



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 Ingeniera Forestal**

**DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN *Pinus
patula* Schl. et Cham EN LOS CORRALES, CANTÓN URCUQUÍ,
PROVINCIA DE IMBABURA**

AUTORA

Mirian Elizabeth Medina Salazar

DIRECTORA

Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

IBARRA - ECUADOR

2019

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN *Pinus patula* Schl. et Cham EN LOS CORRALES, CANTÓN URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA

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

INGENIERA FORESTAL

APROBADO

Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.
Directora de trabajo de titulación

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

Ing. José Gabriel Carvajal Benavides, Mgs.
Tribunal de trabajo de titulación

Ing. Jorge Luis Ramírez López, MSc.
Tribunal de trabajo de titulación

Ibarra - Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100385157-1		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Mirian Elizabeth Medina Salazar		
DIRECCIÓN:	Otavalo – Calpaquí Espejo		
EMAIL:	miry_ely91@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2 635 386	TELÉFONO MÓVIL:	0978705319

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham EN LOS CORRALES, CANTÓN URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA
AUTOR (ES):	Mirian Elizabeth Medina Salazar
FECHA: DD/MM/AAAA	08 de abril del 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Forestal
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 08 días del mes de abril de 2019

LA AUTORA:

.....
Mirian Elizabeth Medina Salazar



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Yo, Mirian Elizabeth Medina Salazar, con cédula de ciudadanía Nro. 100385157-1; 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 titulación denominado **DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN *Pinus patula* Schl. et Cham EN LOS CORRALES, CANTÓN URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA**, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniera 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.


.....
Mirian Elizabeth Medina Salazar

C.C.: 100385157-1

Ibarra, a los 08 días del mes de abril del 2019

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA - UTN

Fecha: 08 de abril del 2019

Mirian Elizabeth Medina Salazar: **DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN *Pinus patula* Schl. et Cham EN LOS CORRALES, CANTÓN URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA** /Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 08 de abril del 2019. 85 páginas.

DIRECTORA: Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

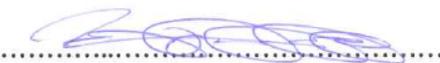
El objetivo principal de la presente investigación fue:

- Determinar la biomasa aérea y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham en los Corrales, cantón Urcuquí, provincia de Imbabura.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Calcular la biomasa área y carbono de la plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham.
- Seleccionar el modelo alométrico con mejor ajuste para *Pinus patula* Schl. et Cham.

Fecha: 08 de abril del 2019



Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.
Directora de trabajo de titulación



Mirian Elizabeth Medina Salazar

Autora

DEDICATORIA

A mi familia

*A mi padre **Santos Medina** y madre **Narcisa Salazar** que con su amor me formaron, me llenaron de valores y principios y sobretodo de amor, por mostrarme el camino hacia la superación este logro es para y por ustedes. Los amo.*

*Mis hermanos (as), **Maritza, Evelyn y Diego**, mi cuñado **Bryan** quienes esperaron con ansiedad este momento al igual que yo, por su apoyo incondicional.*

*Mi hermano **Diego Medina**, con el que hicimos aquella promesa cuando éramos niños, siento que queda cumplida, la cual sin tu apoyo y ayuda no lo hubiese logrado, siendo tu mi motor principal para avanzar y no desmayar en el camino, el que si caía me levantaba conjuntamente con mi familia, por este logro y muchos más.*

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios por darme la oportunidad de vivir cada día.

*A mi familia **padre y madre** por su apoyo y nunca dejar que me rinda ante las circunstancias adversas que se me han presentado, gracias por que con su ayuda logré cumplir este objetivo que más que mío es nuestro, ya que sin ustedes no lo hubiese alcanzado. A mis hermanos (as) **Maritza, Evelyn, Diego** mi cuñado **Bryan** que con cada palabra me levantaban, cuando quise dejar todo me respaldaron y me dieron ánimo para continuar, gracias.*

*A mi directora Ing. **María Isabel Vizcaíno** que más que eso ha sido una madre y amiga incondicional que con sus sabios consejos me ayudó a superar mis miedos, siempre estuvo a mi lado a pesar de las circunstancias, le agradezco infinitamente por no abandonarme y hacer que consigamos este logro.*

*A mi novio **Josué Álvarez** que estuvo en cada momento de este largo camino dándome ánimo, aliento y fuerzas para seguir adelante, cuando quise desvanecerme me levantó, gracias por tu amor incondicional.*

*A la **Sra. Teresa Vizcaíno** que me abrió las puertas de su casa y corazón y con su amor siempre me apoyó y me dió aliento para continuar, que ha sido parte de mi formación profesional.*

*A **Julio Cuasquer** que ha sido un gran amigo, quien me ayudó a cumplir con todo el trabajo que lleva este título, que a estado para mí a pesar de todo, ya que sin el en gran parte no hubiese logrado culminar este proyecto, por su ánimo, aliento y cariño hacia mí, que es lo que lo hace grande como persona.*

A mis asesores, quienes ayudaron a que este trabajo salga de la mejor manera, dándome las mejores observaciones y consejos. A mis amigos quienes siempre me apoyaron constantemente para lograr con este objetivo; gracias por su apoyo, palabras de aliento, consejos y por las experiencias inolvidables que hemos vivido a lo largo de la carrera.

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN *Pinus patula* Schl. et Cham EN LOS CORRALES, CANTÓN URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA

Autora: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Directora de trabajo de titulación: Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Esp.

Año: 2019

RESUMEN

El Cambio Climático se entiende como la alteración del clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana, así también considerando que en el mundo se viene desarrollando un creciente mercado internacional de bonos de carbono que no se encuentran ampliamente difundido, y para acceder al mismo, es necesario conocer la capacidad que tienen los ecosistemas en almacenar carbono. En el presente estudio se construyeron modelos alométricos que permitieron estimar de manera confiable, la biomasa y carbono aéreo de *Pinus patula* Schl. et Cham en función de las variables dasométricas (dap y altura) y seleccionar el modelo alométrico con mejor ajuste para dicha especie. Se realizó dos conglomerados de 50 x100 m en el cual se hizo un censo forestal y se estimó la biomasa mediante la relación entre el peso fresco y el porcentaje de materia seca por componente (hojas, ramas y fuste). Se realizó la construcción de modelos alométricos para biomasa y contenido de carbono aéreo, con las variables dap y ht, posterior de la exploración gráfica de las correlaciones y regresiones existentes entre la biomasa versus los valores obtenidos y transformados. Los modelos alométricos construidos fueron $B = 1/(0,0098 + 1,140 * 10^{-10} e^{ht} - 0,010 * dap^2 - 2,622 * 10^{-5} ht^2 + 5,361 * 10^{-5} * dap^2 * ht^2)$ con un R^2 de 0,897 y $C = 1/(0,047 - 8,614 * 10^{-5} ht^2 - 0,111/\ln(dap^2 + ht^2) + 5,148 * 10^{-10} e^{ht})$ con un R^2 de 0,92 Para la estimación del contenido de carbono se utilizó el factor de conversión estándar de material vegetal a contenido de carbono de 0,5 establecido por el IPCC. Los resultados obtenidos fueron para biomasa total de 98,09 tn/ha y 47,47 tn/ha de contenido de carbono.

Palabras claves: biomasa, contenido de carbono, modelos alométricos, *Pinus patula*.

AERIAL BIOMASS AND CARBON DETERMINATION IN *Pinus patula* Schl. et Cham IN LOS CORRALES, URCUQUÍ CANTON, IMBABURA PROVINCE

Author: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Research Advisor: Ing. María Isabel Vizcaino Pantoja, Esp.

Year: 2019

ABSTRACT

Climate Change is understood as the alteration of climate due to direct or indirect human activity, considering the growing international market of carbon bonds which has not been well known and to access it is necessary to know the ecosystem capacity to store carbon. In this study it is proposed to construct allometric models to determine the biomass and aerial carbon of *Pinus patula* Schl. et Cham depending on dasometric variables (d_{hb} and height) and select the allometric model which best fit a specific species. Two conglomerates of 50 x 100 m were made within a forest and to census the biomass and estimate the relation between fresh weight and the percentage of dry matter per component (leaves, branches and stem). The construction of allometric models for biomass and air carbon content was performed with d_{hb} and ht variables, posterior to the graphic exploration of correlations and regressions between the biomass and the obtained and transformed values. The allometric models were $B = 1 / (0.0098 + 1,140 * 10^{-10} e^{3d} - 0.010 * d^{ap^2} - 2.622 * 10^{-5} ht^2 + 5.361 * 10^{-5} * d^{ap^2} * ht^2)$ with an R² of 0.897 and $C = 1 / (0.047 - 8.614 * 10^{-5} ht^2 - 0.111 / \ln (d^{ap^2} + ht^2) + 5.48 * 10^{-10} e^{3d})$ with an R² of 0.92 for carbon content estimation, a standard conversion factor of vegetal material to carbon content of 0.5 established by the IPCC. Results showed a total biomass of 98.09 tn/ha and 47.47 tn/ha of carbon content.

Keywords: Biomass, carbon stock, allometric models, *Pinus patula*.

Victor Rodriguez
Mirian



x

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	II
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	III
CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
REGISTRO BIBIOGRÁFICO.....	V
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XV
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. General.....	2
1.1.2. Específicos.....	2
1.2. Hipótesis	2
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3

2.1.	Fundamentación Legal.....	3
2.1.1.	Objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021.....	3
2.1.2.	Línea de investigación	3
2.2.	Fundamentación teórica.....	3
2.2.1.	Efecto invernadero.....	3
2.2.1.1.	Gases de efecto invernadero	4
2.2.2.	Carbono.....	5
2.2.2.1.	Captura y secuestro de carbono	5
2.2.2.2.	Carbono en biomasa aérea	6
2.2.3.	Biomasa	6
2.2.4.	Métodos para la determinación de biomasa.....	7
2.2.4.1.	Método tradicional.....	7
2.2.4.2.	Método destructivo	7
2.2.4.3.	Imágenes satelitales	8
2.2.5.	Modelos alométricos.....	8
2.2.5.1.	Selección del modelo alométrico de mejor ajuste	9
2.2.6.	Plantaciones forestales.....	10
2.2.7.	Descripción de la especie.....	12
2.2.7.1.	Descripción botánica	12
2.2.7.2.	Ecología	14
2.2.7.3.	Situación	15
2.2.8.	Investigación realizada	15
2.2.8.1.	Modelos alométricos de biomasa aérea para pino	15
2.2.9.	Movimientos en masa	16
2.2.9.1.	Tipos de movimientos en masa (mm).....	17
CAPÍTULO III.....		18
MATERIALES Y METODOLOGÍA		18
3.1.	Ubicación del sitio	18
3.1.1.	Política	18

3.1.2.	Geográfica.....	18
3.1.3.	Límites	18
3.1.4.	Descripción de la plantación.....	18
3.2.	Datos climáticos.....	19
3.3.	Materiales, equipos e insumos.....	19
3.3.1.	Equipos e instrumentos.....	19
3.3.2.	Insumos y material vegetal	19
3.4.	Metodología.....	20
3.4.1.	Establecimiento de las parcelas	20
3.4.1.1.	Parcelas principales	20
3.4.1.2.	Parcela anidada # 1	21
3.4.2.	Medición de parámetros dasométricos	22
3.4.2.1.	Altura	22
3.4.2.2.	Diámetro a la altura del pecho (dap).....	22
3.4.2.3.	Apeo de individuos seleccionados y medición de longitud.....	22
3.4.3.	Estimación de volumen.....	22
3.4.4.	Estimación de biomasa aérea y carbono	23
3.4.4.1.	Peso de los componentes y toma de muestras para análisis en laboratorio	23
3.4.4.2.	Cálculo de biomasa aérea	24
3.4.4.3.	Estimación de contenido de carbono aéreo	26
3.4.5.	Obtención del modelo alométrico con mejor ajuste para <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham... 26	
3.4.5.1.	Organización de los datos y correlación entre variables	26
3.4.5.2.	Selección de los mejores modelos	27
CAPITULO IV		29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		29
4.1	Inventario forestal.....	29
4.2	Biomasa aérea por componente (ramas, acículas y fuste)	33
4.2.1	Biomasa aérea de la plantación.....	34
4.3	Carbono secuestrado por componente (ramas, acículas y fuste)	36

4.3.1	Carbono secuestrado en plantaciones	37
4.4	Construcción de modelos alométricos.....	39
4.4.1	Modelos alométricos para biomasa aérea.....	39
4.4.2	Modelos alométricos contenido para carbono	41
CAPÍTULO V.....		45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		45
CAPÍTULO VI.....		46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		46
CAPÍTULO VII		56
ANEXOS		56

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1 Estimadores estadísticos del censo forestal	30
Tabla 2 Crecimiento de <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus tecunumanii</i> , en diferentes estudios	32
Tabla 3 Porcentaje de Biomasa aérea por componente.....	33
Tabla 4 Biomasa de las plantaciones	35
Tabla 5 Porcentaje de contenido de carbono aéreo por componente	36
Tabla 6 Contenido de carbono de las plantaciones	38
Tabla 7 Modelos alométricos de biomasa aerea para – <i>Pinus patula</i>	40
Tabla 8 Modelos alométricos de contenido de carbono – <i>Pinus patula</i>	44
Tabla B 1. Estadística descriptiva de los árboles apeados	59
Tabla B 2. Biomasa aérea y carbono aéreo por conglomerado y ha de <i>Pinus patula</i>	59
Tabla B 3. Biomasa total, estimada y sus diferencias – <i>Pinus patula</i>	60
Tabla B 4. Contenido de carbono total, estimado y sus diferencias - Pino.....	61
Tabla B 5. Modelos alométricos construidos para biomasa aérea	58
Tabla B 5. Modelos alométricos construidos para carbono aéreo	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. Distribución de las parcelas.....	20
Figura 2. Parcela 50 x 50 cm	21
Figura 3. CC observado versus CC estimado por árbol – <i>Pinus patula</i>	41
Figura 4. CC observado versus CC estimado por árbol <i>Pinus patula</i>	43
Figura A 1. Mapa de ubicación del sitio.....	56
Figura A 2. Regresión entre Biomasa observada versus. Biomasa estimada	57
Figura A 3. Regresión entre CC observado versus. CC estimado	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración C 1. Plantación de <i>Pinus patula</i>	66
Ilustración C 2. Determinación de rumbos en el establecimiento de las parcelas	66
Ilustración C 3. Delimitación de las parcelas.....	66
Ilustración C 4. Medición de árboles	66
Ilustración C 5. Marcación de árboles.....	67
Ilustración C 6. Apeo de árboles.....	67
Ilustración C 7. Extracción de material vegetal (madera).....	67
Ilustración C 8. Extracción de material vegetal (ramas y hojas)	63
Ilustración C 9. Pesaje de material vegetal	68
Ilustración C 10. Etiquetado de material vegetal	68
Ilustración C 11. Trozado de material vegetal	68
Ilustración C 12. Pesaje de material vegetal	68
Ilustración C 13. Secado de material vegetal	65

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático se entiende como la alteración del clima atribuida directa o indirectamente a la actividad humana. Esto modifica la composición de la atmósfera e incrementa la variabilidad del clima (IPCC, 2014). Todos los países se encuentran preocupados ante las consecuencias del fenómeno, debido al incremento de las emisiones de gases producto de la combustión de fósiles (Rodríguez y Mance, 2009).

Así también considerando que en el mundo se viene desarrollando un creciente mercado internacional de bonos de carbono que no se encuentran ampliamente difundido, y para acceder al mismo, es necesario conocer la capacidad que tienen los ecosistemas en almacenar carbono; existen varias metodologías, una de ellas se desarrolla a través de un estimador de biomasa mediante uso de ecuaciones para cuantificar el carbono.

