



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
UNIDAD DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previa la
obtención del Grado Académico de
Magíster en Gestión Ambiental

TEMA

**DINÁMICA DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN
PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (*Gmelina arborea*
Roxb), CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO, PERIODO
2012 – 2018.**

AUTOR

ING. SANTIAGO MANUEL ALMEIDA COLLAGUAZO

DIRECTOR

ING. PEDRO SUATUNCE CUNUHAY, M. Sc.

QUEVEDO – ECUADOR

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previa la
obtención del Grado Académico de
Magíster en Gestión Ambiental

TEMA

**DINÁMICA DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN
PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (*Gmelina arborea*
Roxb), CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO, PERIODO
2012 – 2018.**

AUTOR

ING. SANTIAGO MANUEL ALMEIDA COLLAGUAZO

DIRECTOR

ING. PEDRO SUATUNCE CUNUHAY, M.SC.

QUEVEDO – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN

Yo, **Ing. Pedro Suatunce Cunuhay, M. Sc.**, en calidad Director del Proyecto de investigación, previa la obtención del Grado Académico de **Magíster en Gestión Ambiental**.

CERTIFICO:

Que el **Ing. Santiago Manuel Almeida Collaguazo**, autor de la investigación titulada: **“DINÁMICA DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (*Gmelina arborea* Roxb), CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO, PERIODO 2012 – 2018”**, ha sido revisada en todos sus componentes, por lo que autorizo su presentación para ser sometido a evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.



Ing. Pedro Suatunce Cunuhay, M.Sc.
DIRECTOR DE LA TESIS

AUTORÍA

Yo, ING. SANTIAGO MANUEL ALMEIDA COLLAGUAZO, autor del presente perfil de investigación denominado **“DINÁMICA DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (*Gmelina arborea* Roxb), CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO, PERIODO 2012 – 2018”**, declaro que los datos contenidos en el mismo, son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Quevedo, junio 17 de 2019



Ing. Santiago Manuel Almeida Collaguazo

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha concedido la vida y la dicha de haber culminado una meta más en mí vida.

A la memoria de mi hermana Elizabeth y a los pilares fundamentales de mi vida mis amados padres Viterbo y Griselda, mis hermanos Gabriel y Juan Carlos y para los amores de mi vida, mi hija Doménica, mi esposa Gaby y mi sobrina Melanie quienes con su apoyo, paciencia y consejos me han acompañado a lo largo de ésta nueva etapa en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios por darme su bendición, iluminarme y permitir que junto a mí estuvieran las personas indicadas que se convirtieron en mi inspiración, para cumplir una meta más en mi vida y carrera profesional.

A mis padres por su amor, cariño, constancia y apoyo incondicional ya que sin ellos nada de esto habría sido posible.

A mis hermanos y en especial a mi hermana Elizabeth que desde el cielo continúa cuidándome y me da fortaleza en cada paso que doy.

A mi amada hija Doménica que desde siempre es y será mi mayor felicidad.

A mi esposa Gaby por estar siempre junto a mí y brindarme su apoyo y amor incondicional.

A mi amigo Ing. Jorge Merino que aún a la distancia me apoyo con sus conocimientos profesionales.

A mi colega y compañero Ing. Marco Rodríguez por compartir sus experiencias y conocimientos relacionados a mi tema de tesis.

A la Unidad de posgrados, Maestría en Gestión Ambiental, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Al Ing. Pedro Suatunce Cunuhay, M.Sc.; Director de tesis, quien me ha orientado en la realización de este proyecto.

A la Empresa SERAGROFOREST.SA “Hda. Pitzarà” por haberme facilitado sus instalaciones y experiencia para realizar este trabajo de titulación.

PRÓLOGO

Las plantaciones forestales proveen bienes y servicios ecosistémicos como la captura de carbono (C) a través de la biomasa; esto permite vender derechos al C fijado en la biomasa producida (bonos de C). La captura neta de C atmosférico depende principalmente del rendimiento de la plantación y la variación del precio de emisiones de C futuras. Es por esta razón que a la empresa a través de su personal técnico, plantea desarrollar la presente investigación denominada: Dinámica de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de melina (*Gmelina arborea* Roxb), cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018; a fin de obtener información fiable y oficial respecto a la captura y almacenamiento de C en cada uno de los compartimentos propuestos por el IPCC en el 2007. En primera instancia el autor desarrolla un marco teórico, en donde expone la importancia de las plantaciones forestales y la función que cumplen al momento de interactuar con los ecosistemas que lo rodean. Una de estas funciones es la regulación hídrica, reducción de la erosión, purificación del aire y un servicio ambiental que está recibiendo cada vez más atención es la capacidad que tiene las plantaciones para almacenar el CO₂ proveniente de la atmósfera, en el fuste, ramas, raíces, sotobosque, *detritus no vivo* y el suelo. El presente estudio al tratarse de un trabajo que demanda mucho análisis en campo y laboratorio, el autor ha desarrollado una metodología robusta, con el propósito de dar mayor soporte a la investigación. La información recopilada le permitió generar resultados alentadores, los mismos que han sido analizados e interpretados de manera correcta. Uno de los resultados más representativos en esta investigación es la captura de C en cada uno de los compartimentos los mismos que están reportados de la siguiente manera: BA 195,53 MgC/ha⁻¹; BS 52,79 MgC/ha⁻¹; SOTB 2,61 MgC/ha⁻¹; DNV 2,87 y suelo 471,88 MgC/ha⁻¹. Con esta información le permitió generar la valoración económica del servicio de secuestro de C, en US\$ 11087,89 ha⁻¹, indicando que este tipo de sistemas resulta importante al momento de generar alternativas de mitigación frente a efectos del cambio climático.



