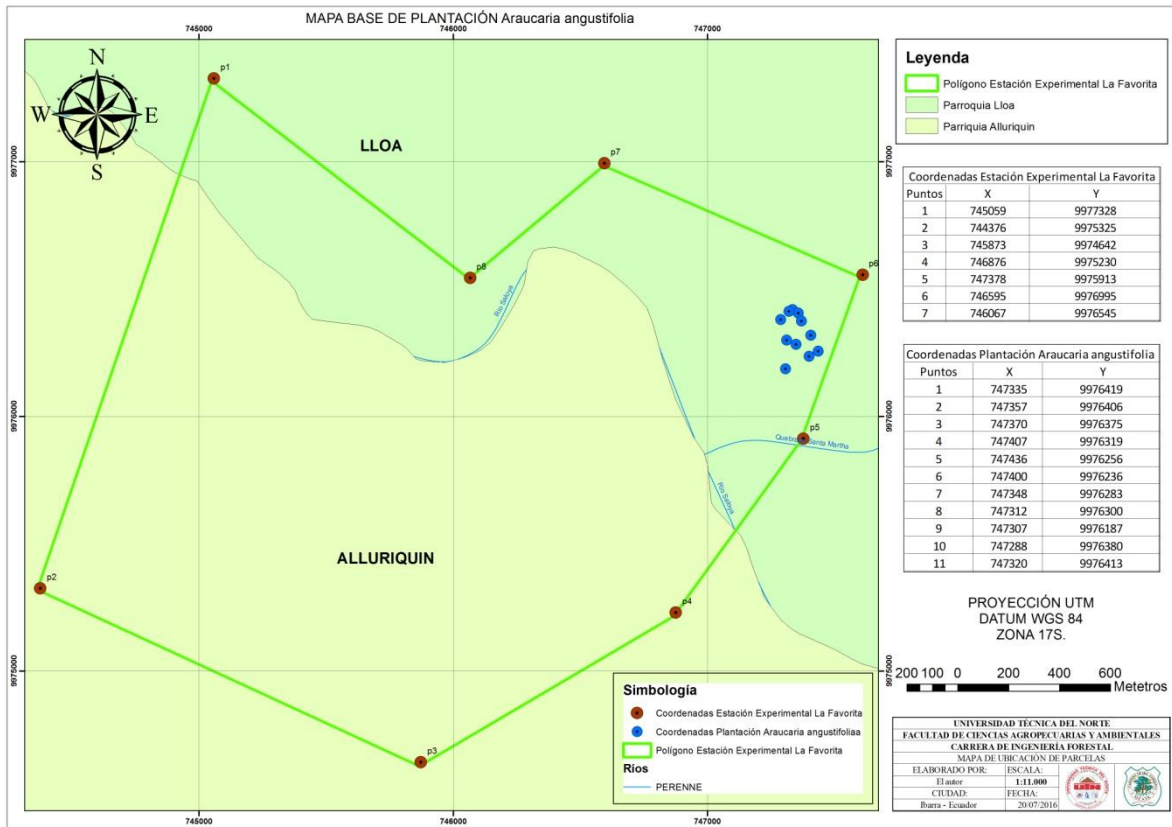


Figura B3. Mapa base – plantación *Araucaria angustifolia*



LABONORT

LABORATORIOS NORTE

Av. Cristobal de Troya y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador cel. 0999591050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO Nombre: ANDRES MONTOYA Ciudad: Teléfono: 0982232024 Fax:		DATOS DE LA PROPIEDAD Provincia: Sant. Domingo de los Tsáchilas Cantón: Ayuriquin Parroquia: San Juan de Chiriboga Sitio: Estac. La Favotia UTN	
DATOS DEL LOTE Sitio: Estac. La Favotia UTN Superficie: Número de Campo: C1P1 M2 - PINO Cultivo Actual: A Cultivar:		DATOS DE LABORATORIO Nro Reporte.: 6743 Tipo de Análisis: Completo Muestra: SUELO C1P1 M2 Fecha de Ingreso: 2016-02-20 Fecha de Reporte: 2016-02-24	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION
N	18.14	ppm	
P	4.24	ppm	
S	7.97	ppm	
K	0.20	meq/100 ml	
Ca	6.54	meq/100 ml	
Mg	0.82	meq/100 ml	
Zn	4.58	ppm	
Cu	11.87	ppm	
Fe	312.9	ppm	
Mn	18.18	ppm	
B	0.36	ppm	
pH	7.09		
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	
Al		meq/100 ml	
Na		meq/100 ml	
Ce	0.166	mS/cm	
MO	11.48	%	

Ca	Mg	Ca+Mg (meq/100ml)	%	ppm	(%)	Clase Textural		
Mg	K	K	Sum Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla
7.98	4.10	36.80	7.56					

Dr. Quim. Edison M. Miño M.
Responsable Laboratorio:



Figura B4. Reporte de análisis de laboratorio *Pinus tecunumanii*.