Existen ecuaciones alométricas generales para estimar la biomasa, sin embargo, no se puede generalizar su uso debido al crecimiento de las especies, y por ende en su concentración: biomasa, turno biológico, tecnológico y de investigación que dependen de las condiciones edafoclimáticas, cronológicas y de manejo de las plantaciones forestales. Con base a lo mencionado no se puede generalizar el uso de las ecuaciones sin una previa validación de las mismas, razón por la cual es necesario construir ecuaciones para cada especie, zona y ecotipo.

La especie introducida de *Pinus patula* Schl. et Cham presenta un alto valor comercial y está incluida en el listado priorizado del Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales (PIF) (MAGAP, 2015). La Corporación Financiera Nacional (CFN) es la entidad que entrega los incentivos a los beneficiarios del PIF, no obstante, la CFN puede otorgar créditos para reforestar con otras especies que no estén incluidas en el PIF; en este contexto, se puede tener plantaciones con doble fin, la producción de madera, el secuestro y almacenamiento de carbono como alternativa económica.

En el presente estudio se propone construir modelos alométricos que permitan estimar de manera confiable, la biomasa aérea de *Pinus patula* Schl. et Cham en función de las variables dasométricas (dap y Altura), con la finalidad de cuantificar el carbono secuestrado que se considera un servicio ambiental como; alternativa de manejo de los recursos naturales encaminado al desarrollo sustentable de las plantaciones forestales de esta especie.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Determinar la biomasa aérea y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham en Los Corrales, cantón Urcuquí, Provincia de Imbabura.

1.1.2. Específicos

- Calcular la biomasa área y carbono de la plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham.
- Seleccionar el modelo alométrico con mejor ajuste para *Pinus patula* Schl. et Cham.

1.2. Hipótesis

- **Ho:** Ninguno de los modelos alométricos permite estimar la producción de biomasa aérea en la plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham.
- **Ha:** Al menos uno de los modelos alométricos utilizados permitirá estimar la producción de biomasa aérea en la plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación legal

2.1.1. Objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

El presente estudio se enmarca en las y los objetivos, políticas estratégicos siguientes:

Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones

Política 3.4: Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017 p. 66 - 67).

2.1.2. Línea de investigación

El estudio se enmarca en la línea de investigación de la carrera: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Efecto invernadero

Es el aumento de la temperatura atmosférica de la Tierra debido a la emisión de gases, como el dióxido de carbono y el metano, provenientes principalmente de las actividades de las industrias, así como de la tala indiscriminada de los bosques, el exceso de basura, los cuales

ayudan a que este fenómeno se produzca y aporten al cambio climático, por ende modifique el régimen de cosechas, plagas y del nivel del mar (Garduño, 2004).

Este fenómeno natural impide que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio. Del 100% de luz solar que llega al planeta, el 30% es reflejado hacia el espacio (albedo), la atmósfera retiene solo un 20% de la energía solar y el 50% restante llega hasta la superficie terrestre (Caballero, Lozano y Ortega, 2007).

La energía infrarroja absorbida por la Tierra es la fuente principal de calor para la atmósfera, haciendo que la temperatura del planeta aumente e influya en los cambios del clima, las precipitaciones, desaparición de bosques naturales, etc. (Caballero y otros, 2007).

2.2.1.1. Gases de efecto invernadero

Son aquellos gases presentes en la atmósfera de origen natural y producidos por el ser humano; entre los principales están: el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y ozono, y los de origen antropogénico se tiene a los halocarbonos, hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC), los Clorofluorocarbonos (CFC) y los perfluorocarbonos (PFC), entre otros; los cuales influyen en el aumento de temperatura de la atmósfera (CIIFEN, 2004).

Los gases producidos por las industrias, artefactos, la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón mineral), la ganadería y la tala indiscriminada de los bosques hacen que el dióxido de carbono producido aumente el efecto invernadero; lo cual acelera el cambio climático en el planeta (Garduño, 2004).

Entre los principales gases de efecto invernadero que afectan al planeta están: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O), que contribuyen con el 65, 20 y 5% respectivamente, según estimaciones del IPCC (1996); las fuentes principales de emisiones de CO_2 provienen de la combustión de fósiles (carbón, petróleo, gas natural), cambio de uso de suelo, descomposición de materia orgánica, entre otros; así también para el metano proviene de la descomposición de basura, actividades agropecuarias, tratamientos de aguas residuales y

fermentación entérica de los rumiantes; el N_2O se lo encuentra en un 70% del total de sus emisiones provenientes de los suelos de regiones agropecuarias que han sido laboreadas, por ende se realiza la denitrificación y la nitrificación, además el uso de fertilizantes, etc. (Baethgen y Martino, 2000).

2.2.2. Carbono

Es un elemento químico que está presente en la naturaleza, se lo puede encontrar almacenado en sistemas agroforestales, árboles, raíces de los árboles y vegetación existente. Este elemento forma tres compuestos gaseosos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y subóxido de carbono, (C_3O_2). El C del aire es metabolizado por los organismos fotosintéticos, y utilizado en la biosíntesis de macromoléculas complejas; mediante la humificación el C es incorporado al suelo, y el restante es devuelto a la atmosfera mediante la mineralización, contribuyendo a mitigar el calentamiento global asociado al cambio climático (Batjes, 1996 citado por Almendros, 2004).

La cantidad de carbono presente en plantaciones forestales se la puede determinar mediante modelos alométricos, ya que los árboles tienen almacenado dicho elemento en sus ramas, raíces y fuste; para lo cual han pasado por un proceso que mediante la clorofila absorben la luz solar que con el dióxido de carbono transforman la savia bruta en savia elaborada a esto se denomina: fotosíntesis (Ibrahim, Chacón, Cuartas, Naranjo, Ponce, Vega y Rojas, 2013).

2.2.2.1. Captura y secuestro de carbono

La captura y secuestro de carbono es uno de los procesos naturales que realizan los bosques, suelos y vegetación existente, entre otras, consiste en separar dicho compuesto de fuentes industriales y energéticas, transportarlo a una localización en la que será almacenado y aislarlo a largo plazo. La captura de carbono lo realizan los bosques nativos, mientras que el secuestro de carbono lo realizan las plantaciones forestales. Cuando se realiza aprovechamiento de un bosque,

en la madera de los árboles y en sus raíces se encuentra almacenado carbono (Llamas Moya, 2006).

La estimación de la captura y secuestro de carbono almacenado se puede obtener mediante ecuaciones alométricas, ya que dicha fijación se presenta en sistemas agroforestales y forestales tanto en arbustos y palmeras. De las plantaciones forestales con fines comerciales se puede obtener beneficios como el secuestro de carbono que contribuye en la disminución del efecto invernadero, debido a que mientras crecen capturan CO₂ y lo almacenan en sus ramas y fuste e inclusive en su raíz (Ramírez, 2012; Gutiérrez y Lopina, 2001).

2.2.2.2. Carbono en biomasa aérea

Entre los servicios ambientales que ofrecen los árboles están el almacenamiento de carbono, a través de plantaciones forestales y sistemas agroforestales que proporciona sombra para los animales y evita la erosión del suelo (IPCC, 2004 citado por Ali y otros, *s.f.*).

Por ello es necesario contar con información sobre el carbono absorbido por los árboles a través de los diferentes ecosistemas; y la cantidad almacenado por especie, que estará en función de los tejidos que componen el árbol y del lugar en el que se encuentre; ya que dicha información puede variar en función de las características climatológicas y edáficas de la localidad (Gayoso y Guerra, 2002 citado por Ali y otros, *s.f.*).

2.2.3. Biomasa

Se puede definir la biomasa como la cantidad de materia orgánica producida por un vegetal, una población o ecosistema mediante la fotosíntesis, en el caso de los árboles la biomasa se la puede utilizar como fuente energética a través de leña o carbón. Se puede encontrar la biomasa en todo compuesto vegetativo (ramas, raíces, hojas, fuste), que en su mayoría se localiza en los bosques plantados o nativos (Nájera, 1999).

Después del aprovechamiento los residuos que quedan en el suelo son las hojas y ramas las cuales forman el 40% de la biomasa total, el 60% restante se encuentra en la madera y corteza del árbol que es transformado para la elaboración del producto final, esto quiere decir que el 75% del carbono que había almacenado en el árbol regresa a la atmósfera (Schroeder y otros, 1993 citado por Nájera, 1999).

2.2.4. Métodos para la determinación de biomasa

2.2.4.1. Método tradicional

Este método está basado en la toma de datos del volumen comercial de las especies, la densidad básica de la madera y el factor de expansión de la biomasa (FEB); sin embargo, Silva-Arredondo y Návar-Cháidez (2010) mencionan que los FEB cambian con la densidad del árbol ya que mantienen una relación inversamente proporcional, lo que contradice la lógica de la ecuación donde la biomasa es el resultado del producto de la densidad. Puede aplicarse en plantaciones forestales, bosques nativos, bosques primarios o secundarios los que sean húmedos, húmedos tropicales y semiáridos (Brown, 1997).

2.2.4.2. Método destructivo

La medición (no estimar) de la cantidad de biomasa aérea en cualquier componente de un ecosistema requiere la aplicación del método destructivo (Brown y otros., 1989 citado por Návar y otros, 2001). Este método proporciona un valor exacto de la biomasa ya que consiste en destruir los árboles, para calcular su peso seco o biomasa. Adicionalmente, el método permite formular relaciones funcionales entre la biomasa y las variables del rodal de fácil medición como el diámetro a la altura del pecho, altura comercial, altura total y otras (Pardé, 1980 citado por Russo, 1983; Gayoso y otros, 2002).

El inconveniente que presenta es su alto costo en términos de tiempo y recurso económico (Brown, 1992; Gayoso y otros, 2002), además de la propia destrucción de los árboles empleados en la medición. El método destructivo es el más preciso (omite errores de estimación) para estimar la cantidad de biomasa aérea (Pardé 1980; Monroy y Návar, 2004).

2.2.4.3. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales registran el comportamiento de la superficie terrestre a través de diferentes regiones del espectro electromagnético, proporcionando una gran cantidad de datos espacialmente contiguos entre sí y distribuidos a lo largo de extensas áreas geográficas (Aronoff, 2005; Eastman, 2006; Peña, 2007).

Estas propiedades les confieren la capacidad de detectar, reconocer e identificar coberturas de suelo, así como medir numerosas propiedades biofísicas y bioquímicas asociadas a ellas, ofreciendo ventajas en comparación con métodos *in situ*, que muchas veces requieren de mediciones en terreno que pueden resultar prohibitivas a amplias escalas, debido a limitantes de accesibilidad, tiempo y recursos (Aronoff, 2005; Eastman 2006; Peña, 2007).

2.2.5. Modelos alométricos

Según Andrade y Segura (2008), los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, biomasa o carbono (VBC) de AAP en función de variables de fácil medición, tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho (dap) y/o la altura total (p.90). Para la construcción de modelos alométricos se debe proceder a transformar la sumatoria, multiplicación, diferencia, división, logaritmo natural (ln), potencia de las variables independientes de dap y altura para analizar si existe una correlación, la cual nos ayudará a determinar las ecuaciones con la ayuda software estadísticos.

2.2.5.1. Selección del modelo alométrico de mejor ajuste

Para seleccionar el modelo que se ajuste 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 (Andrade y Segura, 2008).
- **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 (Andrade y Segura, 2008).
- **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).
- **Criterio de información akaike:** Se usa para penalizar un exceso de parámetros ajustados, algo que no hace el test de chi – cuadrado (Moret y Ruíz, 1998 citados por Lerma y Orjuela, 2014; Álvarez, 2008).
- **Criterio de información bayesiano:** Es un criterio para la selección de modelos entre un conjunto finito de modelos. Se basa en la función de probabilidad y que está estrechamente relacionado con el AIC (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. (Segura y Andrade, 2008).

2.2.6. Plantaciones forestales

Una plantación forestal es el conjunto de árboles de la misma edad y especie (coetáneo), es establecida por el hombre mediante plantación y está integrada por especies exóticas o nativas. Las plantaciones forestales brindan servicios ambientales como el secuestro de carbono, los cuales ayudan a mitigar el efecto invernadero y cambio climático (FAO, 2001).

2.2.8.1 Tipos de plantaciones forestales

Según Cabrera (2003) clasifica las plantaciones forestales de la siguiente manera.

- **Clasificación con base en el ecosistema utilizado.**

Plantación en pleno: Se conoce como la plantación o establecimiento de árboles en una superficie donde no existía cobertura vegetal ni arbustiva; esto quiere decir que las especies plantadas serán las dominantes.

Plantación agroforestal: Es el asocio de árboles con cultivos agrícolas establecidos al mismo tiempo; poseen ventajas como el aumento de los ingresos, debido a que durante el turno de cosecha de los árboles la siembra será aprovechada. En otros casos se los puede combinar con pasto, donde el beneficio es que el agricultor posee alimento para el ganado al mismo tiempo que estiércol que por medio de la descomposición se convertirá en abono para la plantación por ende su desarrollo será mejor.

Plantación de enriquecimiento: Es el establecimiento de árboles en parcelas, claros o en brechas naturales del bosque, cuando el número de individuos es bajo; dicha plantación tiene por objeto recuperar el valor comercial y aumentar la densidad de las especies, las cuales han sido explotados masivamente o tienen poca abundancia. Estas plantaciones se las realiza en selvas donde se han formado espacios, debido a la caída de árboles por la dinámica del bosque.

Plantación de enriquecimiento con manejo de la regeneración natural: Es la incorporación de individuos en forma natural en el suelo de un bosque nativo, el manejo de la regeneración natural es a través de la liberación de la competencia, además que los árboles proporcionan cobertura vegetal a la tierra, lo cual ayuda a que los individuos de alto valor comercial se desarrollen de mejor manera.

- **Clasificación con base a la composición de especies.**

Plantación pura o monoespecífica: Es la incorporación de árboles de una sola especie en un sitio determinado, este sistema de plantaciones es el más utilizado a nivel nacional.

Plantación mixta: Es la combinación de árboles de diferentes especies en un mismo espacio determinado, con características del sitio similares para que su desarrollo sea el mejor, además de que se obtienen diferentes productos forestales a lo largo del tiempo, hasta que llegue la cosecha final.

- **Clasificación con base al origen de las especies**

Plantación nativa: Son plantaciones establecidas con especies nativas, es decir que se desarrollan en su hábitat con determinadas condiciones climáticas.

Plantación exótica: Son plantaciones establecidas con especies exóticas, es decir que han sido introducidas de otros lugares o países y necesitan reunir las condiciones adecuadas para su desarrollo óptimo.

Plantación combinada: Son plantaciones en las cuales se utilizan especies nativas y exóticas en un mismo sitio determinado.

- **Clasificación con base en el destino de la producción**

Plantación industrial: Son aquellas cuyos productos son destinados para satisfacer las necesidades de las industrias que lo requieren.

Plantación energética: Son aquellas plantaciones establecidas con el fin de producir energía o combustibles, éstas utilizan especies de crecimiento rápido.

Plantación de uso múltiple: Son aquellas cuyos productos son destinados a satisfacer varios propósitos, tales como leña para los hogares, madera para ser vendida, entre otros.

2.2.7. Descripción de la especie

2.2.7.1. Descripción botánica

Las características de la especie fueron tomadas de Ospina, Hernández, Rodas, Urrego, Godoy, Aristizabal y Â Riaño (2006).