Ing. Mauricio Tapia
JEFE DE ZONA PITZARÁ
SERAGROFOREST S.A.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la dinámica de almacenamiento de carbono (C) en plantaciones forestales de melina (*Gmelina arborea* Roxb), cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 - 2018. Se establecieron 15 parcelas permanentes de muestreo (PPM) de 1000 m² y en cada una se estableció 2 sub-parcelas, una de 2x2m para medición de biomasa de sotobosque (SOTB) y una de 50x50cm para detritus no vivo (DNV). Las muestras de suelo fueron recolectadas en cinco puntos dentro de la PPM, a dos profundidades 0-30 cm y 30 a 60 cm. Los parámetros analizados fueron: pH, densidad aparente, color, textura, estructura materia orgánica y carbono orgánico total (COT). Los valores obtenidos de biomasa aérea (BA) y subterránea (BS) en el año 1 es de 5,33 MgC/ha⁻¹ y 1,44 MgC/ha⁻¹ y en el año 6 incrementa a 195,40 MgC/ha⁻¹ a 52,76 MgC/ha⁻¹ respectivamente. El C capturado por la hojarasca y DNV fue relativamente moderada (rango 2,11 - 4,46 MgC/ha⁻¹), con un promedio de 2,87 MgC/ha⁻¹, en SOTB, fue de 2,61 MgC/ha⁻¹ y en el suelo: 0 a 30 cm 247,90 MgC/ha⁻¹ y 30 a 60 cm 223,58 MgC/ha⁻¹. En promedio de COT en el área de estudio almacena 725,68 MgC/ha⁻¹, los cuales están distribuidos de la siguiente manera: BA 195,53 MgC/ha⁻¹ que representa el 26,94%; BS 52,79 MgC/ha⁻¹ con el 7,27%; SOTB 2,61 MgC/ha⁻¹ con el 0,36%; DNV 2,87 con el 0,40% y suelo 471,88 MgC/ha⁻¹ que representa el 65,03%. La valoración económica del servicio de secuestro de carbono es de US\$ 11087,89 ha⁻¹; donde el suelo proporciona la mayor cantidad de carbono almacenado con un 65,03 %; seguido de la biomasa aérea 26,94 %; subterránea 7,27 % y en menor proporción el detritus no vivo 0,40% y sotobosque 0,36%. Este tipo de sistemas resulta importante al momento de generar alternativas de mitigación frente a efectos del cambio climático.

Palabras clave: Biomasa aérea y subterránea, cambio climático, carbono orgánico del suelo, plantaciones forestales, valoración de servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the carbon storage dynamics (C) in Melina forest plantations (*Gmelina arborea* Roxb), Pedro Vicente Maldonado canton, and period 2012 - 2018. 15 permanent sampling plots (PPM) of 1000 were established m² and in each one 2 sub-plots were established, one of 2x2m for measurement of understory biomass (SOTB) and one of 50x50cm for detritus not alive (DNV). The soil samples were collected at five points within the PPM, at two depths 0-30 cm and 30 to 60 cm. The analyzed parameters were pH, apparent density, color, texture, organic matter structure and total organic carbon (TOC). The values obtained from aerial biomass (BA) and ground biomass (BS) in year 1 is 5.33 MgC / ha-1 and 1.44 MgC / ha-1 and in year 6 it increases to 195.40 MgC / ha -1 to 52.76 MgC / ha-1 respectively. The C captured by leaf litter and DNV was relatively moderate (range 2.11 - 4.46 MgC / ha-1), with an average of 2.87 MgC / ha-1, in SOTB, it was 2.61 MgC / ha-1 and on the ground: 0 to 30 cm 247.90 MgC / ha-1 and 30 to 60 cm 223.58 MgC / ha-1. On the average of TOC in the study area stores 725.68 MgC / ha-1, which are distributed as follows: BA 195.53 MgC / ha-1 representing 26.94%; BS 52.79 MgC / ha-1 with 7.27%; SOTB 2.61 MgC / ha-1 with 0.36%; DNV 2.87 with 0.40% and soil 471.88 MgC / ha-1 representing 65.03%. The economic valuation of the carbon sequestration service is US \$ 11087.89 ha-1; where the soil provides the greatest amount of carbon stored with 65.03%; followed by aerial biomass 26.94%; 7.27% underground and to a lesser extent the detritus did not live 0.40% and undergrowth 0.36%. This type of systems is important when generating alternatives for mitigation against the effects of climate change.

Key words: Aerial and subterranean biomass, climate change, soil organic carbon, forest plantations, valuation of ecosystem services.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	iv
AUTORÍA.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
PRÓLOGO	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
TABLA DE CONTENIDO	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. CONTEXTUALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	2
1.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA.....	3
1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas derivados.....	4
1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.5. OBJETIVOS	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL	8
2.1.1. Biomasa	8
2.1.2. Biomasa aérea.....	8
2.1.3. Biomasa de las raíces.....	8
2.1.4. Hojarasca	8
2.1.5. Carbono fijado	8
2.1.6. Dinámica de carbono	8
2.1.7. Almacenamiento de carbono	9
2.1.8. El dióxido de carbono.....	10
2.1.9. Cambio climático.....	10
2.1.10. Gases de efecto invernadero	11
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12