Fuente: LABONORT



LABONORT

LABORATORIOS NORTE

Av. Cristobal de Troya y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador cel. 0999591050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre: ANDRES MONTOYA		Provincia: Sant. Domingo de los Tsáchilas	
Ciudad:		Cantón: Ayuriquin	
Teléfono: 0982232024		Parroquia: San Juan de Chiriboga	
Fax:		Sitio: Estac. La Favotia UTN	
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO	
Sitio: Estac. La Favotia UTN		Nro Reporte.: 6744	
Superficie:		Tipo de Análisis: Completo	
Número de Campo: C1P1 M1 - ARAUCARIA		Muestra: SUELO C1P1 M1	
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2016-02-20	
A Cultivar:		Fecha de Reporte: 2016-02-24	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION
N	23.80	ppm	
P	3.90	ppm	
S	10.33	ppm	
K	0.31	meq/100 ml	
Ca	4.46	meq/100 ml	
Mg	0.75	meq/100 ml	
Zn	3.31	ppm	
Cu	11.82	ppm	
Fe	352.4	ppm	
Mn	17.38	ppm	
B	0.32	ppm	
pH	6.55		
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	
Al		meq/100 ml	
Na		meq/100 ml	
Ce	0.230	mS/cm	
MO	10.54	%	

Ca	Mg	Ca+Mg (meq/100ml)	%	ppm	Clase Textural			
Mg	K	K	Sum Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla
5.95	2.42	16.81	5.52					

Dr. Quim. Edison M. Miño M.
Responsable Laboratorio



Figura B5. Reporte de análisis de laboratorio *Araucaria angustifolia*.

Fuente: LABONORT

LABONORT

LABORATORIOS NORTE

Av. Cristóbal de Troya 493 y Jaime Roridos Ibarra-Ecuador. Telf. 0998157818 / 0999591050

REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO

NOMBRE: ANDRES MONTOYA

MUESTRA: SUELOS

FECHA: 25/02/2016

ANÁLISIS: ELEMENTAL

RESULTADOS

#	#	% MO	CARBONO
MUESTRA	CAMPO		
6743	C1P1M2 Pino	11,48%	6,07%
6744	C1P1M1 Araucaria	10,54%	5,57%
6745	C1P1M1 Pino	9,52%	5,03%
6746	C1P1M2 Araucaria	13,58%	7,17%



Dr. Quím. Edison M. Miño M.
RESPONSABLE DE LABONORT

Figura B6. Reporte de análisis de laboratorio (contenido de carbono) *Pinus tecunumanii* & *Araucaria angustifolia*.