Árbol de tamaño mediano a grande, que en ejemplares longevos puede alcanzar alturas de hasta 40 m y 120 cm de diámetro. El tronco es recto, cilíndrico en un comienzo y bastante cónico en casi toda su longitud. En árboles jóvenes, inicialmente la corteza es lisa y rojiza, y luego, ésta se torna marrón, áspera y se desprende en escamas.

- **Ramas**

Tiene una distribución uniforme, aunque en general son verticiladas, las ramas pequeñas son escamosas y rojizas. Los rebrotes con algunos nódulos glabros, son verde pálidos hasta pardo rojizos. La copa es extendida con ramas largas y colgantes.

- **Hojas**

Son aciculadas, normalmente agrupadas en fascículos de 3 o 4 agujas, raramente presentan 2 o 5, persistentes en el árbol por 2 a 4 años, de 20 cm por lo general, aunque alcanzan longitudes de hasta 30 cm, son flexibles y péndulas de color verde - azulado, brillantes, con los bordes finamente aserrados y dos haces fibrovasculares. Las vainas de las acículas son de color ceniza, persistentes y de 1,5 cm de largo. Las yemas terminales son largas, erguidas y amarillentas (Escobar, 1967; Wormald, 1975; Parent, 1989).

- **Flores**

Estróbilos unisexuales sobre el mismo árbol. Las inflorescencias femeninas son de color púrpura, principalmente laterales, pedunculadas, solitarias o en pequeños racimos de hasta ocho escamas, con pequeñas espinas deciduas (Wormald, 1975). Las inflorescencias masculinas son amentos, ubicados en la parte terminal de las ramas, de color verde cuando jóvenes y amarillos al madurar, de hasta 1,0 cm de diámetro, agrupadas alrededor del nuevo brote y aparecen con las nuevas hojas (Escobar, 1967; Wormald, 1975; Parent, 1989).

- **Frutos**

Conos en forma ovoide a cónico, duros, puntiagudos, asimétricos, curvados en el extremo, persistentes en el árbol, de 4,0 a 12,0 cm de largo por 2,5 a 5,0 cm de diámetro, dispuestos en pedúnculos cortos hasta de 1,5 cm y, frecuentemente agrupados de tres a siete; los conos son solitarios si se presentan en las ramas gruesas o sobre el tronco. Las escamas que recubren los frutos son redondeadas, con espinas deciduas, gruesas, de 2,0 cm de largo por 1,0 cm de ancho y se abren periódicamente (Wormald, 1975)

- **Semillas**

Pequeñas, casi triangulares, de color marrón a negruzcas, de 3,0 a 5,0 mm de longitud, el ala que las recubre tiene 2,0 cm de largo y 1,0 cm de ancho, con líneas negruzcas engrosadas al final (Escobar, 1967; Wormald, 1975; Parent, 1989).

- **Madera**

Posee una densidad anhidra mediana de 0,48 g/cm³ y una densidad básica de 0,43 g/cm³. La madera es blanda, recién cortada presenta olor agradable a resina, de color ligeramente amarillento, de durabilidad natural baja; debido a la susceptibilidad al ataque insectos xilófagos y de hongos que descomponen la madera. Se seca relativamente bien, tanto al aire libre como en el secado artificial, lo que permite que sea ampliamente utilizada como madera de aserrío (Ospina y otros, 2016).

2.2.7.2. Ecología

Las características de la especie fueron tomadas de Valenzuela (2009):

Pinus patula es originario de México. El área de distribución es limitada y discontinua, crece básicamente en tres zonas boscosas, en las faldas al Este de la Sierra Madre Oriental, entre los paralelos 18 y 21 a altitudes de 1800 a 2700 m.s.n.m. En esta zona se encuentra frecuentemente asociado con *P. teocote*. (Lamprecht, 1990).

En el Ecuador esta especie es importante en vista de su crecimiento y ausencia de problemas sanitarios en rodales ubicados en las faldas del volcán Cotopaxi, han logrado una altura dominante de 11,8 m a los 15 años, a una altitud de 3.450 m.s.n.m. Los mejores sitios en la sierra están entre 2.200 - 3.200 msnm, donde los climas varían desde secos hasta húmedos, con temperaturas mínimas absolutas entre -0,1 a 3,1 C°. En estos sitios el *Pinus patula* tiene un rango de crecimiento 1,3 y 2,4 m de altura.

El mejor ejemplo de crecimiento está en la ciudad de Cuenca a 2.450 m.s.n.m en un rodal con árboles dominantes que alcanzan 24 m de altura a los 10 años, en un sitio de suelo profundo y con buen nivel de fertilidad. (Zasen y Jadán, 1987).

2.2.7.3. Situación

En 1998 se inicia la segunda fase del Proyecto de Mejoramiento Genético Forestal en la República del Ecuador (PMGF) ejecutado por el Ex INEFAN y auspiciado por PROFAFOR – FACE que en coordinación con el proyecto ECOPAR se implementa los ensayos de procedencia de *Pinus patula* en los sitios la Serrana, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha e Iltaquí, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura (Vizcaíno y Pupiales, 2008).

A nivel nacional existen 164 mil ha de bosques plantados, la mayor parte de las plantaciones se encuentran en la sierra con especies de rápido crecimiento, principalmente el pino (*Pinus radiata* y *Pinus patula*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*); con respecto a la sierra existen 3.462,29 ha de bosque plantado (GPI, Paredes, Carvajal y Lucano, 2014).

A nivel nacional existen 1.023,07 ha de *Pinus patula* lo cual da un 5.30 % del área total. En lo que respecta a la provincia de Imbabura y la especie de *Pinus patula*, existen 40.11 has ubicadas en San Francisco del Abras, Cantón Ibarra, Parroquia la Esperanza, 88.22 has ubicadas en Proyecto Casco Valenzuela, Cantón Otavalo, 115.2 ha de *Pinus patula* y *Pinus radiata* ubicadas en la Comuna el Topo, Cantón Otavalo; Parroquia San Pablo (GPI, Paredes y otros, 2014).

2.2.8. Investigación realizada

2.2.8.1. Modelos alométricos de biomasa aérea para pino

Díaz-Franco, Acosta-Mireles, Carrillo-Anzures, Buendía-Rodríguez, Flores-Ayala, y Etchevers-Barra, (2007), realizaron una investigación en *Pinus patula* Schl. et Cham para estimar biomasa y carbono en el Ejido Mariano de Matamoros, Tlaxco, Tlaxcala, en el cual se determinó la biomasa y carbono en el estrato aéreo para ajustar el modelo $Y=b*X$, donde la variable independiente (X) es el diámetro normal (DN).

Se obtuvieron muestras de cada uno de los siguientes componentes (fuste, ramas y follaje) de cada árbol, en el campo determinó el peso fresco, tanto de la muestra como del componente, las muestras se llevaron al laboratorio para ser secadas y obtener su peso seco, con ello se estimó la biomasa total de cada uno de los árboles, usando para ello la relación peso seco: peso fresco de las muestras.

Para determinar la concentración de carbono en los diferentes componentes se tomaron y analizaron muestras de cinco árboles. Para estimar la biomasa se ajustó y genero la ecuación $B=0,0357*DN^{2,6916}$ y para estimar la ecuación ajustada fue $CC= 0,021 * DN^{2,645}$, con los coeficientes de determinación para ambas de 0,98; obteniéndose los siguientes resultados:

2.2.9. Movimientos en masa

Los movimientos en masa son aquellos procesos de movilización ya sea esta lenta o rápida de una masa de suelo, roca, tierra o detritus, su desplazamiento llega hasta un nivel inferior de la original donde se encontraba el suelo, estos pueden ser causados por la pendiente, alteraciones sísmicas o por gravedad (Cruden, 1991). Existen movimientos en masa que son de mayor velocidad tales como: los deslizamientos, desprendimientos, los cuales dejan gran evidencia donde ocurrió dicho fenómeno, debido a que ese pedazo de tierra o suelo ya no está en el sitio o a caído de su lugar de origen, o a menor velocidad, como reptación que se evidencia como ligeras deformaciones en el suelo y muchas veces afecta a los árboles, causando una ligera inclinación en los mismos (Hauser, 1993 citado por Elmes, 2006).

Existen diferentes clasificaciones de movimientos en masa, estas son de acorde al tipo de materiales desplazados, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación. Los fenómenos de movimiento en masa están condicionados por factores geológicos, morfológicos, físicos y humanos (Carrasco, 2000 citado por Elmes, 2006).

Según Varnes (1958 y 1978) clasifica como principal al tipo de movimiento y en segundo lugar el tipo de material, los movimientos en masa en cinco tipos tales como: caídas, vuelcos,

deslizamientos, propagaciones y flujos y a los materiales en dos clases: rocas y suelos, éstos últimos subdivididos en detritos y tierra.

Es difícil determinar el tipo de movimiento en masa, debido a que estos fenómenos presentan diferentes comportamientos a lo largo de su trayectoria, ya sea esto de acuerdo al tipo de material, los factores externos que influyen directamente sobre el cómo las condiciones del sitio, por ejemplo, mientras que una determinada ladera pudiera fallar como deslizamiento traslacional en condiciones de humedad moderada, el mismo deslizamiento se puede transformar en una avalancha o un flujo de detritos en condiciones de mayor humedad, aumentando la longitud de su recorrido (Crozier y Glade, 2005).

2.2.9.1. Tipos de movimientos en masa (mm)

(Crozier y Glade, 2005) establecieron varias clases de tipos de movimientos en masa tales como: deslizamientos, flujos, caídas, vuelcos, propagaciones laterales, reptaciones.

La reptación o reptamiento es un movimiento en masa de flujo lento, se lo puede evidenciar en campo debido a la ondulación del terreno, el desplazamiento de líneas de acueducto, la inclinación de postes y árboles, dicho fenómeno se evidencia con mayor frecuencia en la época de invierno, debido a la aparición de lluvias constantes. Además, se desarrollan en suelos especialmente conformados por materiales poco consolidados de la cubierta superficial y de poca profundidad (Crozier y Glade, 2005).

Se desarrollan en pendientes leves por acción de la gravedad y están relacionados con humedecimiento de las filtraciones pluviales y el secado, en las lluvias se presenta una hinchazón del suelo que contiene agua y el suelo se expande; y en la estación seca el suelo se contrae, y por lo tanto, la resultante significa una bajada del material. Producto de las variaciones climáticas, suele manifestarse por el desplazamiento de viviendas, carreteras, líneas férreas y la aparición de grietas, abombamiento de los muros y encurvamiento hacia fuera de los troncos de los árboles en las proximidades del suelos (Holmes, 1966).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del sitio

3.1.1. Política

El estudio se realizó en Los Corrales, parroquia Urcuquí, cantón San Miguel de Urcuquí, ubicado a 10 km de la cabecera cantonal, provincia de Imbabura.

3.1.2. Geográfica

El sector se encuentra a $78^{\circ} 16' 18,08''$ de longitud W y $0^{\circ} 26' 52,78''$ de latitud N, a 3544 m.s.n.m de altitud (*Ver figura A1 - anexo A*).

3.1.3. Límites

Limita, al norte con las parroquias Pablo Arenas, al sur y oeste con San Blas, al este con Tumbabiro (PDOT Urcuquí, 2014).

3.1.4. Descripción de la plantación

La edad de la plantación fue de 20 años, establecida a un distanciamiento de 3 x 3 m, no presentó manejo silvicultural, el terreno presentaba una pendiente que oscilaba entre el 20-40%. Los árboles presentaron reptación en su mayoría, esto quiere decir un 75% del total de árboles.

3.2. Datos climáticos

La temperatura media anual es de 8,63 °C, la precipitación anual es de 1170 mm.

3.3. Materiales, equipos e insumos

3.3.1. Equipos e instrumentos

- Balanza de laboratorio
- Balanza romana
- Brújula
- Calibrador
- Cinta diamétrica
- Cinta métrica
- Estufa
- Hojas de campo
- Motosierra
- Navegador GPS

3.3.2. Insumos y material vegetal

- Material para embalaje
- Árboles de *Pinus patula*
- Muestras de 500 g por componente de árbol

3.4. Metodología

3.4.1. Establecimiento de las parcelas

La distribución de las parcelas fue sistemática, en base a el Proyecto Evaluación Nacional Forestal (MAE, 2011).

3.4.1.1. Parcelas principales

Se realizó el trazo de dos conglomerados (C1 y C2) de 50 x 100 m cuyas coordenadas fueron X=803641; Y=10049619 y X=804688; Y=10049473 respectivamente; con brújula en dirección sureste y dentro de este se procedió a medir el dap y altura de todos los árboles, además de la biomasa aérea de ramas, fuste y acículas de los árboles; así como también del detritus.

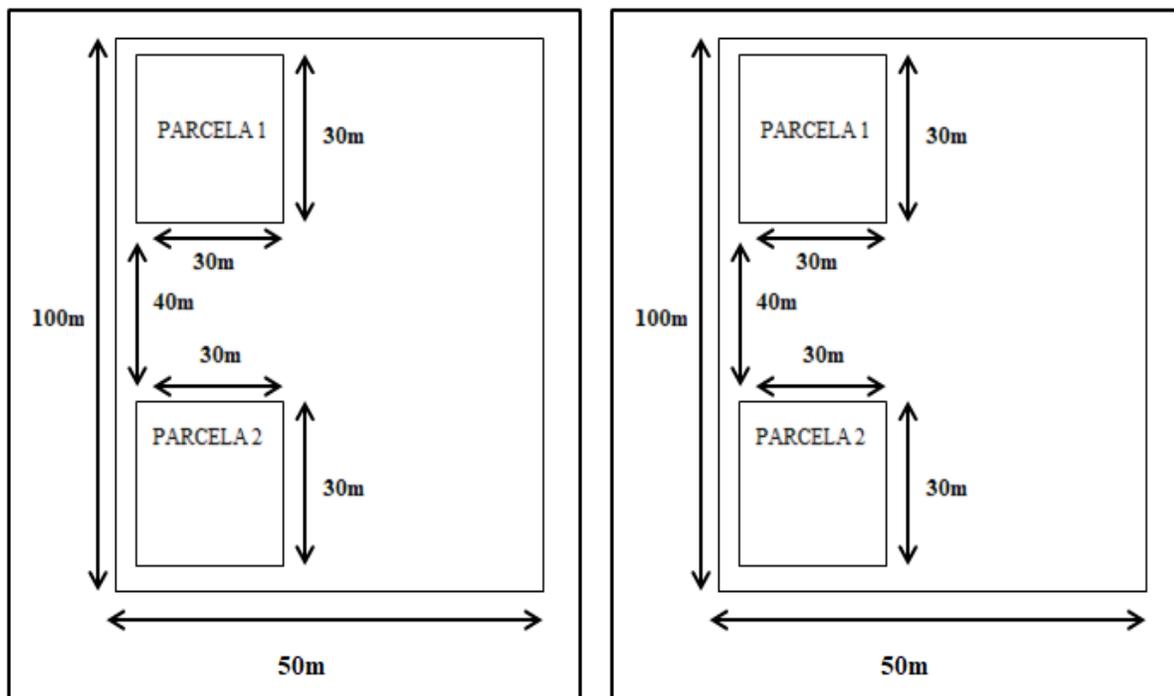


Figura 1. Distribución de las parcelas

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Las parcelas fueron de 30 x 30 m, en donde se midieron todos los árboles en pie y mayores de 10 cm de DAP.

3.4.1.2. Parcela anidada # 1

La primera parcela anidada consiste en dos cuadrados de 50x50 cm., que se ubicaron en la esquina sureste y otra en el noroeste de la parcela principal.