2.2.1.	El cambio climático	12
2.2.2.	Historia del cambio climático	12
2.2.3.	Impactos del cambio climático	13
2.2.4.	Ciclo del carbono.....	14
2.2.5.	Carbono en ecosistemas forestales	15
2.2.6.	Biomasa arbórea	16
2.2.7.	Biomasa arbórea frente al cambio climático	17
2.2.8.	Métodos para estimar la biomasa arbórea	18
2.2.9.	Método destructivo	18
2.2.10.	Método indirecto.....	18
2.2.11.	Captura y almacenamiento de carbono.....	19
2.2.12.	Bosque nativo	19
2.3.	FUNDAMENTACIÓN LEGAL	20
2.3.1.	Reconocimiento internacional al fenómeno del cambio climático.....	20
2.3.2.	La convención marco de naciones unidas sobre cambio climático (UNFCCC)	21
2.3.3.	El protocolo de KIOTO	21
2.3.4.	Constitución de la República del Ecuador.....	22
2.3.5.	Código orgánico del ambiente	22
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		24
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
3.2.	MÉTODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	25
3.3.	CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN	26
3.3.1.	Población y muestra.....	26
3.3.2.	Técnicas de investigación	29
3.3.3.	Instrumentos de la investigación	29
3.4.	ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO.....	30
3.5.	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	30
3.5.1.	Trazado e instalación de las parcelas.....	30
3.5.2.	Mediciones y observaciones en las parcelas.....	31
3.5.2.1.	<i>Acceso a la parcela.....</i>	31
3.5.3.	Levantamiento de datos en la parcela.....	31
3.5.3.1.	<i>Medición de diámetros de árboles vivos y muertos en pie</i>	31
3.5.3.2.	<i>Medición de alturas de árboles vivos y muertos en pie.....</i>	32
3.5.3.3.	<i>Medición de hojarasca y detritus no vivo.....</i>	32
3.5.3.4.	<i>Observaciones y muestras de suelo</i>	34

3.5.3.5. Medición de biomasa de SOTB	36
3.5.4. Manejo y envío de muestras al laboratorio.....	37
3.5.5. Análisis de muestras en laboratorio.....	37
3.5.6. Secado en laboratorio y determinación de materia seca.....	37
3.5.7. Cálculo de la biomasa seca del fuste	37
3.5.8. Cálculos para estimar el carbono acumulado	38
3.5.9. Desechos de madera muerta (DMM).....	39
3.5.10. Carbono en el suelo	39
3.5.11. Determinación de materia orgánica (MO) y contenido de carbono orgánico del suelo (COS).....	39
3.5.12. Método destructivo	41
3.5.13. Biomasa subterránea (raíces).....	45
3.5.13.1. Identificar el área de remoción de suelo	45
3.5.13.2. Extracción de la raíz.....	47
3.5.13.3. Limpiado de raíz	47
3.5.13.4. Medición y pesado de raíces.....	48
3.5.13.5. Extracción de muestras	49
3.5.14. Valoración económica	50
3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	51
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y SUBTERRÁNEA EN PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (<i>Gmelina arborea</i> ROXB), EN EL CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO.....	53
4.1.1. Inventario forestal.....	53
4.1.2. Carbono almacenado en la biomasa aérea.....	56
4.1.3. Carbono almacenado en la biomasa subterránea.....	59
4.1.4. Relación biomasa aérea y subterránea.....	61
4.2. CARBONO ALMACENADO EN LA HOJARASCA, <i>DETRITUS NO VIVO</i> Y EN LA BIOMASA DE SOTOBOSQUE, EN PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (<i>Gmelina arborea</i> ROXB), EN EL CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO	62
4.3. CARBONO FIJADO EN EL SUELO DE PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (<i>Gmelina arborea</i> ROXB), EN EL CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO	65
4.3.1. pH del suelo	65
4.3.2. Color	67
4.3.3. Textura.....	68
4.3.4. Estructura.....	69
4.3.5. Densidad aparente.....	69

4.3.6.	Carbono orgánico del suelo	71
4.3.7.	Carbono orgánico total	74
4.3.8.	Análisis estadístico de la variable carbono total en la zona de estudio	76
4.4.	VALOR ECONÓMICO DEL SERVICIO DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO APORTADO POR LA PLANTACIÓN FORESTALES DE MELINA (<i>Gmelina arborea</i> ROXB), EN EL CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO....	77
4.4.1.	Valoración económica de carbono.....	78
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		80
5.1.	CONCLUSIONES	81
5.2.	RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		84
ANEXOS.....		91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización de la hacienda Pitzarà	2
Tabla 2. Cálculo de intensidad de muestreo	27
Tabla 3. Implementación de parcelas permanentes de muestreo	28
Tabla 4. Radios de acción según DAP del árbol.....	46
Tabla 5. Valores promedio obtenidos en el inventario forestal, realizado en el rodal DA28 con plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	53
Tabla 6. Valores promedio obtenidos en el inventario forestal, realizado en el rodal DB32 con plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	54
Tabla 7. Valores promedio obtenidos en el inventario forestal, realizado en el rodal DC40 con plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	55
Tabla 8. Análisis estadístico	76
Tabla 9. Estimación del valor económico del servicio de secuestro de carbono aportado por la plantación forestal de melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb), cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del carbono.	15
Figura 2. Flujo y almacenamiento de carbono en un ecosistema forestal.	16
Figura 3. Ubicación del área de estudio en la hacienda Pitzará.....	26
Figura 4. Ubicación de rodales DA28, DB32, DC40	27
Figura 5. Diseño de las parcelas de muestreo.....	30
Figura 6. Parcelas permanentes de muestreo (Inventario forestal).....	31
Figura 7. Muestreo de hojarasca y detritus no vivo.....	32
Figura 8. Recolección de detritus no vivo.	33
Figura 9. Muestreo de suelos.	34
Figura 10. Recolección de muestras de suelo.....	35
Figura 11. Muestreo de SOTB.....	36
Figura 12. Recolección de SOTB.	37
Figura 13. Representación aérea de una zona de procesado y pesado.....	41
Figura 14. Corte del árbol.....	42
Figura 15. Desrame y trozado.....	42
Figura 16. Medición de tocón y altura del árbol.....	43
Figura 17. Muestras por componente.	44
Figura 18. Muestras de tocón.....	44
Figura 19. Eliminación de malezas del suelo.	45
Figura 20. Limpieza de raíz.	46
Figura 21. Extracción de raíz.....	47
Figura 22. Medición de la longitud de la raíz.	48
Figura 23. Pesaje de raíz.....	49
Figura 24. Carbono almacenado en la biomasa aérea en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb), rodal DA28.	56
Figura 25. Carbono almacenado en la biomasa aérea en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb), rodal DB32.....	57
Figura 26. Carbono almacenado en la biomasa aérea en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb), rodal DC40.....	58