Fuente: LABONORT

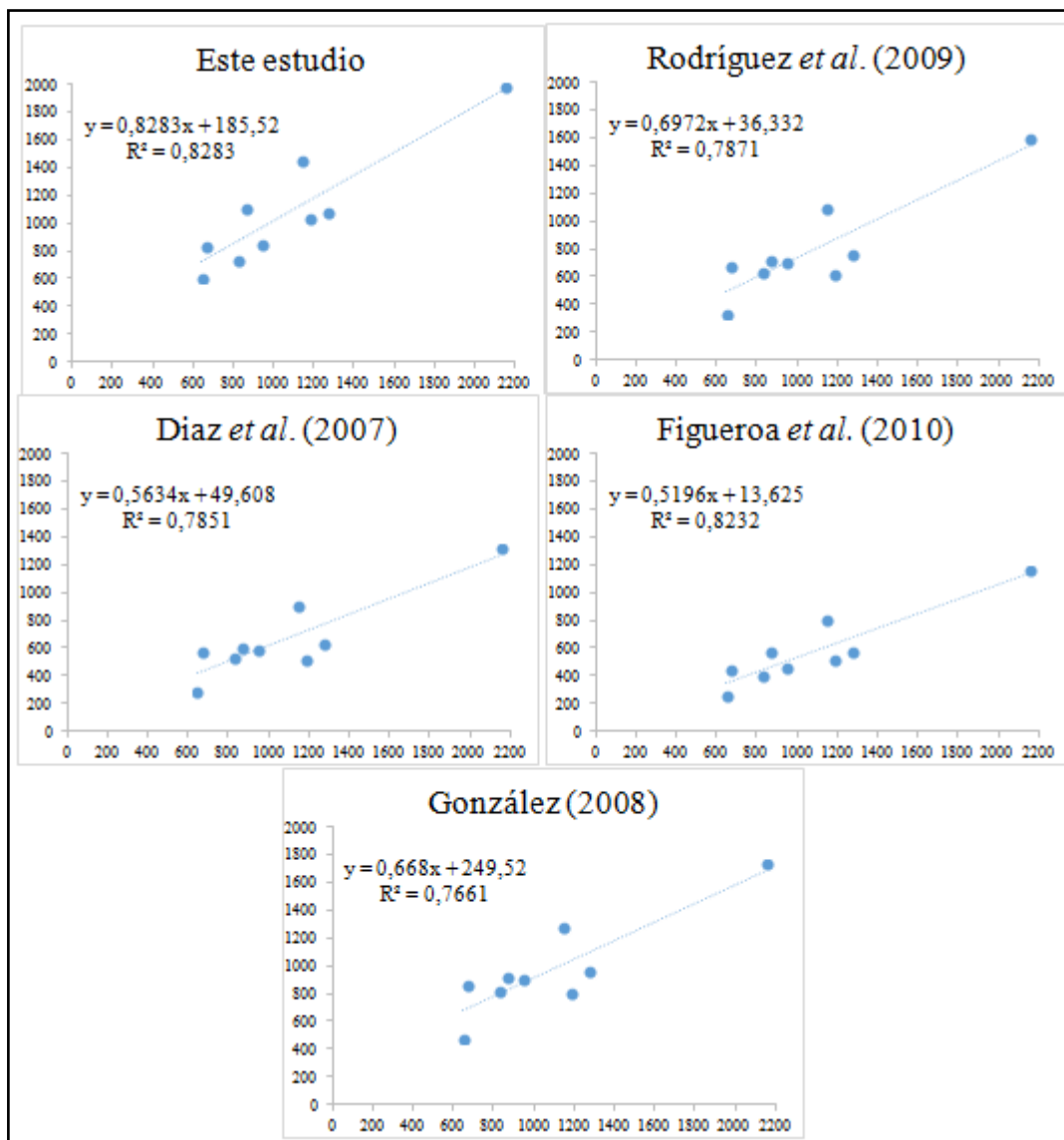


Figura B7. Regresión entre biomasa observada vs. biomasa estimada – Pinus

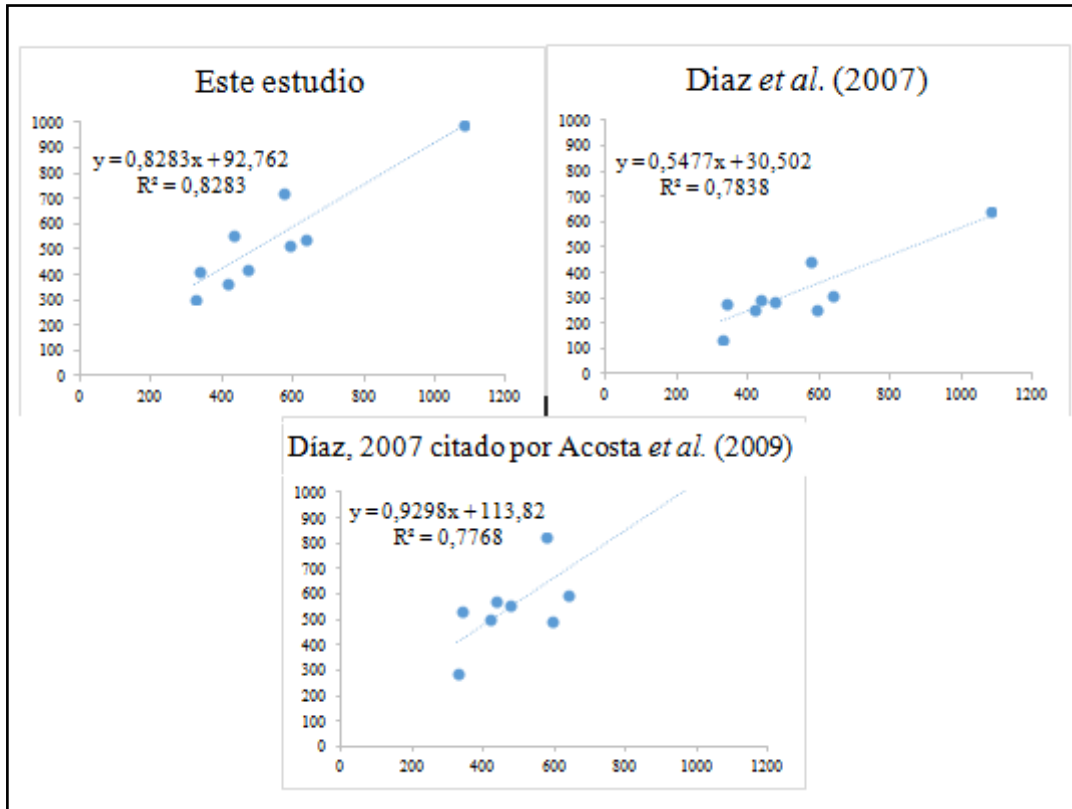


Figura B8. Regresión entre CC observado vs. CC estimado – Pinus

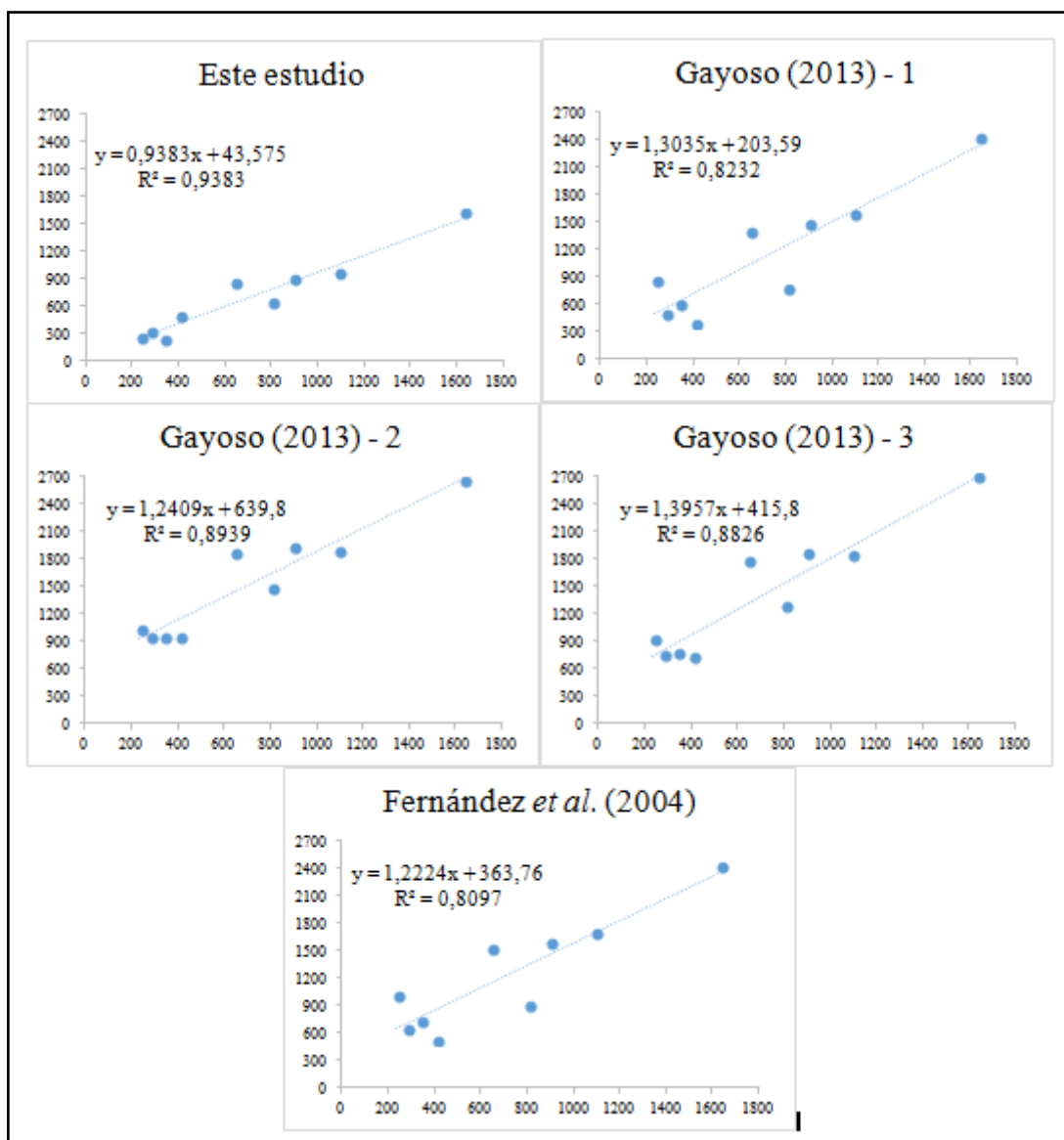


Figura B9. Regresión entre biomasa observada vs. biomasa estimada – Araucaria

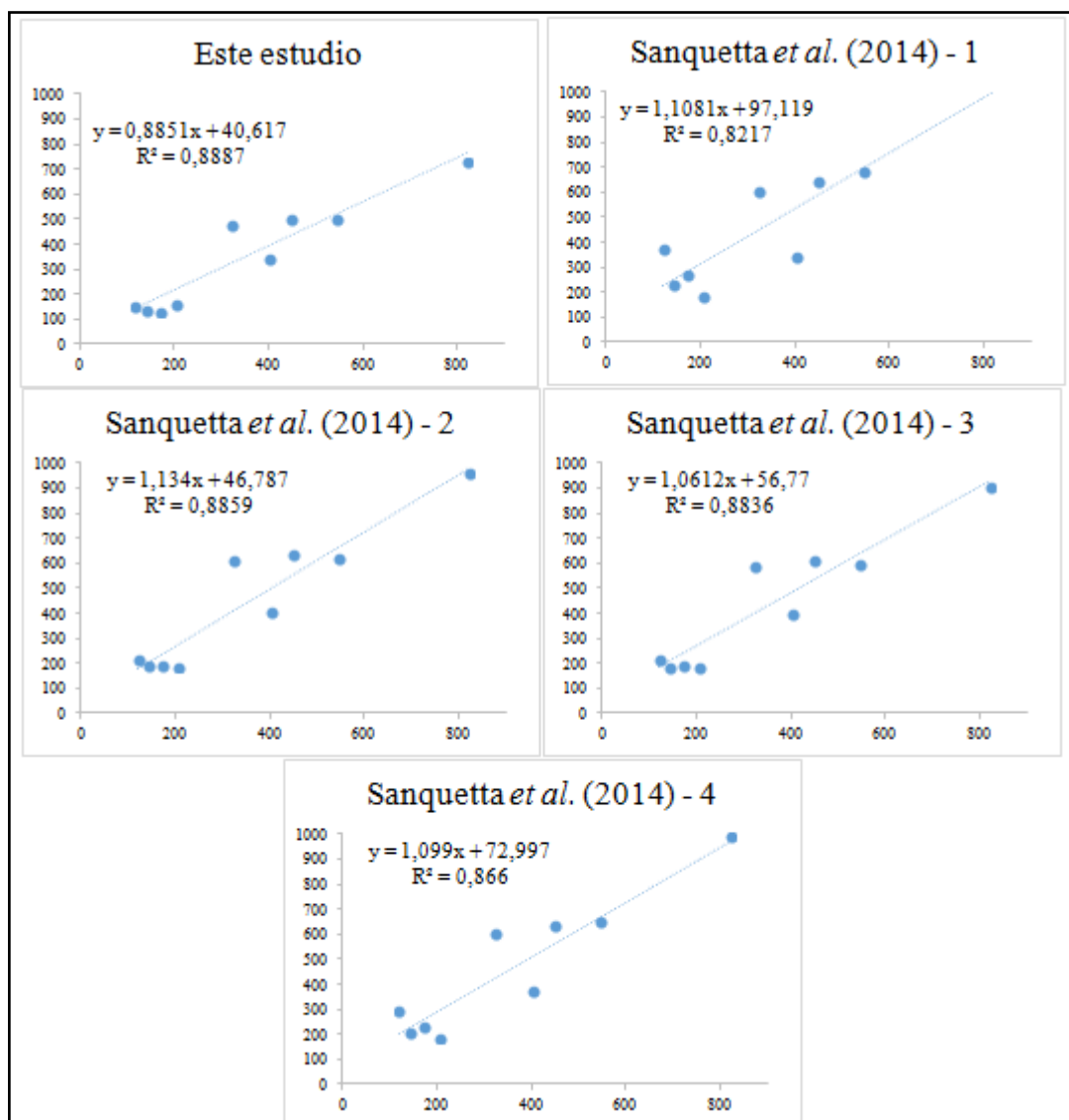


Figura B10. Regresión entre CC observado vs. CC estimado – Araucaria

6.3 Anexo C – Ilustraciones



Ilustración C1. Plantación de *Pinus tecunumanii*



Ilustración C2. Plantación de *Araucaria angustifolia*



Ilustración C3. Medición del perímetro del área



Ilustración C4. Determinación de rumbos en el establecimiento de las parcelas



Ilustración C5. Establecimiento e identificación de las parcelas



Ilustración C6. Identificación de las parcelas



Ilustración C7. Recolección de la muestra de hojarasca



Ilustración C8. Recolección de muestra hojarasca



Ilustración C9. Medición de árboles



Ilustración C10. Marcación de árboles



Ilustración C11. Construcción de calicata



Ilustración C12. Recolección de muestra de suelo



Ilustración C13. Extracción de material vegetal (raíces)