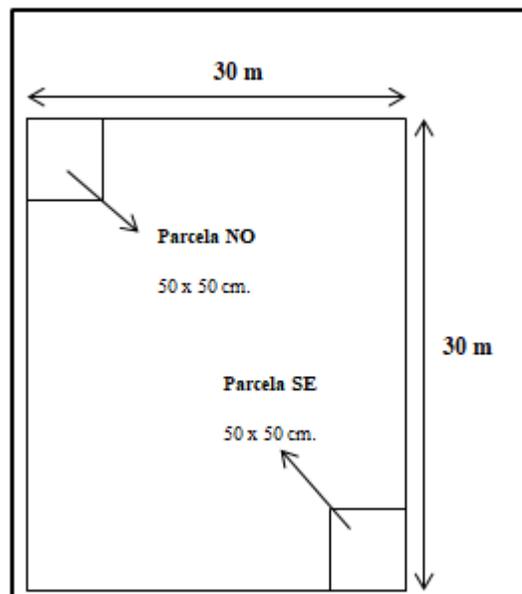


Figura 2. Parcela 50 x 50 cm

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

En esta parcela se registró el peso de la hojarasca y detritus no vivo menor de 5 cm de diámetro, para lo cual se procedió a recolectar la materia superficial que se encuentre en una capa de 5cm de espesor.

3.4.2. Medición de parámetros dasométricos

Para determinar las características dasométricas de la plantación se usó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008):

3.4.2.1. *Altura*

Se midió la altura total de los árboles, esto se lo realizó con el Clinómetro de Suunto.

3.4.2.2. *Diámetro a la altura del pecho (DAP)*

El diámetro de los árboles se midió a 1,30 m (DAP) con cinta métrica.

3.4.2.3. *Apeo de individuos seleccionados y medición de longitud*

Una vez cortados los árboles, sobre el suelo se midió con una cinta métrica la longitud total del fuste.

3.4.3. Estimación de volumen

Para la estimación del volumen de los árboles se utilizó las siguientes formulas:

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

Ec. 1

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

Donde:

- V** = Volumen del árbol
AB = Área Basal
h = Altura de árbol
f = Factor de forma (0,5)

$$IMA = Y/T$$

Ec. 3

Donde:

- IMA** = Incremento medio anual
Y = Dimensión de la variable considerada (m)
T = Edad de la especie (años)

3.4.4. Estimación de biomasa aérea y carbono

Para el cálculo de la biomasa se usó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008):

3.4.4.1. Peso de los componentes y toma de muestras para análisis en laboratorio

Los componentes estudiados fueron: fuste, ramas, acículas y detritus, y para pesar éstos componente se realizó el siguiente procedimiento:

- Se dividió el fuste y las ramas en secciones de 1 y 0,50 m respectivamente, para facilitar el pesaje.
- Se pesó la totalidad del árbol para cada componente.

- Se tomó una muestra de 500 g en estado húmedo de cada uno de los componentes y se embolsó con plástico. Estas muestras se llevaron al Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca de la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte.
- Las muestras se secaron al horno a 60 ° C durante 72 horas para luego pesar la materia seca.

3.4.4.2. *Cálculo de biomasa aérea*

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 y otros, 2009).

Se calculó la materia seca con la siguiente ecuación para cada componente del árbol:

$$\%MS = \frac{Sm * Vm}{100}$$

Ec. 4

Dónde:

%MS = Porcentaje de materia seca

Sm = Peso de la muestra seca

Vm = Peso de la muestra verde

La biomasa para cada componente se calculó con la siguiente ecuación (Andrade & Segura, 2008)

Ec. 5

$$B = \frac{Pf * Ms}{100}$$

Dónde:

B = Biomasa (kg)

Pf = Peso fresco (kg)

Ms = Materia seca (%)

En función de la biomasa de las muestras se extrapoló a cada uno de los componentes considerando los pesos frescos tomados en campo. En el caso del detritus se extrapoló la biomasa de muestra en función de la superficie.

Para determinar el peso de la biomasa aérea total se sumó los resultados de los componentes (CIRAD & FAO, 2012).

$$B_T = B_F + B_R + B_H + B_D$$

Ec. 6

Dónde:

B_T = Biomasa total (kg)

B_F = Biomasa del fuste (kg)

B_R = Biomasa de las ramas (kg)

B_H = Biomasa de acículas (kg)

B_D = Biomasa de detritus (kg)

Para el cálculo de la biomasa aérea para cada árbol de la plantación se aplicó la ecuación alométrica obtenida, posteriormente se sumó toda la biomasa y carbono de los árboles dando como resultado el total del área.

3.4.4.3. Estimación de contenido de carbono aéreo

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).

Para el cálculo del carbono aéreo para cada árbol de la plantación se aplicó la ecuación alométrica obtenida, posteriormente se sumó toda la biomasa y carbono de los árboles dando como resultado el total del área.

3.4.5. Obtención del modelo alométrico con mejor ajuste para *Pinus patula* Schl. et Cham.

Para la obtención y procesamiento de la ecuación alométrica se utilizó los programas InfoStat 2015 (e), e IBM SPSS Statistics 20, con los que se determinó la ecuación con el mejor ajuste a la regresión.

Para seleccionar los mejores modelos alométricos se utilizó la metodología propuesta por Andrade y Segura (2008), que a continuación se indica.

3.4.5.1. Organización de los datos y correlación entre variables

Se organizaron los datos de cada individuo en una fila, detallando en las columnas las variables independientes (dap, db y ht) y dependiente biomasa total. Luego se graficaron la biomasa total frente a cada variable independiente para ver las tendencias de los datos y probar diferentes modelos. Posteriormente se calculó el coeficiente de correlación con las variables independientes y la variable dependiente, usando para ello la siguiente ecuación (Ec. 7) (Steel & Torrie, 1988):

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sqrt{S^2_x * S^2_y}}$$

Ec. 7

Donde:

r_{xy} = Correlación de Pearson

C_{xy} = Covarianza

x = Variable independiente

y = Variable dependiente

S^2 = Varianza

Para realizar los modelos se procedieron hacer correlaciones parciales entre los valores naturales de dap y altura con respecto a la biomasa total, en vista de que estos no presentaron coeficientes de correlación significativos ni de determinación superiores al 80%, se desarrolló las transformaciones de: logaritmos naturales, raíces, cocientes, potencias y con las siguientes transformaciones se procedió a determinar los coeficientes de correlación y determinación y con aquellos valores transformados con los que se obtuvo mejor ajuste se lo llevo al programa IBM SPSS Statistics v 20 para su respectiva obtención del modelo de regresión lineal.

3.4.5.2. Selección de los mejores modelos

Se evaluaron los modelos con los mecanismos estadísticos:

- Coeficiente de determinación (R^2).
- Coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado).
- Error estándar de la estimación (RCME).

- Criterio de información akaike (AIC), proporcionados por los programas estadísticos InfoStat versión 2015 e IBM SPSS Statistics 20.
- Porcentaje de observados versus estimados en función de los errores de estimación.
- Sumatoria de desviaciones de estimación.
- Coeficiente de determinación (R^2) porcentaje de observados versus estimados.

Posteriormente se escogió a los 10 mejores modelos y se los seleccionó de acuerdo a cada mecanismo estadístico de evaluación, con énfasis en la comparación de observado versus estimados y en la regresión resultante de la misma.

3.4.5.3. Validación del modelo alométrico con mejor ajuste

Se aplicó la ecuación con los datos de diámetro y altura con sus respectivas transformaciones y se calculó la biomasa estimada, luego se realizó la comparación de estimados versus observados, es decir, biomasa calculada versus estimada mediante las ecuaciones y se seleccionó aquellos modelos que tenían más del ochenta por ciento de datos dentro del margen de error de estimación.

Se realizó la sumatoria de las desviaciones, estimación del error y se seleccionó aquellos modelos cuyos errores de estimación estén cercanos a uno, cabe recalcar que en todos los modelos se evidenció que se realizaban subestimaciones y sobrestimaciones sobre la biomasa, además se realizó el análisis de regresión lineal entre los biomasa calculada y la biomasa estimada y se seleccionó aquellos modelos que tuvieron un coeficiente de determinación de la regresión superior al 80%.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Inventario forestal

En la Tabla 1 se presenta los resultados del análisis estadístico de las variables de medición directa (dap y ht) y calculadas (AB y volumen) del censo forestal por conglomerado menor a una hectárea, además se empleó una intensidad de muestreo del 15%.

Al realizar el análisis estadístico del censo forestal se observó que para las variables de medición directa (dap y ht) del conglomerado uno, los valores son relativamente homogéneos y la medias obtenidas son representativas del conjunto de datos; por otro lado, en las variables calculadas para el conglomerado dos, se registra heterogeneidad; sin embargo, las medias son representativas de los datos analizados; esto es debido a que el terreno donde se encontraba el conglomerado dos presentaba una pendiente del 40%, por lo tanto existía menor número de árboles ya que había mayor mortalidad de los mismos probablemente debido a que las raíces de las coníferas son fasciculadas y no tienen un buen sostén mecánico ante pendientes (Pérez, Armesto, y Ruthsatz, 1991). Andrade y Segura (2008) manifiestan que si los datos muestran heterogeneidad entre ellos pueden afectar al modelo tanto en forma como en estructura.

Tabla 1*Estimadores estadísticos del censo forestal*

Estimador	CONGLOMERADO 1				CONGLOMERADO 2			
	Dap (m)	Ht (m)	AB/árbol (m ²)	V/árb (m ³)	dap (m)	ht (m)	AB/árb (m ²)	V/árb (m ³)
Media	0,28	9,82	0,06	0,42	0,28	9,51	0,06	0,41
Mín	0,04	3,20	0,001	0,01	0,11	6,30	0,01	0,05
Máx	0,48	16,00	0,18	1,35	0,45	13,50	0,16	1,10
Varianza	0,01	0,59	0,001	0,05	0,01	0,80	0,001	0,06
Desviación estándar de la media	0,07	0,77	0,03	0,22	0,08	0,89	0,03	0,24
Error estándar de la media	0,004	0,04	0,002	0,01	0,01	0,06	0,002	0,02
Coefficiente de variación	26,37	7,89	48,03	50,17	27,13	9,43	49,75	52,77

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Arteaga (2003) en condiciones diferentes de temperatura, altitud y precipitación a las observadas en Los Corrales-Urcuquí, registró para *Pinus patula* un incremento medio anual (IMA) en ht similar a los registrados en el sitio de estudio, a los 14,6 años; debido a que los árboles tienden a elongarse en busca de la luz; sin embargo, en edades superiores, los mismos autores, observaron que el IMA es menor, debido a la desaceleración del crecimiento por alcanzar la etapa de madurez de los individuos.

El IMA de AB y volumen, registra valores superiores en Los Corrales-Urcuquí en relación a García y otros (2015) y Montoya (2017), este incremento se debe al mayor número de árboles por hectárea, cabe mencionar que además, se observó evidencias de movimientos en masa en vista que los árboles presentaron una curvatura que se asocia a este tipo de movimiento denominado reptación (Crozier, 1999; Glade y Crozier, 2005) (Tabla 2).

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

Tabla 2

Crecimiento de Pinus patula y Pinus tecunumanii, en diferentes estudios

Especie	Promedio		Total		IMA				Árb/ha	Edad	Fuente
	Dap (cm)	Ht (m)	AB (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	dap (cm/año)	ht (cm/año)	AB (m ² /año)	V (m ³ /año)			
<i>Pinus patula</i>	28,00	9,67	37,32	254,65	1,40	0,48	1,87	12,73	602	20	Este estudio
<i>Pinus patula</i>	10,78	6,54	9,21	323,97	0,74	0,45	0,63	22,19	976	14,60	Arteaga (2003)
<i>Pinus patula</i>	17,28	17,21	25,95	190,41	1,00	1,00	1,50	11,02	100	17,30	García y otros. (2015)
	18,79	18,90	28,99	219,57	0,93	0,93	1,43	10,81	126	20,30	
<i>Pinus tecunumanii</i>	40,60	21,00	13,79	124,24	1,40	0,72	0,48	4,28	104	29	Montoya (2017)
	27,50	17,90	9,10	115,55	1,22	0,80	0,40	5,14	306	20-25	

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

4.2 Biomasa aérea por componente (ramas, acículas y fuste)

La biomasa aérea de cada uno de los componentes del árbol se presenta en la Tabla 3; cabe recalcar que el detritus fue de 10,68 tn/ha.

Figuroa-Navarro y otros (2010) y Castellanos y otros (1996) en Chignahuapán, Puebla y Zacualtipán, Hidalgo, respectivamente, a los 25 años de edad de la plantación obtuvieron valores inferiores en los componentes de acículas y ramas a los de la presente investigación, mientras que para el componente fuste obtuvieron mayor, debido a que la plantación probablemente tuvo un manejo silvicultural, por lo cual la concentración de biomasa fue mayor en el fuste que en los otros componentes.

Navar y otros (2001) en Durango, México a una temperatura de 11,7 °C y precipitación anual de 1200 mm, obtuvieron valores casi similares en cada componente (ramas, acículas y fuste), debido a que la plantación se encontraba en un bosque natural, además que las acículas de *P. duraguensis* son de similar longitud (14 a 30 cm) y tiene una copa de forma cónica.

Tabla 3

Porcentaje de Biomasa aérea por componente

Componente	Este estudio (%)	Castellanos y otros (1996) (%)	Figuroa-Navarro y otros. (2010) (%)	Navar y otros (2001) (%)	
Especie	<i>P. patula</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. duraguensis</i>	<i>P. cooperi</i> B
Acículas	15,51	2,80	4,49	13,50	10,60
Ramas	19,66	8,70	9,21	22,50	22,40
Fuste	64,83	72,20	86,29	64,00	67,00
Edad (años)	20	16	25	14	18

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

4.2.1 Biomasa aérea de la plantación

La biomasa aérea de la plantación se presenta en la Tabla 4.

Alberto y Elvir (2008) en los municipios de Cabañas, Opatoro y Santa Ana (Honduras) en bosques nativos, con una precipitación anual de 1804 mm, temperatura medio anual de 20 °C, a los 37 años de edad, obtuvieron valores de biomasa aérea menores para *Pinus oocarpa*, a los obtenidos en la presente investigación debido a que registraron un número menor de árboles, AB y volumen por unidad de superficie, el cual es el factor determinante en la cantidad de biomasa.

Montoya (2017) en la Estación experimental "La Favorita" en condiciones distintas de temperatura, altitud y precipitación que Los Corrales-Urcuquí registró valores de biomasa aérea, similares para *Pinus tecunumanii*, debido probablemente a que en la plantación se realizaron raleos y presentó alta mortalidad, cabe mencionar que la morfología de la especie es similar.

Francis Justine y otros (2015) en Gao-Sichuan con una precipitación de 1021 mm, temperatura de 18.1 °C, a los 19 años de edad, obtuvieron valores similares, probablemente debido a las características morfológicas de la especie, ya que las acículas de *Pinus massoniana* son mucho más pequeñas (1,5-2 cm) y por ende existe menor biomasa foliar que *Pinus patula*.

La Tabla 4 muestra los resultados de biomasa de las plantaciones, con mayor biomasa aérea en *Pinus patula*, *P. oocarpa*, *P. tecunumanii* y *P. massoniana*.