Figura 27. Carbono almacenado en la biomasa subterránea en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb) Rodal DA 28.....	59
Figura 28. Carbono almacenado en la biomasa subterránea en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb) Rodal DB32.....	60
Figura 29. Carbono almacenado en la biomasa subterránea en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb) Rodal DC 40.....	61
Figura 30. Relación biomasa aérea y subterránea.....	62
Figura 31. Contenido de carbono de DNV en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	63
Figura 32. Contenido de carbono de SOTB en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	64
Figura 33. pH del suelo 0 a 30 cm.....	65
Figura 34. pH del suelo 30 a 60 cm.....	66
Figura 35. Color de los suelos bajo plantación forestal con relación al matiz 10YR....	67
Figura 36. Clases texturales del suelo bajo plantación forestal.....	68
Figura 37. Estructura del suelo de la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).	69
Figura 38. Densidad aparente del suelo a una profundidad de 0 a 30 cm en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).	70
Figura 39. Densidad aparente del suelo a una profundidad de 30 a 60 cm en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).	71
Figura 40. Carbono orgánico a una profundidad de 0 a 30 cm en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	72
Figura 41. Carbono orgánico a una profundidad de 30 a 60 cm en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	73
Figura 42. Carbono orgánico total en la plantación forestal de Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).	74
Figura 43. Precio sobre las emisiones de carbono.....	77
Figura 44. Variación del precio de emisiones de carbono futuras.....	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado del análisis del Sistema Urkund	92
Anexo 2. Implementación de la PPM, en la plantación forestal de melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	93
Anexo 3. Método destructivo de la plantación de melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb)	94
Anexo 4. Medición de SOTB, en la plantación de melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb)	96
Anexo 5. Medición de DNV, en la plantación forestal de melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb)	97
Anexo 6. Recolección de muestras de suelo en la plantación forestal de melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	98
Anexo 7. Análisis de muestras en laboratorio	99
Anexo 8. Base de datos.....	104

INTRODUCCIÓN

Ecuador uno de los países de Latino América, con un gran índice de deforestación, donde se han realizado diversos esfuerzos para reducir la deforestación, manejar y conservar los bosques, reforestar y establecer sistemas producción forestal. Estos esfuerzos además han originado el desarrollo sostenible a fin de contribuir con la política gubernamental mediante los incentivos forestales para promover plantaciones comerciales e industriales en nuestro país.

De esta manera, pequeños, medianos y grandes productores han jugado un papel importante en este logro nacional, pues las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales son actividades que producen madera, son rentables, diversifican la producción en las fincas y prestan servicios ambientales (Captura de carbono) que colaboran en la reducción del cambio climático, protegen la biodiversidad, el agua y generan belleza escénica (Rojas et al., 2004).

Ante éste panorama se buscan alternativas que brinden un beneficio económico a los productores de madera y a la vez un beneficio ambiental a la sociedad. La Hda. Pitzarà ubicada en el cantón Pedro Vicente Maldonado, provincia de Pichincha cuenta con una superficie de 8650 hectáreas en donde se cuenta con especies forestales para la producción industrial.

En esta investigación se determinó la dinámica de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* Roxb (melina) tanto en la biomasa aérea, biomasa subterránea, en la hojarasca del suelo y lo fijado en el suelo.

La investigación se encuentra segmentada por capítulos, siendo los siguientes:

En el primer capítulo, consta la ubicación y contextualización de la problemática, antecedentes de la investigación en lo que tiene que ver con las plantaciones forestales y la importancia de estas, en los servicios ambientales que prestan a la sociedad.

En el segundo capítulo el marco teórico de la investigación, consta de dos partes: marco conceptual donde se enlista las principales definiciones referentes al tema de investigación; en el marco teórico se encuentra las teorías sobre la captura y almacenamiento de carbono en las especies forestales.

En el tercer capítulo se describe la metodología, con los tipos de investigación, métodos, población y muestra para la obtención de datos, así como las fuentes y herramientas para la recopilación de información pertinente.

El cuarto capítulo se detalla la exposición, el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos en la presente investigación.

El quinto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones las mismas que responden a los objetivos planteados en el presente trabajo.

CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

“No vivas para que tu presencia se note, Vive para que tu presencia se sienta.”

Bob Marley.

1.1. CONTEXTUALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La presente investigación se realizó en la hacienda Pitzará, recinto Nueva Ecuador, cantón Pedro Vicente Maldonado, región sur occidental de la provincia de Pichincha, Ecuador. La hacienda posee un área de 8650 hectáreas, dedicadas a la producción de especies forestales como: Melina (*Gmelina arborea* Roxb) y Jacaranda (*Jacaranda copaia*). La producción de este tipo de especies es utilizada generalmente como materia prima para la industria de los tableros y pallets. Del total de hectáreas, tan solo 72,86 ha, que representa el 0,84% son consideradas para llevar a cabo el presente estudio (ver Tabla 3).