Ilustración C14. Extracción de material vegetal (madera)



Ilustración C15. Extracción de material vegetal (hojas)



Ilustración C16. Pesaje de material vegetal



Ilustración C17. Etiquetado de material vegetal



Ilustración C18. Secado de material vegetal



Ilustración C19. Pesaje de ramas



Ilustración C20. Pesaje de corteza

LISTA DE ABREVIATURAS

BT = Biomasa Total

Cxy = Covarianza

CATIE = Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CC = Contenido de Carbono

CFC = Clorofluorocarbono

CH₄ = Metano

CMNUCC = Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático

CO₂ = Dióxido de carbono

CO = Monóxido de carbono

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho

Db = Diámetro basal

EELF = Estación Experimental La Favorita

FAO = Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación

GEI = Gases de Efecto Invernadero

HFC = Hidrofluorocarbono

HT = Altura total

IPCC = Panel Intergubernamental para el Cambio Climático

MAE = Ministerio del Ambiente de Ecuador

N₂O = Óxido Nitroso

O₃ = Ozono

PNBV = Plan Nacional del Buen Vivir

PFC = Perfluorocarbono

Psh= Peso seco hojas

Psr = Peso seco ramas

Psf= Peso seco fuste

Psrz = Peso seco raiz

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Biomasa del fuste: Término utilizado para referirse a la biomasa capturada en el fuste de un árbol.

Biomasa de hojas: Término utilizado para referirse a la biomasa capturada en las hojas de un árbol.

Biomasa de ramas: Término utilizado para referirse a la biomasa capturada en las ramas de un árbol.

Biomasa total: se refiere a la biomasa aérea capturada en todo el árbol, resultado de la suma de componentes de cada árbol.

Covarianza: La covarianza es un valor que indica el grado de variación conjunta de dos variables aleatorias.

Clorofluorocarbono: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmósfera, es utilizado en aerosoles en sistemas de refrigeración.

Metano: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmósfera, es producido por la descomposición de la materia orgánica.

Dióxido de Carbono: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmósfera, es producido principalmente por la quema de combustible fósil.

Diámetro a la Altura del Pecho: Medida utilizada para determinar el diámetro de un árbol a los 130 cm de la base del fuste, muy común en inventarios forestales y sirve para tener información con respecto al crecimiento del árbol.

Diámetro basal: Medida utilizada para determinar el diámetro de un árbol a los 30 cm de la base del fuste, muy común en inventarios forestales y sirve para tener información con respecto al área basal del árbol.

Gases de Efecto Invernadero: Gases que por sus altas concentraciones en la atmósfera contribuyen al efecto invernadero en el planeta.

Hidrofluorocarbono: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmósfera, utilizado como refrigerante.

Altura total: Se refiere a la medida que tiene el fuste de un árbol desde la base hasta la punta.

Materia seca: La materia seca o extracto seco es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio.

Óxido Nitroso: Gas de efecto invernadero con altas concentraciones en la atmósfera.

Ozono: Gas de efecto invernadero muy oxidante de color azulado, que se forma en la ozonósfera y que protege la Tierra de la acción de los rayos ultravioleta del Sol; es un estado alotrópico del oxígeno producido por la electricidad.

Varianza: Se refiere al cuadrado de la desviación de las variables considerada frente a su media.

Contenido de carbono: Se refiere al porcentaje de carbono capturado en las especies vegetales.

Parcelas anidadas: Parcelas de menor tamaño incluidas en una parcela de mayor, tamaño para mejorar la toma de datos.