Tabla 4

Biomasa de las plantaciones

Especie	Edad (años)	Número de individuos	Biomasa aérea (tn/ha)	Sitio de estudio	Fuente
<i>Pinus patula</i>	20	602	98,09	Los Corrales-Urcuquí	Este estudio
	37	301	57,13	Bosque denso las Cabañas (Honduras)	
	36	112,40	25,14	Bosque ralo las Cabañas (Honduras)	
<i>Pinus oocarpa</i>	47,7	258,20	112,09	Bosque denso Opatoro (Honduras)	Alberto y Elvir (2008)
	40	320,40	105,49	Bosque denso Santa Ana (Honduras)	
<i>Pinus tecunumanii</i>	29	104	95,75	Estación experimental "La Favorita"	Montoya (2017)
<i>P. massoniana</i>	19	1800	98,28	Gao-Sichuan	Francis Justine y otros (2015)

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

4.3 Carbono secuestrado por componente (ramas, acículas y fuste)

El contenido de carbono aérea total para cada uno de los componentes (ramas, acículas y fuste) del árbol se presenta en la Tabla 5; cabe recalcar que el detritus fue de 5,34 tn/ha.

Pinazo y otros (2007) y Lima y otros (2016) en la localidad de Wanda, departamento de Puerto Iguazú, provincia de Misiones, con una temperatura media anual de 21°C, con precipitaciones de 2000 mm, en *P. taeda L.*, obtuvieron valores para CC en los componente acículas y ramas es menor, a causa de que tienen de dos a tres acículas agrupadas por fascículo y un largo de 12 a 22 cm, por lo tanto existe menor captación de carbono, en cuanto al CC en el fuste es mayor, debido a que la plantación tuvo un raleo previo y raleos cada cuatro años.

Zhao y otros (2014) y Vachnadze y otros (2016) en *P. tabulaeformis* y *P. sosnoversuskyi* respectivamente, obtuvieron valores similares al de la presente investigación esto se puede deber a que las ramas poseen mayor número de acículas por fascículo con un espesor de 1,5 cm por acículas.

Tabla 5

Porcentaje de Contenido de carbono aéreo por componente

Componente	Este estudio (%)	Pinazo y otros (2007) (%)	Zhao y otros (2014) (%)	Vachnadze y otros (2016) (%)	Lima y otros (2016) (%)
Especie	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda L.</i>	<i>P. tabulaeformis</i>	<i>P. sosnoversuskyi</i>	<i>P. caribaea</i>
Acículas	15,51	2,84	18,50	10,33	4,73
Ramas	19,66	15,86	25,20	27,96	13,46
Fuste	64,83	81,30	56,30	61,71	81,81
Edad (años)	20	20	30	31	10

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

4.3.1 Carbono secuestrado en plantaciones

El contenido de carbono aérea total de la plantación se presenta en la Tabla 6.

Alberto y Elvir (2008) en bosques densos y ralos de *P. oocarpa* en las Cabañas (Honduras) obtuvieron valores de CC aéreo inferiores a la de Los Corrales-Urcuquí para *P. patula*, por el contrario en bosques densos en Opatoro y Santa Ana (Honduras) registraron mayor carbono aéreo debido, probablemente, a la influencia de la edad y número de árboles, así como a las características intrínsecas de la especie; cabe recalcar que para *P. patula* presentaron un menor crecimiento en dap y altura, debido a que la plantación no ha sido manejada silviculturalmente (Tabla 6).

Montoya (2017) obtuvo valores similares a los de la presente investigación en vista de, que las condiciones de la estación La Favorita favorecieron al crecimiento de *P. tecunumanii*, además que la plantación tuvo raleos. Por otra parte, Pinazo y otros (2007) obtuvieron CC aéreo superiores, esto se debe a que en la plantación de *P. taeda* se realizaron raleos cada cuatro años y las condiciones del sitio eran óptimas para el crecimiento de la especie.

La Tabla 6 muestra los resultados de contenido de carbono de las plantaciones, con mayor CC aéreo en *Pinus patula*, *P. oocarpa*, *P. tecunumanii* y *P. taeda*.

Tabla 6

Contenido de carbono de las plantaciones

Especie	Edad (años)	Número de individuos	Carbono aéreo (tn/ha)	Sitio de estudio	Fuente
<i>Pinus patula</i>	20	602	47,47	Los Corrales-Urcuquí	Este estudio
	37	301	29,59	Bosque denso las cabañas	
	36	112,4	13	Bosque ralo las cabañas	
<i>Pinus oocarpa</i>	47,7	258,2	58,06	Bosque denso Opatoro	Alberto y Elvir (2008)
	40	320,4	54,65	Bosque denso Santa Ana	
<i>Pinus tecunumanii</i>	29	104	47,88	Estación experimental "La Favorita"	Montoya (2017)
<i>Pinus taeda</i>	20	711	153	Wanda, Puerto Iguazú, Argentina	Pinazo y otros (2007)

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

4.4 Construcción de modelos alométricos

4.4.1 Modelos alométricos para biomasa aérea

En la Tabla 7 se muestra el modelo alométrico generado para biomasa aérea, con las variables dap y ht transformadas, mediante los análisis del ADEVA, se obtuvieron coeficientes de correlación de 0,947 y coeficientes R^2 de 0,897 para *Pinus patula*. Así mismo se presenta la comparación en porcentaje de los valores observados versus los valores estimados considerando el error de estimación de cada ecuación que fue para el modelo seleccionado de 91,67 % para *Pinus patula*.

Para estimar la biomasa aérea 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 patula* mostró un R^2 inferior al calculado por otros autores (Tabla 7). Al comparar las estimaciones con el modelo construido versus los modelos citados, se demuestra que existe una mejor estimación (Figura 3); debido a que se realizan sobre estimaciones y sub estimaciones de la biomasa por individuo.

Al aplicar las ecuaciones de los diferentes autores con los datos obtenidos en el campo se obtuvo un valor estimado de biomasa total de 11,78 kg por individuo, al comparar la biomasa producto de las ecuaciones se evidenció que se tiende a realizar sobrestimaciones, debido a que los modelos de los autores citados no se ajustan a la regresión con los datos observados, ya que las condiciones climáticas y de crecimiento son disimiles, por tal razón el modelo construido en la presente investigación presenta menores errores de estimación, mayor ajuste a la regresión, por lo tanto para la plantación estudiada tiende a ser más precisa en cuanto a la estimación (Tabla B5 del Anexo B).

Al comparar los coeficientes R^2 entre los valores observados versus 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 la presente investigación (Tabla B9 del Anexo B).

En la Tabla 7 se muestran los modelos alométricos de biomasa para *Pinus patula* en donde el modelo de mejor ajuste es la del presente estudio.

Tabla 7

Modelos alométricos de biomasa aérea para Pinus patula

Especie	Modelo	R ²	ΣBT-BTest (kg)	Fuente
<i>Pinus patula</i>	$B = 1/(0,0098 + 1,140 * 10^{-10} e^{ht} - 0,010 * dap^2 - 2,622 * 10^{-5} ht^2 + 5,361 * 10^{-5} * dap^2 * ht^2)$	0,897	11,78	Este estudio
<i>Pinus patula</i>	$B = 0,0357 * dap^{2,6916}$	0,98	3799,27	Díaz y otros (2007)
<i>Pinus patula</i>	$B = 5,338 + 0,018635 * dap^2 * ht$	0,97	4548,40	Figuroa y otros (2010)
<i>Pinus patula</i>	$B = 0,001917(DN * ht)^{1,977233}$	0,87	2617,59	Rodríguez y otros (2009)

B= biomasa aérea, **dap**= diámetro a la altura del pecho, **ht**= altura total, **e^{ht}**= exponente de altura total, **DN**= diámetro normal.

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

En la siguiente figura se muestra la biomasa aérea total versus la biomasa aérea estimada por autor y árbol, dónde se aplicó las ecuaciones alométricas de las investigaciones a discutir con los datos obtenidos de biomasa de la presente investigación, dando como resultado que la ecuación del presente estudio se ajusta mejor a la recta a diferencia de las otras.

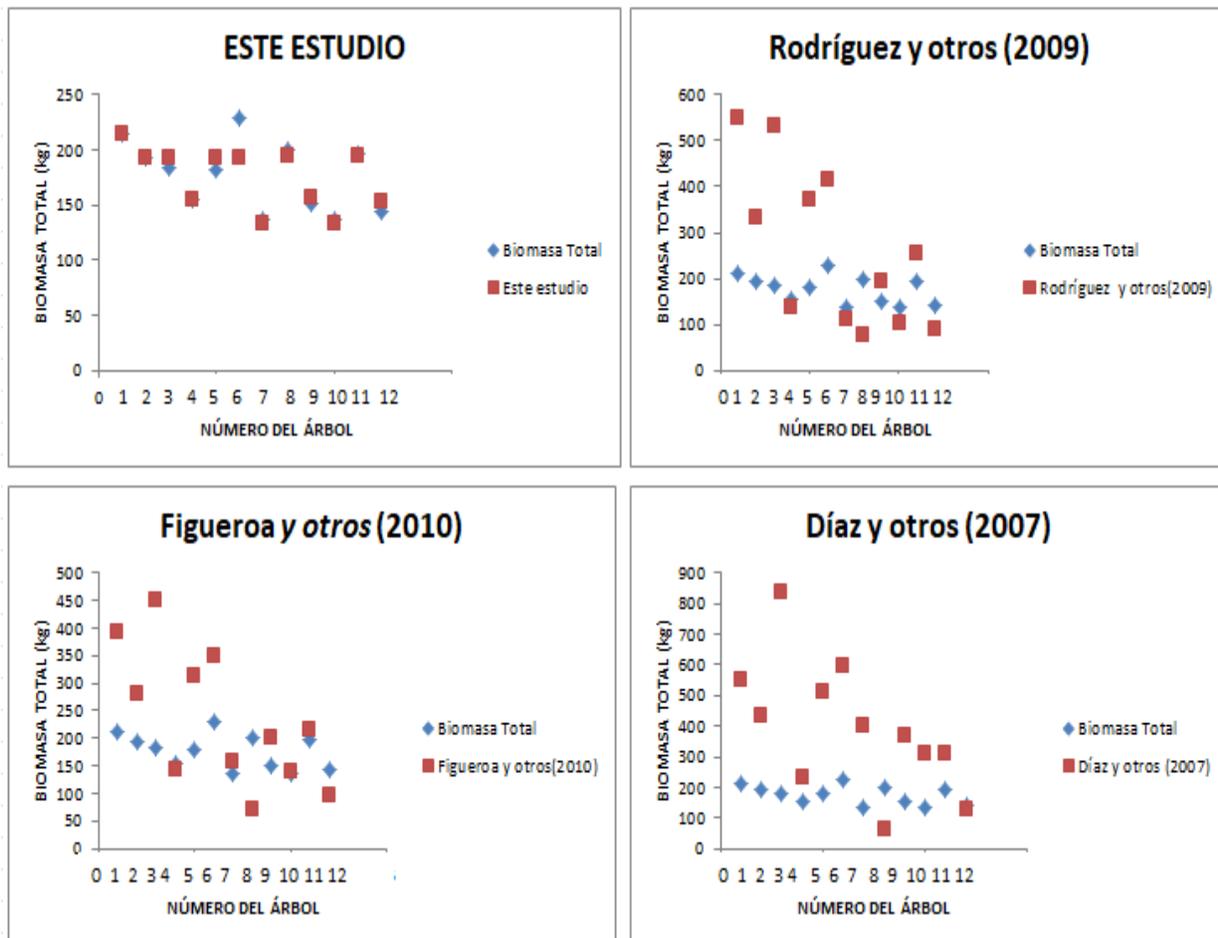


Figura 3. Biomasa aérea observada versus Biomasa aérea estimada por árbol – *Pinus patula*

4.4.2 Modelos alométricos contenido para carbono

En la Tabla 8 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 0,96 y coeficientes R^2 de 0,92 para *Pinus patula* (ver anexo tabla B5). Así mismo se presenta la

comparación en porcentaje de los valores observados versus los valores estimados considerando el error de estimación de cada ecuación que fue para el modelo seleccionado de 83,33 % para *Pinus patula*.

Para estimar CC se considera la variable ht. Los modelos construidos por los autores citados en la Tabla 8 registraron coeficientes R^2 de 0,98 y 0,32; disimiles al obtenido para *Pinus patula* de 0,922. Al comparar las estimaciones con el modelo construido versus los modelos citados, se demuestra que existe una mejor estimación de los valores con el modelo construido (Figura 4); debido a que se realizan mínimas sub estimaciones del CC por individuo.

Al sumar las desviaciones del CC estimado del modelo de *Pinus patula* con respecto a los valores observados se obtuvo un valor de 3,55 kg; es decir, en los errores de estimación existe una mínima subestimación muy inferior a las registradas con los autores citados (Tabla B3 del Anexo B). 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 la investigación realizada.

Al comparar los coeficientes R^2 entre los valores observados versus 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 la presente investigación (Figura B10 del Anexo B).

En el siguiente cuadro se muestra el CC total por autor y árbol, dónde se aplicó las ecuaciones alométricas de las investigaciones a discutir con los datos obtenidos de biomasa de la presente investigación, dando como resultado que la ecuación del presente estudio se ajusta mejor a la recta a diferencia de las otras.

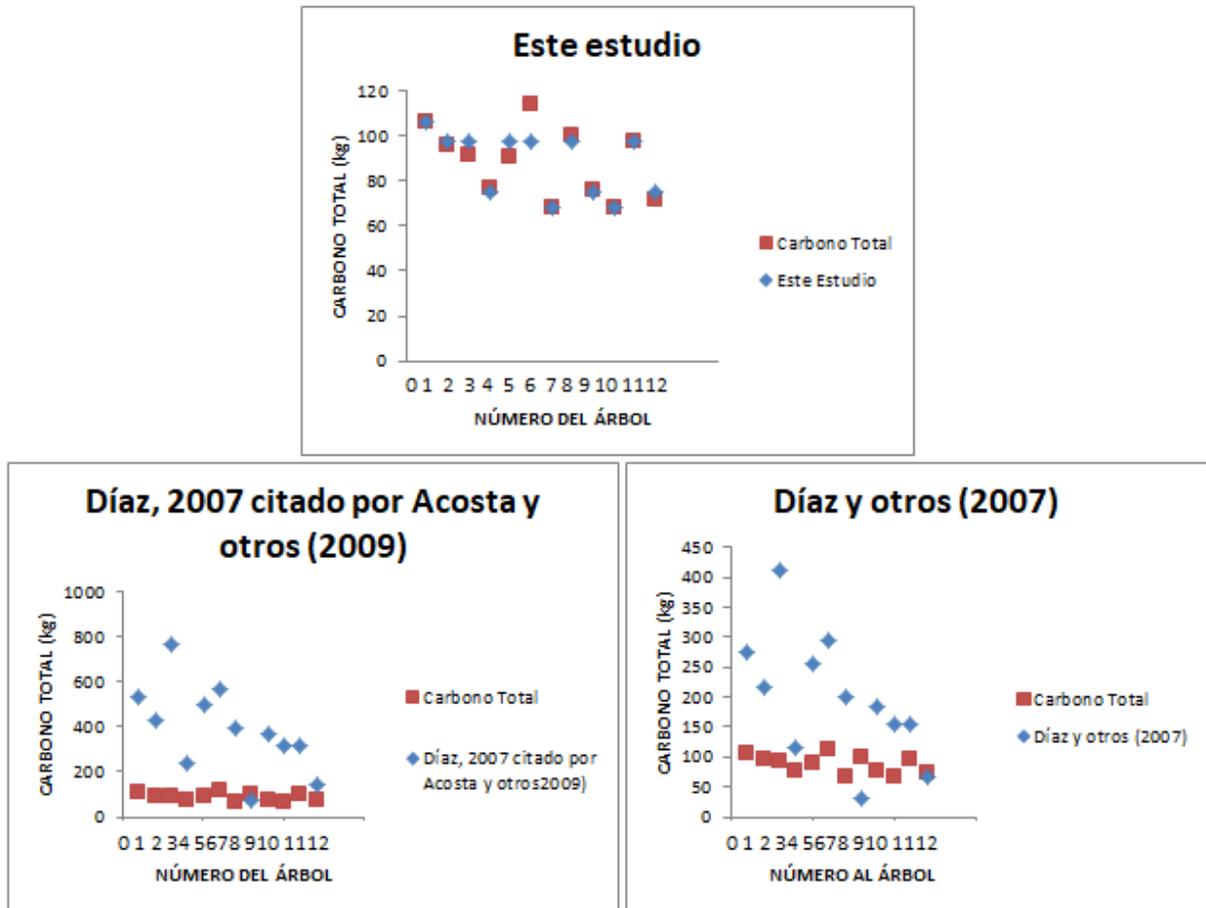


Figura 4. CC observado versus CC estimado por árbol *Pinus patula*

En la Tabla 8 se muestran los modelos alométricos de CC para pino en donde el modelo de mejor ajuste es para *Pinus patula* de este estudio.