Los datos obtenidos de los anuarios de la estación meteorológica (M339 INHAMI 2018); presentan una temperatura media de 25 °C, con rangos de (24 a 26) °C; una precipitación de 3000 con rangos de (2000 a 4000) mm. La caracterización del uso de suelo actual y cobertura vegetal muestran en un 100% como zona intervenida; es por ello que dentro del sistema de clasificación del Ecuador continental se establece la categoría de INTERVENCIÓN; debido a que la zona se encuentra en áreas de alta disturbancia e intervención antrópica (MAE, 2012).

Los suelos del sector son de tipo Latosoles arcillo – rojizos, encontrándose en la mayor parte del área de estudio. Las clases texturales características son del tipo arcilloso a franco limoso.

Para la investigación se ha considerado evaluar la dinámica de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) en estado fustal de aproximadamente 6 años de edad; la misma que ha sido establecida a una altura de 186 - 526 m.s.n.m.

Tabla 1. Localización de la hacienda Pitzará

Localidad	Recinto	Área (ha)	Coordenadas UTM	
			X_COOR	Y_COOR
Hacienda Pzitará	Nueva Ecuador	8650	31334	711459

1.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA

Una de las principales causas del cambio climático son los gases de efecto invernadero concentrados en la atmósfera sin incluir la acción del hombre sobre otros recursos naturales renovables.

La protección de los bosques es un tema ecológico crítico que requiere ser apoyado en cualquier propuesta de mejoramiento ambiental por instrumentos económicos y jurídicos adecuados. Los bosques son de gran importancia en el tema de conservación ambiental porque, dependiendo de su manejo por parte del hombre, pueden cumplir doble función en relación con el cambio climático: Pueden ser a su vez una causa y una solución al problema. Pueden ser causa del problema porque la deforestación contribuye a la liberación del CO₂, el gas causante del daño actual en el planeta. Son también solución porque con la conservación y/o protección de los mismos se puede mitigar la emisión de gases de efecto invernadero. Tienen una importante función porque proveen servicios ambientales regulando el agua, reduciendo la erosión, limpiando el aire y creando un microclima. Recientemente un servicio ambiental de los bosques está recibiendo cada vez más atención: la capacidad de los bosques de almacenar el dióxido de carbono proveniente de la atmósfera, en su madera, ramas, raíces y en el suelo. Como el dióxido de carbono es un importante gas de efecto invernadero, la existencia de bosques puede mitigar los impactos del cambio climático. Cualquier acción que se adopte para contrarrestar el cambio climático deberá aprovechar la capacidad que tienen los bosques de capturar los gases de efecto invernadero que se concentran en la atmósfera (Muhammad Ibrahim et al., 2007).

1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la dinámica de almacenamiento de carbono en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) (Rodal - DA28 - DB32 y DC40) de la hacienda Pizará del cantón Pedro Vicente Maldonado, región sur occidental de la provincia de Pichincha, Ecuador?

1.3.2. Problemas derivados

- a. ¿Cuánto carbono es almacenado en la biomasa aérea y subterránea en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado?
- b. ¿Cuánto carbono es almacenado en la hojarasca, *detritus no vivo* y en la biomasa de sotobosque, en plantaciones forestales de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado?
- c. ¿Cuánto carbono queda almacenado en el suelo bajo plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado?
- d. ¿Cuál es el valor económico del servicio de almacenamiento de carbono aportado por la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018.

1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La hacienda Pitzarà del cantón Pedro Vicente Maldonado, pose un área de 8650 ha dedicadas a la producción especies forestales con fines industriales. Está ubicada en el área rural cuyo perímetro se encuentra en el sector Río Pitzarà, a su alrededor se encuentran los recintos: La Unidos I, La Unidos II, La nueva Ecuador, El cisne, Nueva Esperanza y La sexta. Es importante indicar que en el sector se encuentra establecida la industria de madera dedicada a la producción de tableros, así como también otras empresas dedicadas a la extracción de aceite de palma y procesamiento de palmito.

CAMPO:	Ciencias e ingeniería ambiental
ÁREA:	Forestal
LÍNEA:	Evaluación de la calidad del agua, aire y suelo, incluyendo las alternativas de mitigación a los impactos ambientales.
LUGAR:	Hacienda Pitzarà, Recinto Nueva Ecuador, cantón Pedro Vicente Maldonado
TIEMPO:	De Enero a Junio 2019

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

- Evaluar la dinámica de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de melina (*Gmelina arborea* Roxb), cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018.

1.5.2. Objetivos específicos

- a. Estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea y subterránea en plantaciones forestales de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado.
- b. Estimar el carbono almacenado en la hojarasca, *detritus no vivo* y en la biomasa de sotobosque, en plantaciones forestales de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado.
- c. Determinar el carbono fijado en el suelo bajo plantaciones forestales de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado.
- d. Estimar el valor económico del servicio de almacenamiento de carbono aportado por la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018.

1.6. JUSTIFICACIÓN

Ecuador tiene vastas extensiones de selva tropical. Esta riqueza en biodiversidad ofrece una amplia gama de actividades y usos de la tierra, que probablemente se verán afectados por el cambio climático.

El gobierno ecuatoriano declaró como Política de Estado la adaptación y mitigación del cambio climático; trabaja e impulsa iniciativas para reducir la vulnerabilidad del país frente a sus impactos, y reducir las emisiones en los sectores productivos y sociales. El desarrollo de capacidades nacionales y la evaluación de los flujos de inversión son herramientas clave para la planificación nacional y la gestión del cambio climático (M. Ibrahim & Mora, 2006; Locatelli & Sylvain, 2001; Rugnitz, Chacón, & Porro, 2009).

Al afectar a todos los grupos humanos y ecosistemas del planeta, el cambio climático constituye uno de los problemas ambientales globales más complejos y que mayores desafíos presenta a la sociedad como un todo.