Tabla 8

Modelos alométricos de contenido de carbono – Pinus patula

Especie	Modelo	R ²	∑(BT-BTest)(kg)	Fuente
<i>Pinus patula</i>	$C = 1/(0,047 - 8,614 \times 10^{-5}ht^2 - 0,111/\ln(dap^2 + ht^2) + 5,148 \times 10^{-10} e^{ht})$	0,92	3,55	Este estudio
<i>Pinus patula</i>	$C = 0,021 * dap^{2,6451}$	0,98	1924,81	Díaz y otros (2007)
<i>Pinus patula</i>	$C = 0,0948 * dap^{2,4079}$	0,32	-683,07	Díaz, 2007 citado por Acosta y otros, (2009)

C= contenido de carbono, **dap** = diámetro a la altura del pecho, **ln** = logaritmo natural, **e** = exponente

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La biomasa aérea y el carbono almacenado por la plantación estudiada se concentra principalmente en el fuste. Pese a esto, el aporte de ramas y acículas es considerable, aportando cerca del 35 % del total. Cabe señalar que la estructura y cantidad de las acículas generó que el carbono secuestrado sea similar al de las ramas. Esta misma distribución generó que el aporte de detritus sea considerable, producto de la cantidad de follaje muerto que cae sobre el suelo y su lento proceso de descomposición.
- La falta de manejo de la plantación acompañada del fenómeno de reptación, generó una relación asimétrica entre las variables dap y ht , aplicadas como regresoras en los modelos planteados. Por tal motivo fueron necesarias varias transformaciones como productos, potencias, inversos y logaritmos. Pese a la complejidad de los modelos obtenidos, el ajuste y las estimaciones alcanzadas cumplen con los criterios para su uso, por lo que pueden ser empleadas para la estimación de biomasa y carbono aéreo de plantaciones con las mismas condiciones edafoclimáticas y de manejo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para plantaciones que presenten similares condiciones climáticas sin manejo y con el fenómeno de reptación emplear los modelos construidos en la presente investigación.
- Realizar investigaciones entre la relación de la biomasa obtenida por componente según el manejo silvicultural que las plantaciones presentan.
- Determinar la influencia del fenómeno de reptación en el crecimiento de la especie y por ende la cantidad de biomasa que una plantación puede tener en estas condiciones, además el carbono secuestrado en las mismas.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta M, Q. K. (2001). *Un método para la medición de carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terreno de ladera en México*. Valdivia - Chile: INIFAP.
- Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., & Díaz Lavariega, M. (2009). *Determinación del carbono total en bosques mixtos de Pinus patula Schl. et cham.* Terra Latinoamericana, 27(2), 105-114.
- Alberto, D. M., & Elvir, J. A. (2008). *Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de Pinus oocarpa en bosques naturales en Honduras.* Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 17(1), 67-78.
- Ali, S., De Petre, A., & Karlin, O. A. (s.f). *Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal. Argentina.*
- Almendros, C. (2004). *Investigaciones básicas sobre el origen y la estructura molecular de las formas estables de materia orgánica relacionadas con el proceso de secuestro de carbono en los suelos.* Edafología, 11(2), 229-248.
- Álvarez Condo, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia.*
- Andrade, H., & Segura, M. (2008). *¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?* Costa Rica: CATIE.
- Arribas, C. (2013). *Captura y almacenamiento del carbono: promesas y realidades de una tecnología puesta en solfa.* El Ecologista, (79), 34-36.

Aronoff, S. *Remote Sensing for CIS Managers*. California: ESRI Press, 2005.

Arteaga Martínez, B. (2003). *Evaluación dasométrica de una plantación de Pinus spp. en Perote, Veracruz, México*. *Foresta Veracruzana*, 5(1).

Baethgen, W., & Martino, D. (2000). *Cambio climático, gases de efecto invernadero e implicancias en los sectores agropecuario y forestal del Uruguay*. Resúmenes del Taller sobre el Protocolo de Kyoto. Ministerio de Vivienda, ordenamiento territorial y Medio Ambiente. Dirección Nacional de Medio Ambiente. Uruguay.

Batjes, N.H. (1996): *Total Carbon and Nitrogen in the Soils of the World*. *Eur. J. of Soil Sci.* 47:151-163.

Brown, S. 1997. *Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono*. In actas del XI congreso Mundial Forestal: recursos Forestales y Arbores. Vol 1. Antalya Turkia 13-22 October of 1997.

Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). *Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra*. *Revista digital universitaria*, 8(10), 1-12.

Cabrera, C. (2003). *Plantaciones forestales: oportunidades para el desarrollo sostenible*. Instituto de agricultura, recursos naturales y ambiente. Guatemala.

Carrasco, N. 2000. *Peligros de remoción en masa en el sector de San José de Maipo, Región Metropolitana. Memoria para optar al título de Geólogo*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Castellanos, J., A. Velázquez, J. Vargas, C. Rodríguez y A. Fierros G. 1996. *Producción de biomasa en un rodal de Pinus patula*. *Agrociencia* 30:123-128.

CIIFEN (2004). *Efecto invernadero*. Recuperado de:
http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=99&Itemid=132&lang=Des

CIRAD y FAO. 2012. *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles*. Roma, Italia. 213 p.

Crozier, M. J., & Glade, T. (2005). *Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach*. *Landslide hazard and risk*, 1-40.

Crozier, M.J., y Glade, T., 1999, Frequency and magnitude of landsliding: *Fundamental research issues, en Memorias, Intemational Conference on Geomorphology, Bologna*.

Cruden, D. M., 1991, *A Simple definition of a landslide: Bulletin of the Intemational Association of Engineering Geology*.

Dauber, E., Terán, J., & Guzmán, R. (2000). *Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia*. Santa Cruz: Superintendencia Forestal.

Díaz-Franco, R., Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., Buendía-Rodríguez, E., Flores-Ayala, E., & Etchevers-Barra, J. D. (2007). *Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en Pinus patula Schl. et Cham*. *Madera y Bosques*, 13(1), 25-34.

Eastman, R. *Idrisi Andes Guide to CIS and Image Processing*. Maryland: Clark University, 2006.

Elmes Angulo, M. E. (2006). *Análisis y evaluación de riesgos por movimientos en masa, inundación y sismicidad en el piedmont de la comuna de Puente Alto*.

Escobar S., R.A. (1967). *Aspectos biológicos del Pinus patula*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 1967. 42 p.

Escobar, G. D. (2012). *Manual de geología para ingenieros*.

FAO. 2001. *Definitions related to planted forests*. Documento de trabajo de FRA 79. Roma. (en inglés)

Fernández, R., Martiarena, R., Goya, J., Lupi, A., & Frangi, J. (Abril de 2004). *Ajuste de ecuaciones para la determinación de la biomasa de plantaciones de Araucaria angustifolia (BERT.) O. KTZE en el norte de la provincia de Misiones*. Onceavas Jornadas Técnicas Forestales, Misiones, Argentina.

Figuroa-Navarro, C. M., Ángeles-Pérez, G., Velázquez-Martínez, A., & Santos-Posadas, H. M. D. L. (2010). *Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de Pinus patula Schltld. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo*. Revista mexicana de ciencias forestales, 1(1), 105-112.

Fonseca, W., Alice, F., & Rey, J. M. (2009). *Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica*. Costa Rica.

Gaillard, C. C., & del IARNA, I. A. (2003). *Plantaciones Forestales: Oportunidades para el desarrollo sostenible*. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Universidad Rafael Landívar, Ciudad de Guatemala.

García-Aguilar, J. Á., Velasco-Velasco, V. A., Rodríguez-Ortiz, G., & Enríquez-del-Valle, J. R. (2015). *Influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento de una plantación de Pinus patula Schltld. et Cham*. Revista mexicana de ciencias forestales, 8(44), 132-154.

Garduño, R. (2004). *¿Qué es el efecto invernadero? Cambio climático: una visión desde México*, 29.

Gayoso, J., Guerra, J., & Alarcón, D. (2002). *Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas*. Valdivia (Chile): Universidad Austral de Chile, Proyecto

medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Informe Final, Documento, 53.

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>

GPI (Gobierno Provincial De Imbabura), CONGOPE, Paredes, Carvajal y Lucano (2014). *Plan de forestación y reforestación de la provincia de Imbabura*, págs. (95 y 98).

Greenfacts (2001). *Captura y Almacenamiento de CO2*. Recuperado de: <http://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/1-2/1-secuestro-carbono.htm#0>.

Gutierrez, V., & Lopina, G. (2001). *Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Hauser, A. 1985. *Flujos de Barro de la Zona Preandina de R.M. Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas*. Revista Servicio Nacional de Geología y Minería – Chile. Boletín N° 24. pág. 75 – 92.

Holmes, A (1966). “*Geología Física*”. Editorial Omega. Barcelona, España

Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., ... & Rojas, J. (2013). *Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua*.

IPCC. (2003). *Good Practice Guidance for LULUCF*. Recuperado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html.

- IPCC. (24 de Mayo de 2001). *Tercer Informe de Evaluación de la Mitigación del Cambio Climático*. Obtenido de http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml.
- IPCC, 2014: *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- Justine, M. F., Yang, W., Wu, F., Tan, B., Khan, M. N., & Zhao, Y. (2015). *Biomass stock and carbon sequestration in a chronosequence of Pinus massoniana plantations in the upper reaches of the Yangtze River*. *Forests*, 6(10), 3665-3682.
- Lamprecht (1998). *Silvicultura de los Trópicos. Edición en Alemania 1990 Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Edición en español. GTZ*. República Federal de Alemania. 267 Pág.
- Lerma, M., & Orjuela, E. (2014). *Modelos Alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, departamento del Tolima, Colombia*. Colombia: Universidad de Colombia.
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. & Chipman, J. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: Wiley, 2004.
- Lima, M. C. D. D., Barreto-Garcia, P. A. B., Sanquetta, C. R., Novaes, A. B. D., & Melo, L. C. D. (2016). *Biomass and carbon stock from Pinus caribaea var. hondurensis under homogenous stands in southwest Bahia, Brazil*. *Ciência Rural*, 46(6), 957-962.
- Llamas Moya, B. E. R. N. A. R. D. O. (2016). *Captura y Almacenamiento de CO₂: criterios y metodología para evaluar la idoneidad de una estructura geológica como almacén de CO₂ (Vol. 20)*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.

- MAE. (2011). *Proyecto Evaluación Nacional Forestal. Manual de Campo*. Quito: Ministerio del Ambiente Ecuador.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2015). *Programa de incentivos para la deforestación con fines comerciales*. Guayaquil - Ecuador.
- Masa, M. E. (2006). *Análisis y evaluación de riesgos por movimientos en masa, inundación y sismicidad en el Piedmont de la comuna de puente alto*.
- Monroy, R. C., y JJ Nívar C. 2004. *Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de Hevea brasiliensis Mull. Arg. Veracruz, México. Madera y Bosques*, 10(2), 29-43.
- Montoya Verdezoto, L. A. (2017). *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 (Bachelor's thesis)*.
- Nájera Luna, J. A. (1999). *Ecuaciones para estimar biomasa, volumen y crecimiento en biomasa y captura de carbono en diez especies típicas del matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México*.
- Nívar, J., González, N., & Graciano, J. (2001, October). *Ecuaciones para estimar componentes de biomasa en plantaciones forestales de Durango, México*. In Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile (Vol. 18, p. 12).
- Ospina, C., Hernández, R., Rodas, C., Urrego, J., Godoy, J., Aristizabal, F., ... & Riaño, N. (2006). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: El Pino patula (Pinus patula Schl. et Cham)*. Bogotá: Cenicafe.

Parde, J. Forest biomass. 1980. *Forestry Abstracts* 41 (8); 343-362.

Parent, G. (1989). *Guía de reforestación. Bucaramanga : Corporación de defensa de la meseta de Bucaramanga : Agencia canadiense para el desarrollo internacional*, 1989. 214 p.

PDOT de Urcuquí (2014). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial San Miguel de Urcuquí*. Recuperado de: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1060000770001Diagnostico_15-11-2014.pdf

Peña Araya, M. A. (2007). *Correcciones de una imagen satelital ASTER para estimar parámetros vegetacionales en la cuenca del río Mirta, Aisén. Bosque (Valdivia)*, 28(2), 162-172.

Pinazo, M. A., Martiarena, R. A., Von, A., Crechi, E., Pahr, N. M., & Knebel, O. (2007). *Efectos de la intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de Pinus taeda L. establecida sobre ultisoles de Misiones. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 36(1).

Pérez, C., Armesto, J. J., & Ruthsatz, B. A. R. B. A. R. A. (1991). *Descomposición de hojas, biomasa de raíces y características de los suelos en bosques mixtos de coníferas y especies laurifolias en el Parque Nacional Chiloé, Chile. Revista Chilena de Historia Natural*, 64, 479-490.

Ramírez López, J. L. (2012). *Secuestro de carbono en plantaciones de eucalipto (Eucalyptus globulus Labill) - cantón Pedro Moncayo*. Ibarra: Editorial Universitaria.

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>

- Rodríguez Becerra, M., & Mance, H. (2009). *Cambio climático: Lo que está en juego*.
- Russo Andrade, R. O. (1983). *Mediciones de biomasa en sistemas agroforestales*.
- Santiago-García, W., los Santos-Posadas, D., Manuel, H., Ángeles-Pérez, G., Valdez-Lazalde, J. R., Corral-Rivas, J. J., ... & Santiago-García, E. (2015). *Modelos de crecimiento y rendimiento de totalidad del rodal para Pinus patula*. *Madera y bosques*, 21(3), 95-110.
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Objetivo 3. En SEMPLADES, Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021* (pág. 66 - 67). QUITO: Semplades.
- Segura, M., & Andrade Castañeda, H. J. (2008). *¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?*
- Silva-Arredondo, F. y Návar-Cháidez, J. (2010) *Factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México*. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1 (1), 55-62.
- Steel, R., & Torrie, J. (1988). *Bioestadística, principios y procedimientos*. Mexico: McGraw - Hill.
- Vachnadze, G. S., Tiginashvili, Z. T., Tsereteli, G. V., Aptsiauri, B. N., & Nishnianidze, Q. G. (2016). *Carbon stock sequestered from the atmosphere by coniferous forests of Eastern Georgia in conditions of global warming*. *Annals of Agrarian Science*, 14(2), 127-132.
- Valenzuela, D. (2009). *Evaluación del comportamiento de procedencias de Pinus patula Schlect et Cham en la Provincia de Imbabura Periodo 2008-2009*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.

- Varnes, D.J. (1958): Landslide types and processes. In: *Landslides and Engineering Practice* (E.B.Eckel, Ed.), Washington, 29:20-47.
- Varnes, D.J. (1978): Slope movement and types and processes. In: *Landslides Analysis and Control* (R.L. Shuster y R.J.Krizek, Eds.). National Academy of Sciences, Washington DC, 176: 11-33.
- Vila, A., & Montón, R. (2008). *Por qué la captura y almacenamiento de carbono no salvará el clima. Greenpeace: Boletín informativo trimestral*, (2), 42-43.
- Vizcaíno y Pupiales (2008). *Evaluación del comportamiento de procedencias de Pinus patula Schlect. et Cham en dos sitios en las provincias de Imbabura y Pichincha*. Ibarra: Editorial Universitaria.
- Wormald, T.J. *Pinus patula. Oxford : Unit of tropical silviculture, 1975*. (Tropical forestry papers No. 7).
- Zeasen, D y Jadan, S. 1987. *Zonificación de especies forestales en la Región Interandina, documento preliminar*, DINAFAID, Quito- Ecuador, MAG. 92pp.
- Zhao, J., Kang, F., Wang, L., Yu, X., Zhao, W., Song, X., ... & Han, H. (2014). *Patterns of biomass and carbon distribution across a chronosequence of Chinese pine (Pinus tabulaeformis) forests*. PLoS one, 9(4), e94966.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1 Anexo A- Figuras

Figura A.1. Ubicación del sitio

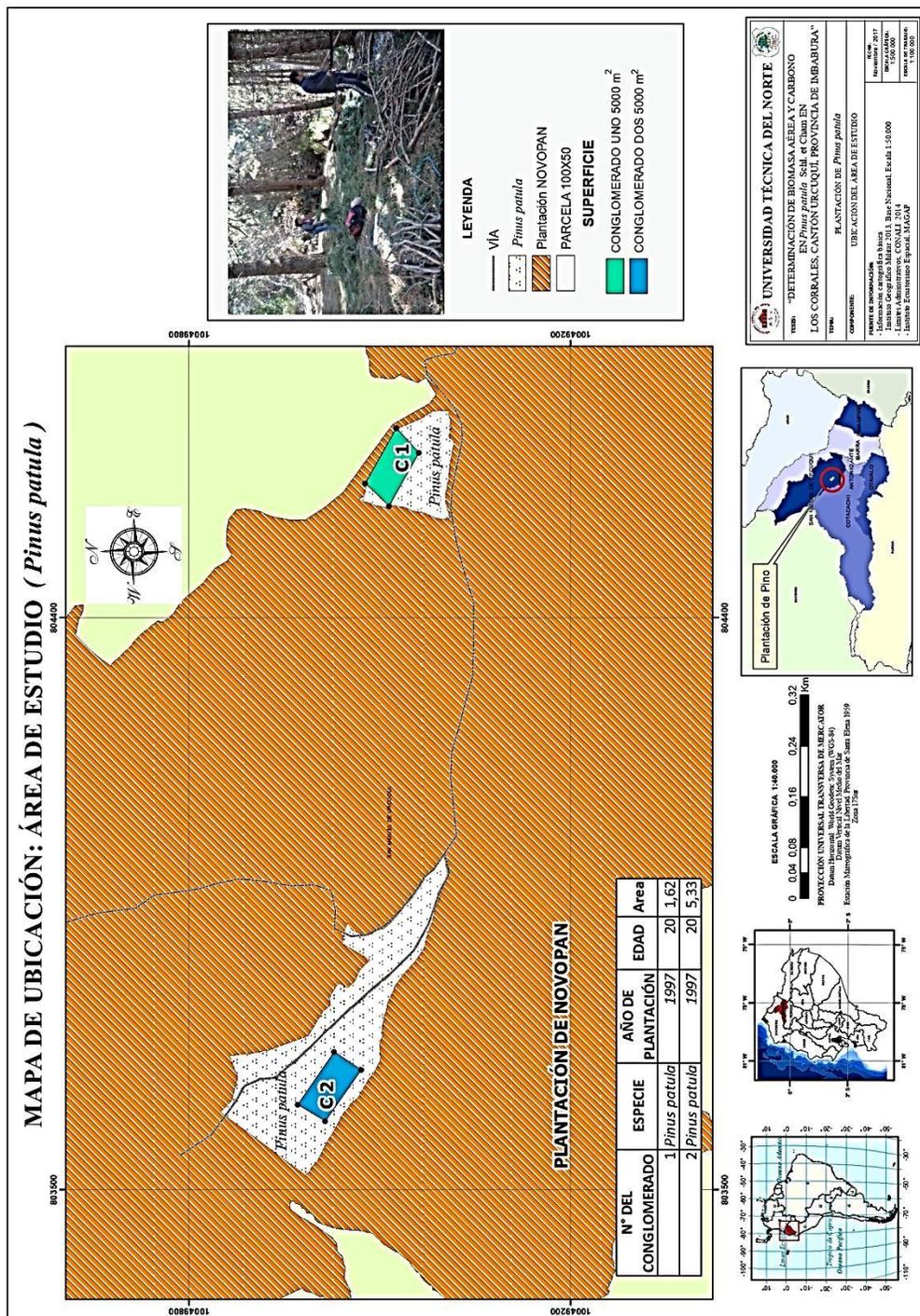
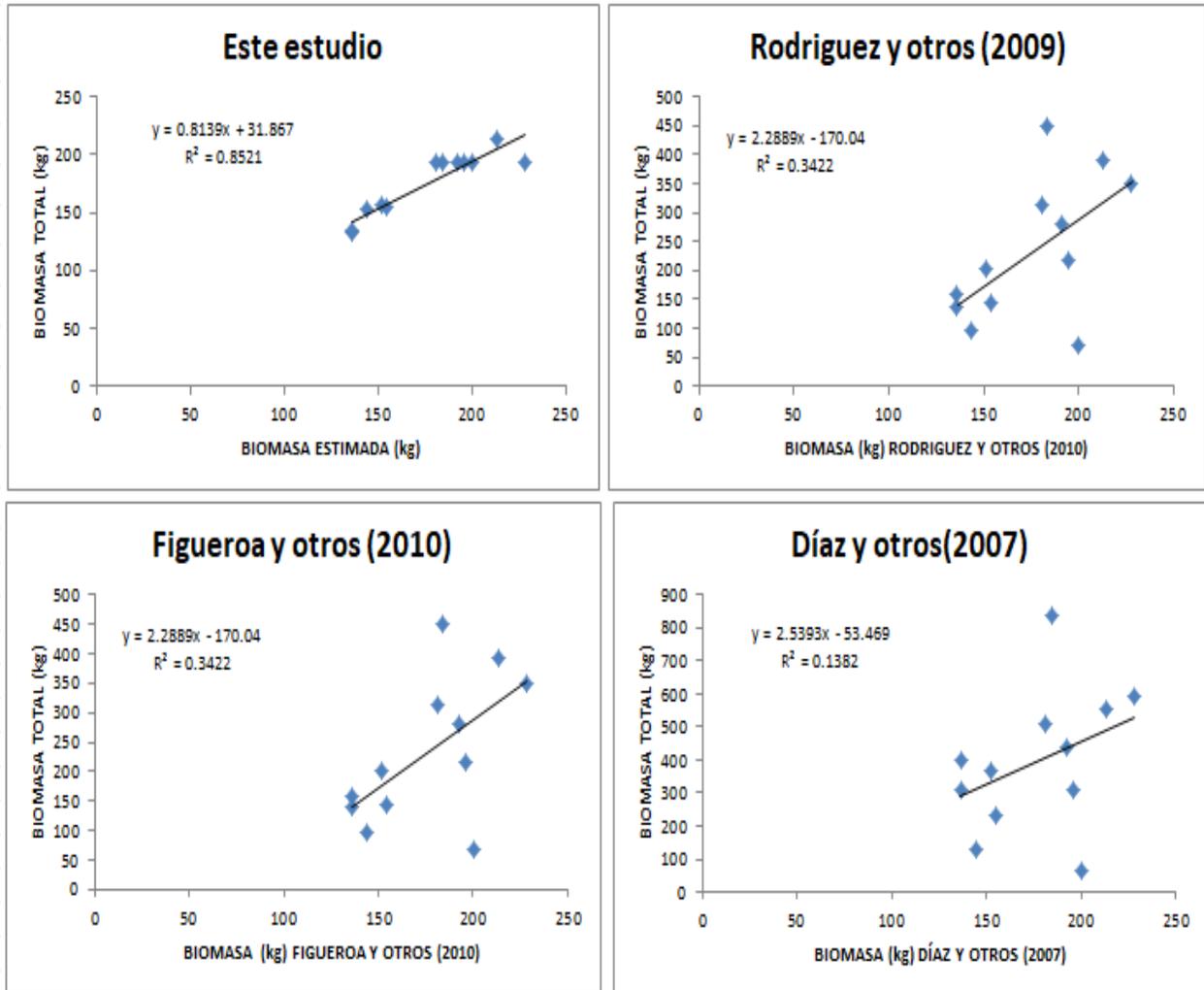
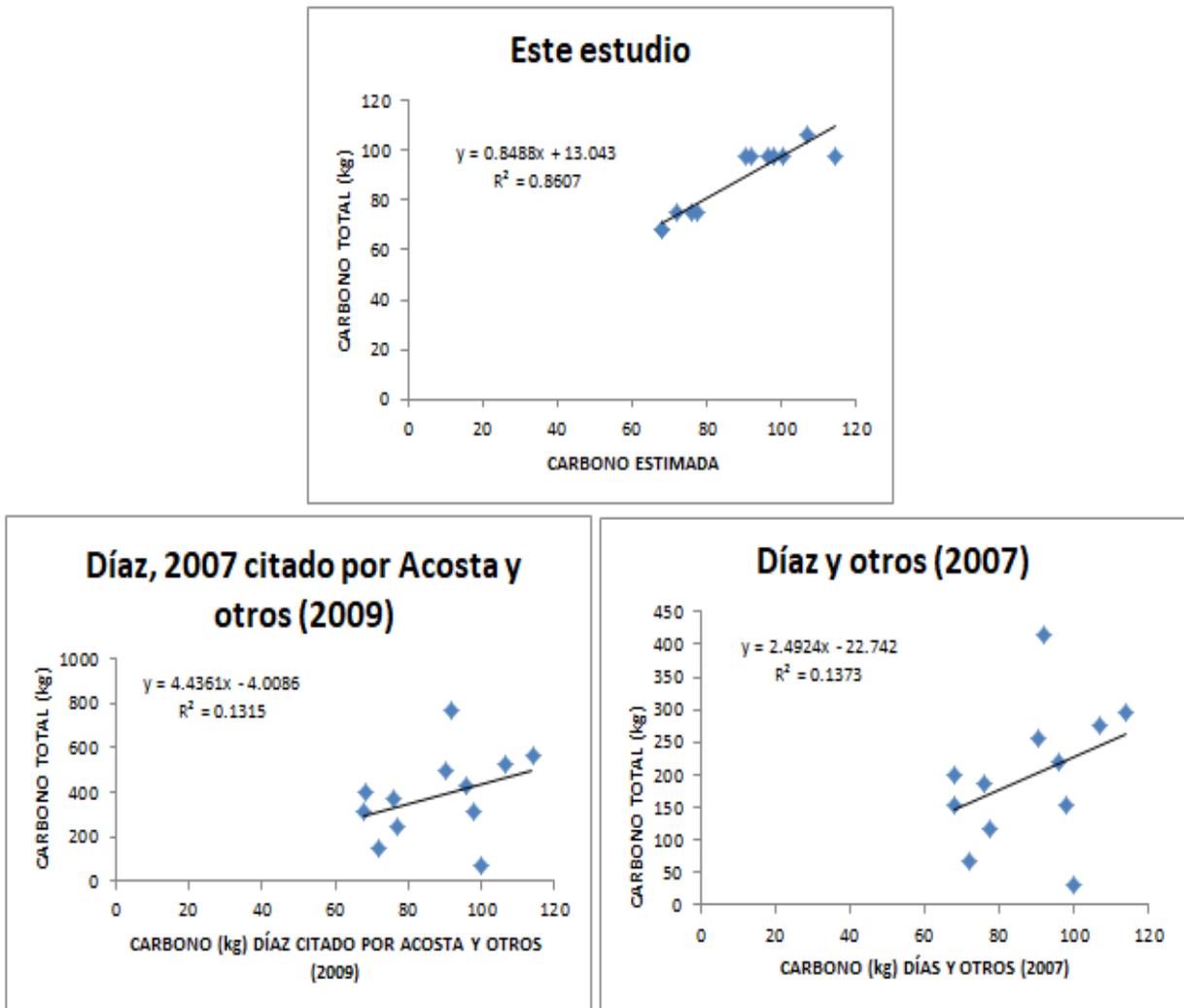


Figura A 2. Regresión entre biomasa observada vs. biomasa estimada - *Pinus patula*



Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar.

Figura A 3. Regresión entre CC observado versus. CC estimado -*Pinus patula*



Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar.

7.2 Anexo B- Tablas

Tabla B1.

Estadística descriptiva de los árboles apeados

Estimador	DAP	HT	Biomasa Total	Carbono Total
N	12	12	12	12
Mínimo	0,16	8,00	136,18	68,09
Máximo	0,42	16,00	228,15	114,08
Media	0,31	12,21	176,50	88,25
Error estándar de la media	0,02	0,68	8,99	4,50
Desviación estándar	0,07	2,34	31,14	15,57
Coefficiente de variación	23,31	19,17	17,64	17,64

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Tabla B2.

Biomasa aérea y carbono aéreo por conglomerado y ha de Pinus patula

	Conglomerado 1	Conglomerado 2	Total/ha
Superficie (ha)	0,50		1
Número de individuos	389	213	602
Biomasa aérea (kg/ parc)	62913,57	35179,77	98093,35
Biomasa aérea (Ton/parcela)	62,91	35,18	98,09
Carbono aéreo (kg/parcela)	30338,56	17130,13	47468,69
Carbono aéreo (Ton/parcela)	30,34	17,13	47,47

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Tabla B3.*Biomasa total, estimada y sus diferencias – Pinus patula*

N	Biomasa total	Biomasa estimada		Rodríguez y otros (2009)		Figuroa y otros (2010)		Díaz y otros (2007)	
		BTest	BT - BTest	BTest	BT – Btest	BTest	BT – Btest	BTest	BT - BTest
1	213,45	213,91	-0,46	550,33	-336,87	391,64	-178,19	551,58	-338,13
2	192,30	193,56	-1,26	331,14	-138,84	279,19	-86,89	436,42	-244,11
3	184,01	192,88	-8,87	533,45	-349,44	449,00	-264,99	835,23	-651,22
4	154,55	154,63	-0,08	137,86	16,69	143,80	10,75	229,73	-75,18
5	181,11	193,41	-12,31	372,00	-190,89	313,40	-132,30	511,31	-330,20
6	228,15	193,30	34,85	415,20	-187,05	349,63	-121,48	593,80	-365,65
7	136,26	132,62	3,63	110,73	25,52	157,89	-21,63	401,73	-265,47
8	200,22	194,37	5,86	79,14	121,09	69,63	130,59	62,18	138,04
9	151,92	156,74	-4,82	195,19	-43,27	202,22	-50,30	368,82	-216,90
10	136,18	133,83	2,36	102,75	33,43	138,44	-2,26	308,22	-172,03
11	195,65	193,76	1,89	256,48	-60,83	216,80	-21,15	308,22	-112,57
12	144,15	153,17	-9,02	90,37	53,78	95,63	48,53	129,29	14,87
Σ			11,78		-1056,69		-689,31		-2618,56
\bar{x}	176,50	175,52		264,55		233,94		394,71	

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Tabla B4.*Contenido de carbono total, estimado y sus diferencias - Pino*

N	Carbono	Carbono estimado		Díaz y otros (2007)		Díaz, 2007 citado por Acosta y otros (2009)		Montoya (2017)	
		Cest	C - Cest	Est	C – Est	Est	C – Est	Est	C - Est
1	106,73	106,73	0,00	274,66	-167,93	529,94	-423,21	-51,85	158,58
2	96,15	97,89	-1,74	218,19	-122,04	429,77	-333,62	-162,29	258,44
3	92,01	97,88	-5,87	412,93	-320,92	768,12	-676,11	-141,05	233,06
4	77,27	75,05	2,22	116,14	-38,87	242,06	-164,79	-240,63	317,90
5	90,55	97,89	-7,34	254,94	-164,39	495,19	-404,64	-158,01	248,56
6	114,08	97,89	16,19	295,30	-181,22	566,08	-452,00	-153,48	267,56
7	68,13	68,20	-0,07	201,14	-133,01	399,08	-330,95	-417,23	485,36
8	100,11	97,91	2,20	32,15	67,96	75,20	24,91	-188,50	288,61
9	75,96	75,05	0,91	184,94	-108,98	369,71	-293,75	-259,21	335,17
10	68,09	67,99	0,10	155,03	-86,94	314,86	-246,77	-353,73	421,82
11	97,82	97,90	-0,08	155,03	-57,21	314,86	-217,04	-170,09	267,91
12	72,08	75,06	-2,98	66,01	6,07	144,74	-72,66	-225,31	297,39
Σ			3,55		-1307,47		-3590,63		3580,36
\bar{x}	88,25	87,95		197,20		387,47		-210,11	

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Tabla B5.