La presente investigación se realizará con la finalidad de determinar la dinámica de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* Roxb en el cantón Pedro Vicente Maldonado y así cuantificar el aporte ambiental de las plantaciones forestales en la zona de estudio.

Finalmente, con los resultados de la investigación se beneficiará la empresa productora de madera y las comunidades que se encuentran cerca a la hacienda ya que podrán conocer el beneficio ambiental que de manera indirecta están recibiendo por parte de la empresa forestal que trabaja en la zona.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

“La tierra provee lo suficiente para satisfacer las necesidades de cada hombre, pero no la avaricia de cada hombre”

Mahatma Gandhi

2.1. FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL

2.1.1. Biomasa

El total de materia orgánica seca o el contenido almacenado de energía de los organismos vivos (Schlegel, Gayoso, & Guerra, 2000).

2.1.2. Biomasa aérea

Es la que conforma las estructuras leñosas aéreas de especies frutales, maderables y otros árboles y arbustos del sistema productivo (Schlegel et al., 2000).

2.1.3. Biomasa de las raíces

Esta la representan los sistemas radiculares, constituyen otro sumidero de carbono (Schlegel et al., 2000).

2.1.4. Hojarasca

Se refiere a la materia orgánica que se encuentra en diferentes proceso de descomposición (Rugnitz et al., 2009).

2.1.5. Carbono fijado

Se refiere a la cantidad de carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de captar en un período de tiempo determinado (Rugnitz et al., 2009).

2.1.6. Dinámica de carbono

La acumulación de materia orgánica (MO), es a menudo uno de los primeros procesos en la formación del suelo, y que a menudo alcanza un nivel constante. La MO se acumula cuando se incorpora material orgánico en el suelo, principalmente biomasa vegetal. Esto

permite suplir las pérdidas que se producen a través de la descomposición. El aumento de gases en la atmosfera como el CO₂ ha llevado a un mayor interés en cuantificar las reservas de carbono, especialmente en el suelo, debido su gran capacidad de almacenamiento (Fernando Paz, Bazan, Cuevas, & Saynes, 2013).

Es por ello que el suelo de los humedales tiene un mayor potencial de almacenamiento de carbono y tasas de secuestro más rápidas en comparación con otros suelos. Sin embargo, también tienen el potencial de convertirse en una gran fuente de gases de efecto invernadero (CO₂ y CH₄) debido a la gran reserva de carbono contenida en estos suelos (Gómez, Etchevers, Monterrosos, Campo, & Tinoco, 2011a; Locatelli & Sylvain, 2001).

La mayor parte de la biomasa vegetal (componentes de superficie y subterráneos) se agrega al suelo y sirve como la principal entrada de carbono orgánico en los suelos. La productividad primaria neta de las plantas es controlada por Factores abióticos y bióticos, incluido el contenido de humedad del suelo (duración y frecuencia de saturación), disponibilidad de nutrientes, clima (radiación solar, temperatura del aire / suelo), salinidad, acidez del suelo; así como un sinnúmero de otros factores (Rossi & Rabenhorst, 2019).

2.1.7. Almacenamiento de carbono

Los usos de tierra comprenden áreas de cultivo, plantas leñosas perennes, tal como bosques, plantaciones forestales y sistemas agroforestales, quienes ayudan a la reducción de gases de efecto invernadero. Todo esto es posible, gracias a que las plantas fijan el CO₂ y lo convierten en madera que está presente en el fuste y ramas. Además lo podemos encontrar en la biomasa, necromasa y suelo (Rodriguez & Gargua, 2013).

En base a lo anterior es importante destacar que la implementación de plantaciones forestales es una de las principales alternativas para reducir las emisiones de CO₂ (Forero, Santos, Andradre, & Madrigal, 2018). Por ello cada año se requerirían mucho más de 9,000 millones de hectáreas plantadas con árboles en desarrollo para compensar las emisiones de CO₂ y reponer los árboles muertos (Rodriguez & Gargua, 2013).

Las plantaciones forestales con fines comerciales de 6 a 30 años almacenan entre 0,03 y 0,11 Pg Mg C año, lo cual se convierte en un indicador que nos permitiría estabilizar las emisiones de CO₂ a causa de la deforestación y los cambios de usos de suelo producto de las actividades antrópicas (Hofstede, Groenendijk, Coppus, Fehse, & Sevink, 2002).

Además, es importante indicar que este tipo de proyectos fue acogido en la reunión del Protocolo de Kyoto, como un Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). Es por ello que la reforestación trae consigo impactos positivos generando ingresos económicos a través de la venta de bonos de carbono, producto de la implementación de plantaciones forestales (Forero, Santos, Andradre, & Madrigal, 2018).

2.1.8. El dióxido de carbono

Gas producido naturalmente, también es un derivado de la quema de combustibles fósiles y de la biomasa, así como de los cambios de uso de suelo y otros procesos industriales. Es el principal gas antropogénico de efecto invernadero que afecta a la temperatura de la tierra. Es el gas de referencia sobre el cual los otros gases de efecto invernaderos son catalogados con un potencial de calentamiento global. El dióxido de carbono constituye aproximadamente un 0,036% de la composición de la atmósfera (Hayduk & Vafadari, 2015; Pardos, 2010).

2.1.9. Cambio climático

Por cambio climático se entiende, un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural observada del clima durante períodos de tiempo comparables. Las variaciones climáticas están influenciadas por cambios naturales, como por el efecto del desarrollo de las sociedades humanas (Hayduk & Vafadari, 2015; Pardos, 2010).

Entre las causas naturales que podrían ser responsables del cambio climático, están las variaciones cíclicas de la intensidad solar provocadas por las manchas solares, cuya periodicidad es aproximadamente de 30 años, además de grandes erupciones volcánicas y variaciones en la órbita terrestre alrededor del sol (Hayduk & Vafadari, 2015; Pardos, 2010).

Con el inicio de la era industrial, a mediados del siglo XVIII, la actividad humana aceleró su incidencia sobre los recursos naturales para crear los productos y servicios que demanda la sociedad. De tal manera que el desarrollo industrial, como parte del desenvolvimiento socioeconómico, ha alterado directa o indirectamente la composición de la atmósfera mundial, la cual es responsable de una modificación del intercambio energético entre el sol, la superficie terrestre y el espacio sideral, a través del fenómeno llamado efecto invernadero (Hayduk & Vafadari, 2015; Pardos, 2010).

2.1.10. Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases traza en la atmósfera que absorben y emiten radiación de onda larga. Envuelven la Tierra de forma natural y, sin ellos en la atmósfera, la temperatura del planeta sería 33 °C inferior. Los siete gases de efecto invernadero más importantes regulados por el Protocolo de Kioto son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), hidrofluorocarbono (HCF), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆), y trifluoruro de nitrógeno (NF); cada uno de estos gases tiene una capacidad diferente de atrapar el calor en la atmósfera, también denominado “potencial de calentamiento global” (PMC) (Nieto, Guzmán, & Steinaker, 2014).

La energía solar que atraviesa la atmósfera en forma de luz visible debe liberarse al espacio dentro de determinado periodo de tiempo en las mismas proporciones en que fue absorbida por la tierra, no obstante, parte de esta energía es retenida por el vapor de agua y otros gases presentes en la atmósfera, impidiendo que esta sea devuelta de inmediato y dando lugar al fenómeno llamado “efecto invernadero” (Nieto et al., 2014; Pardos, 2010).

El efecto invernadero es un proceso natural pero ha sido alterado por la influencia antropogénica provocando elevaciones en la temperatura media del planeta. Desde 1850 hasta nuestros días se estima que la temperatura media del globo terráqueo ha aumentado de 0,5 °C y se proyecta un aumento adicional de aproximadamente 2,5 °C para el final del siglo XXI (Informe del grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, “IPCC” (Carriollo, Acosta, Flores, Juárez, & Bonilla, 2014; Pardos, 2010).

Si persisten las tendencias actuales, se pronostica que la concentración de CO₂ en la atmósfera se duplicara respecto al nivel de la revolución pre – industrial llegando a unos 260 ppm para el año 2065. Esto influirá en el clima global y regional probablemente. Se pronostica un aumento de 2 a 5 °C, aumentando más con la latitud y tendrá mayores efectos en los ecosistemas septentrionales (Nieto et al., 2014; Pardos, 2010).

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. El cambio climático

Entendemos por cambio climático, a las variaciones de las condiciones climáticas y su variabilidad durante un periodo de tiempo. El cambio climático puede ser provocado por procesos naturales internos, externos o por cambios antropogénicos en la composición de la atmosfera o el uso de suelo (IPCC, 2009).

Actualmente, existe una enorme preocupación social acerca del incremento medio de temperatura de la atmosfera del planeta que se viene observando en las últimas décadas (Carriollo et al., 2014; Pardos, 2010).

2.2.2. Historia del cambio climático

En 1824, el físico francés Joseph Fourier describió por primera vez el “efecto invernadero” natural de la Tierra. En 1861, el físico irlandés John Tyndall demuestra que el CO₂ y el H₂O pueden provocar cambios en el clima. En 1895, el químico sueco Svante Arrhenius concluye que la combustión de carbón de la era industrial aumentará el efecto invernadero natural. En 1938 el ingeniero británico Guy Callendar demuestra que la temperatura ha aumentado durante los últimos 100 años a consecuencia del aumento de las concentraciones de CO₂ (IPCC, 2007).

En 1958, el geoquímico Charles David Keeling es contratado para supervisar continuamente los niveles de CO₂ en la atmósfera; en tan solo dos años constata un

aumento en la Antártida. En el decenio de 1970, se identifican otros gases de efecto invernadero antropogénicos, CH₄, N₂O y CFC, y, en 1979, se celebra en Ginebra la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, que conduce a la creación del Programa Mundial sobre el Clima (IPCC, 2007).

En 1988, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) crean el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). En 1990, el IPCC publica su Primer Informe de Evaluación sobre la situación del cambio climático y predice un aumento de la temperatura de 0,3 °C en cada decenio del siglo XXI (IPCC, 2007).

2.2.3. Impactos del cambio climático

Las diversas variaciones descritas anteriormente provocan en el ambiente las siguientes consecuencias:

- **Impactos sobre la agricultura:** El cambio climático no afecta por igual a todos los territorios del planeta y a todos los cultivos por igual, la modificación de las características climáticas afecta al crecimiento y reproducción de las plantas (Romanyà, Rovira, & Vallejo, 2007).
- **Impactos en el ecosistema:** Los impactos en el ecosistema presentan un incremento de las áreas y la frecuencia del fenómeno de blanqueamiento de corales, con índices de mortalidad, cambios en la distribución y límites en las especies, en el caso de varias especies se están dando migraciones tempranas y a sitios más lejanos (Pardos, 2010).
- **Impacto sobre el agua:** La escorrentía y la disponibilidad de agua en muchas áreas, se verá más comprometida debido al retroceso y pérdida de glaciares, el descenso de los volúmenes de agua almacenados en la nieve, y la reducción de los cursos de agua durante el verano y el otoño, afectando así otras actividades de sustento (IPCC, 2007).
- **Impactos en la salud:** Los impactos directos en la salud humana resultan de una exposición creciente al calor y una disminución en la exposición al frío, así como del

incremento en la exposición a tormentas y ciclones. Existe cambio en la distribución de algunos vectores de enfermedades (IPCC, 2007).