Modelos alométricos construidos para biomasa aérea

Modelo	Ecuación	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Criterio de información de Akaike	% observados vs estimados	Σ desviaciones de estimación	r ² (%observados vs estimados)
1	$Biomasa = \frac{1}{0,009 - 2,145 \times 10^{-5} ht^2 - 0,00040 dap^2 + 1,622 \times 10^{-8} ht^2 * \ln dapht + 1,3120 \times 10^{-10} e^{ht}}$,946a	0.895	0.835	0.000	-183.838	83.333	10.26	0.84
2	$Biomasa = \frac{1}{0,010 + 1,140 \times 10^{-10} e^{ht} - 0,010 dap^2 - 2,622 \times 10^{-5} ht^2 + 5,361 \times 10^{-5} dap^2 * ht^2}$,947a	0.897	0.839	0.000	-184.080	91.667	11.78	0.85
3	$Biomasa = \frac{1}{0,013 - 3,793 \times 10^{-5} ht^2 - \frac{0,205}{dap^2 + ht^2} + 0,001 dap^2 + 2,487 \times 10^{-5} e^{ht}}$,961a	0.923	0.879	0.000	-184.080	83.333	24.13	0.84
4	$Biomasa = \frac{1}{0,142 + 8,475 \times 10^{-5} ht^2 - 0,028 \ln ht^2 - \frac{1,672}{dap + ht^2}}$,957a	0.916	0.884	0.000	-184.092	83.333	-16.92	0.42
5	$Biomasa = \frac{1}{0,013 - 3,674 \times 10^{-5} ht^2 + 2,429 \times 10^{-10} e^{ht} - \frac{0,193}{dap^2 + ht^2}}$,960a	0.922	0.892	0.000	-184.080	83.333	-22.51	0.78
6	$Biomasa = \frac{1}{0,024 - 4,316 \times 10^{-5} ht^2 - \frac{0,057}{\ln dap^2 + ht^2} + 2,572 \times 10^{-10} e^{ht} + \frac{0,005}{ht^2 * \ln dap * ht}}$,960a	0.922	0.877	0.000	-184.080	83.333	7.10	0.86
7	$Biomasa = \frac{1}{0,046 + 8,205 \times 10^{-6} ht^2 + 0,047 dap^2 + 2,181 \times 10^{-5} ht^2 * \ln dap - 0,31 e^{dap}}$,957a	0.915	0.867	0.000	-184.080	83.333	-2.99	0.79
8	$Biomasa = \frac{1}{0,012 + 2,678 \times 10^{-5} ht^2 + 1,915 \times 10^{-5} dap^2 + 2,409 \times 10^{-5} ht^2 * \ln dap - 0,002 \ln dap^2 * ht^2}$,950a	0.903	0.847	0.000	-184.080	75	-3.91	0.92
9	$Biomasa = \frac{1}{0,012 + 1,313 \times 10^{-10} e^{ht} + 0,000 dap^2 - 2,142 \times 10^{-5} ht^2}$,946a	0.895	0.856	0.000	-184.080	0	2119.53	0.39
10	$Biomasa = \frac{1}{0,11 - \frac{0,091}{ht^2 * \ln dapht} - 0,002 dap^2 + 2,026 \times 10^{-10} e^{ht} - 3,035 \times 10^{-5} ht^2}$,953a	0.909	0.857	0.000	-184.080	75	22.34	0.83

Activar Windows

11	$\text{Biomasa} = \frac{1}{0,009 - 2,135 \times 10^{-5} ht^2 + 1,334 e^{ht} - 0,001 dap}$,947a	0.897	0.858	0.000	-184.080	75	19.72	0.82
12	$\text{Biomasa} = \frac{1}{0,010 - \frac{0,064}{ht^2 + \ln dap ht} + 1,788 \times 10^{-10} e^{ht} - 2,803 \times 10^{-5} ht^2}$,951a	0.904	0.868	0.000	-184.080	75	21.45	0.83
13	$\text{Biomasa} = \frac{1}{0,453 - \frac{0,916}{\ln dap^2 + ht^2} + 0,000 dap^2 + ht^2 - 0,056 \ln ht^2}$,956a	0.914	0.882	0.000	-184.080	75	92.29	0.86
14	$\text{Biomasa} = \frac{1}{-0,160 + \frac{0,893}{\ln dap^2 + ht^2} + 6,542 \times 10^{-5} ht^2 - \frac{3,303}{dap + ht^2}}$,957a	0.917	0.885	0.000	-184.080	75	-39.44	0.64
15	$\text{Biomasa} = \frac{1}{0,055 + 1,868 \times 10^{-10} e^{ht} - 0,018 \ln ht - \frac{0,694}{dap^2 + ht^2}}$,959a	0.921	0.891	0.000	-184.080	75	-3.33	0.86
16	$\text{Biomasa} = \frac{1}{0,024 - \frac{0,029}{\ln dap^2 + ht} - 4,409 \times 10^{-5} ht^2 + 2,623 \times 10^{-10} e^{ht}}$,960a	0.922	0.893	0.000	-184.080	0	2117.98	0.39
17	$\text{Biomasa} = \frac{1}{0,049 - 5,171 \times 10^{-5} ht^2 + 0,056 dap^2 - 0,033 e^{dap} + 1771 \times 10^{-5} ht^2 \ln dap ht + 5,814 \times 10^{-11} e^{ht}}$,972a	0.945	0.900	0.000	-184.080	66.67	18.56	0.81
18	$\text{Biomasa} = \frac{1}{0,055 - 5,926 \times 10^{-5} ht^2 + 0,59 dap^2 - 0,037 e^{dap} + 2,326 \times 10^{-5} ht^2 \ln dap ht}$,970a	0.941	0.907	0.000	-184.080	66.67	-21.38	0.82
19	$\text{Biomasa} = \frac{1}{-0,004 + 2,636 \times 10^{-10} e^{ht} - 0,00005 ht^2 + 0,007 \ln ht}$,960a	0.922	0.892	0.000	-184.080	75	33.16	0.83
20	$\text{Biomasa} = \frac{1}{0,009 - 2,151 \times 10^{-5} ht^2 + 1,307 \times 10^{-10} e^{ht}}$,946a	0.895	0.872	0.000	-184.080	75	19.85	0.83

Activar Windows

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

Tabla B6.

Modelos alométricos construidos para carbono aéreo

Modelo	Ecuación	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Criterio de información de Akaike	% observados vs estimados	Σ desviaciones de estimación	r ² (% observados vs estimado)
1	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,018 - 4,289 \times 10^{-5} ht^2 + 2,623 e^{ht} - 0,001 dap^2 + 3,242 \times 10^{-8} ht^2 + lndapht}$,946a	0.895	0.835	0.001	-167.445	83.333	5.131	0.842
2	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,020 - 5,244 \times 10^{-5} ht^2 + 2,280 \times 10^{-10} e^{ht} - 0,019 dap^2 + 0,000 dap^2 + ht^2}$,947a	0.897	0.839	0.001	-167.445	91.667	5.888	0.852
3	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,014 - 4505 \times 10^{-5} ht^2 + 2,865 \times 10^{-10} e^{ht} + 0,013 dap^2 - 0,002 lndap}$,948a	0.900	0.842	0.001	-167.445	83.333	4.205	0.836
4	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,010 + 0,000 ht^2 - \frac{0,149}{dap^2 + ht^2} - 2,564 dap * ht^2 + 6,872 \times 10^{-5} ht^2 * lndap * ht - 0,006 lndap^2}$,953a	0.919	0.852	0.001	-167.445	91.667	3.164	0.853
5	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,007 + 0,00 ht^2 - \frac{0,145}{dap^2 + ht^2} + 7,088 \times 10^{-5} ht^2 * lndapht - 0,007 lndap^2 + 0,10 dap^2}$,960a	0.921	0.856	0.001	-167.445	91.667	2.539	0.851
6	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,018 - 4,270 \times 10^{-5} ht^2 + 2,66 \times 10^{-10} e^{ht} - 0,001 dap}$,947a	0.897	0.858	0.001	-167.445	83.333	5.060	0.840
7	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,091 - 0,061 e^{dap} + 1,641 \times 10^{-5} ht^2 + 4,362 \times 10^{-5} ht^2 * lndap + 0,093 dap^2}$,957a	0.915	0.867	0.001	-167.445	83.333	-1.497	0.794
8	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,021 - \frac{0,127}{ht^2 * lndapht} + 3,575 \times 10^{-10} e^{ht} - 5,606 \times 10^{-5} ht^2}$,951a	0.904	0.868	0.001	-167.445	83.333	4.470	0.847
9	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,047 - 8,614 \times 10^{-5} ht^2 - \frac{0,111}{lndap^2 + ht^2} + 5,148 \times 10^{-10} e^{ht}}$,960a	0.922	0.892	0.001	-167.445	83.333	3.550	0.861
10	$\text{Carbono} = \frac{1}{-0,320 - \frac{6,606}{dap + ht^2} + 0,000 ht^2 + \frac{1,786}{lndap^2 + ht^2}}$,957a	0.917	0.885	0.001	-167.445	83.333	3.809	0.858

11	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,049 - 8,928 \times 10^{-5} ht^2 - \frac{0,118}{\ln dap^2 + ht^2} + 5,280 \times 10^{-5} e^{ht} + 0,002 dap^2}$,961a	0.923	0.879	0.001	-167.445	83.333	3.424	0.862
12	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,025 + 4,858 \times 10^{-10} e^{ht} - \frac{0,386}{dap^2 + ht^2} - 7,347 \times 10^{-5} ht^2}$,960a	0.922	0.892	0.001	-167.445	83.333	3.557	0.861
13	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,026 + 4,974 \times 10^{-10} e^{ht} + 0,002 dap^2 - \frac{0,411}{dap^2 + ht^2} - 7,586 \times 10^{-5} ht^2}$,961a	0.923	0.879	0.001	-167.445	83.333	3.429	0.862
14	$\text{Carbono} = 0,010 + 0,00 ht^2 - \frac{0,147}{dap^2 + ht^2} + 6,831 \times 10^{-5} ht^2 * \ln dapht - 0,006 \ln dap^2$,959a	0.919	0.873	0.001	-167.445	0.000	1059.600	0.675
15	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,058 + 3,07 \times 10^{-10} e^{ht} - 0,34 e^{dap} - 4,690 ht^2 + 0,079 dap^2}$,960a	0.921	0.876	0.001	-167.445	66.667	0.077	0.815
16	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,922 - 0,113 \ln ht^2 + 0,00 dap^2 + ht^2 - \frac{1,871}{\ln dap + ht^2}}$,956a	0.914	0.882	0.001	-167.445	75.000	46.796	0.858
17	$\text{Carbono} = \frac{1}{-0,111 - \frac{1,388}{dap^2 + ht^2} + 3,3737 \times 10^{-10} e^{ht} - 0,036 \ln ht}$,959a	0.921	0.891	0.001	-167.445	75.000	-1.664	0.860
18	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,048 + 5,247 \times 10^{-10} e^{ht} - \frac{0,059}{\ln dap^2 + ht} - 8,817 \times 10^{-5} ht^2}$,960a	0.922	0.893	0.001	-167.445	0.000	1058.990	0.982
19	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,109 - 0,074 e^{dap} + 0,00 ht^2 + 0,118 dap^2 + 4,651 \times 10^{-5} ht^2 * \ln dapht}$,970a	0.941	0.907	0.001	-167.445	66.667	2297.888	0.294
20	$\text{Carbono} = \frac{1}{0,021 - 5,606 \times 10^{-5} ht^2 + 3,575 \times 10^{-10} e^{ht} - \frac{0,127}{ht^2 * \ln dapht}}$,951a	0.904	0.868	0.001	-167.445	0.000	-46646.828	0.232

Elaborado por: Mirian Elizabeth Medina Salazar

7.3 Anexo C - Ilustraciones



Ilustración C 1. Plantación de *Pinus patula*



Ilustración C 2. Determinación de rumbos en el establecimiento de las parcelas

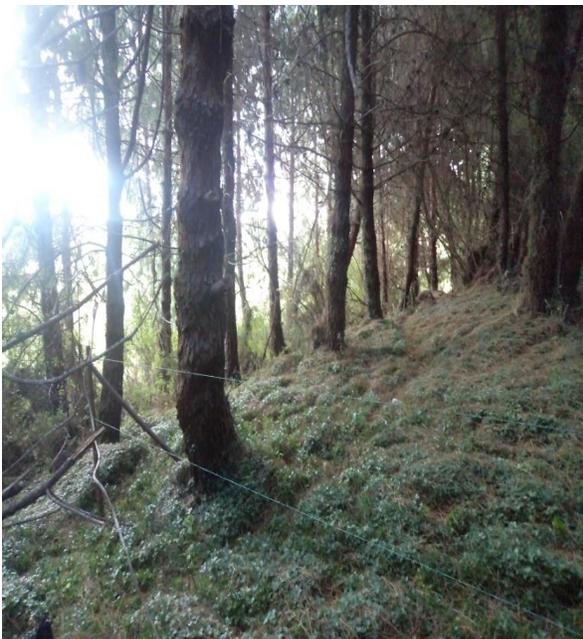


Ilustración C 3. Delimitación de las parcelas



Ilustración C 4. Medición de árboles



Ilustración C 5. Marcación de árboles



Ilustración C 6. Apeo de árboles



*Ilustración C 7. Extracción de material vegetal
(madera)*



*Ilustración C 8. Extracción de material vegetal (ramas
y hojas)*



Ilustración C 9. Pesaje de material vegetal



Ilustración C 10. Etiquetado de material vegetal



Ilustración C 11. Troceado de material vegetal



Ilustración C 12. Pesaje de material vegetal



Ilustración C 13. Secado de material vegetal