2.2.4. Ciclo del carbono

El carbono constituye todas las moléculas orgánicas que forman a los seres vivos. Se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO_2), en el suelo y disuelto en el agua. Cumple un papel fundamental en los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono (Trivedi, Singh, & Singh, 2018).

Los procesos de captura y emisión de carbono son parte de un sistema de cuatro reservorios de carbono (vegetación aérea y radical- materia en descomposición- suelos- productos forestales), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes (IPCC, 2007).

Existen cinco rutas naturales de transformación del carbono:

- **Fotosíntesis:** las plantas transforman el CO_2 atmosférico, o del agua, en materia orgánica (carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos), de la que se alimentan los seres vivos a través de las cadenas alimentarias, donde pasa a formar parte del cuerpo de estos seres vivos (IPCC, 2007).
- **Respiración:** Durante la respiración, los animales y las plantas consumen materia orgánica y devuelven el CO_2 a la atmósfera o al agua (IPCC, 2007).
- **Combustión:** El carbono es incorporado a la atmósfera mediante los procesos de combustión que se generan en los incendios forestales, la actividad volcánica y el uso de petróleo, gas natural o carbón, en actividades industriales, de transporte y domésticas (IPCC, 2007).
- **Descomposición:** Los restos de los animales y vegetales son descompuestos por las bacterias (IPCC, 2007).

- **Liberación:** De la atmósfera a los cuerpos de agua, mediante la disolución del carbono y de la transformación de CO_2 a carbonatos por los organismos marinos. Si el CO_2 es liberado a la atmósfera las plantas vuelven a utilizarlo (IPCC, 2007).

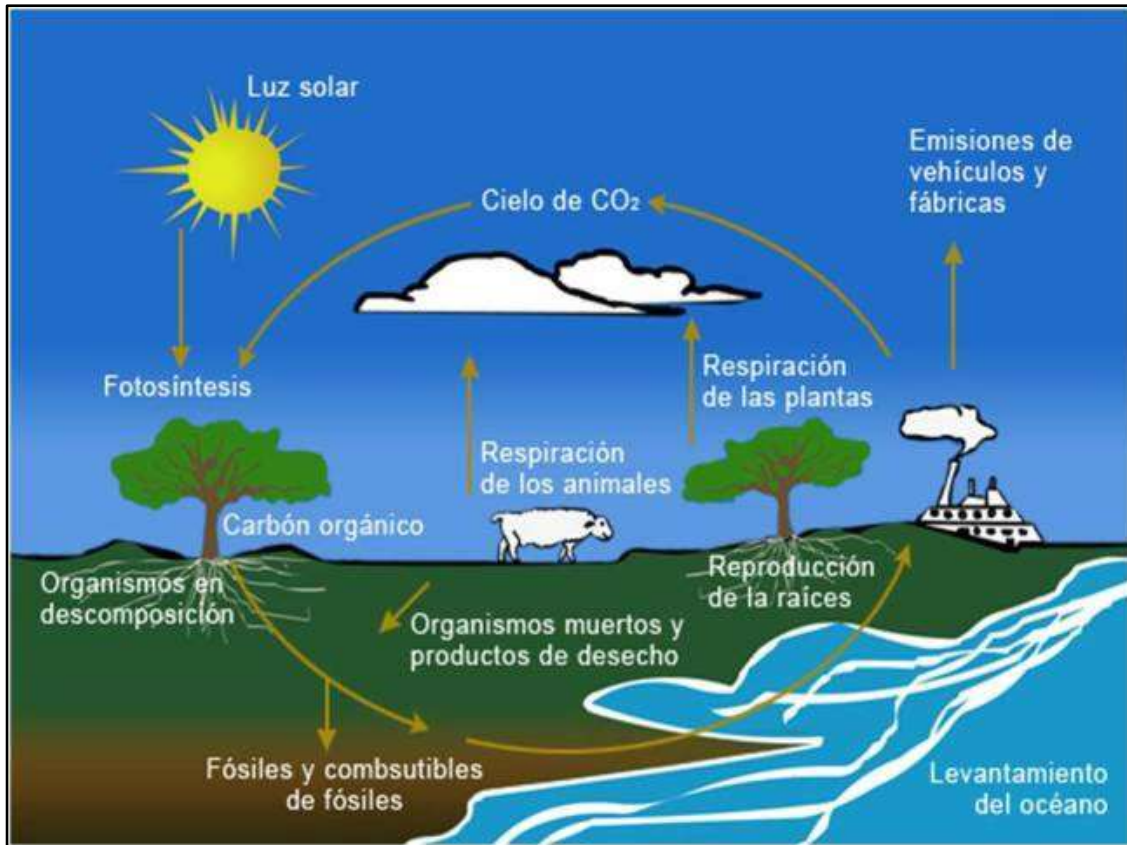


Figura 1. Ciclo del carbono.

Fuente: (Paz & Wong, 2015).

2.2.5. Carbono en ecosistemas forestales

Los bosques juegan un rol principal no solo como factor de desarrollo de un país y de sus modelos de sostenibilidad, sino que adquieren protagonismo mundial por su probable reconocimiento como sumideros en los sistemas contables de los ciclos de carbono (Pardos, 2010; Pizzurno, 2010).

Se estima que el 80% del carbono que vegetación y suelos intercambian con la atmósfera corresponde a los bosques. Estos, al incorporarse el carbono en el crecimiento de los árboles, actúan como sumideros ($2,30 \text{ Gt C año}^{-1}$ en términos muy amplios) y juegan un

papel importante en el balance de carbono, contribuyendo a reducir el contenido en la atmósfera del CO₂ proveniente de las emisiones antropogénicas (Pardos, 2010).

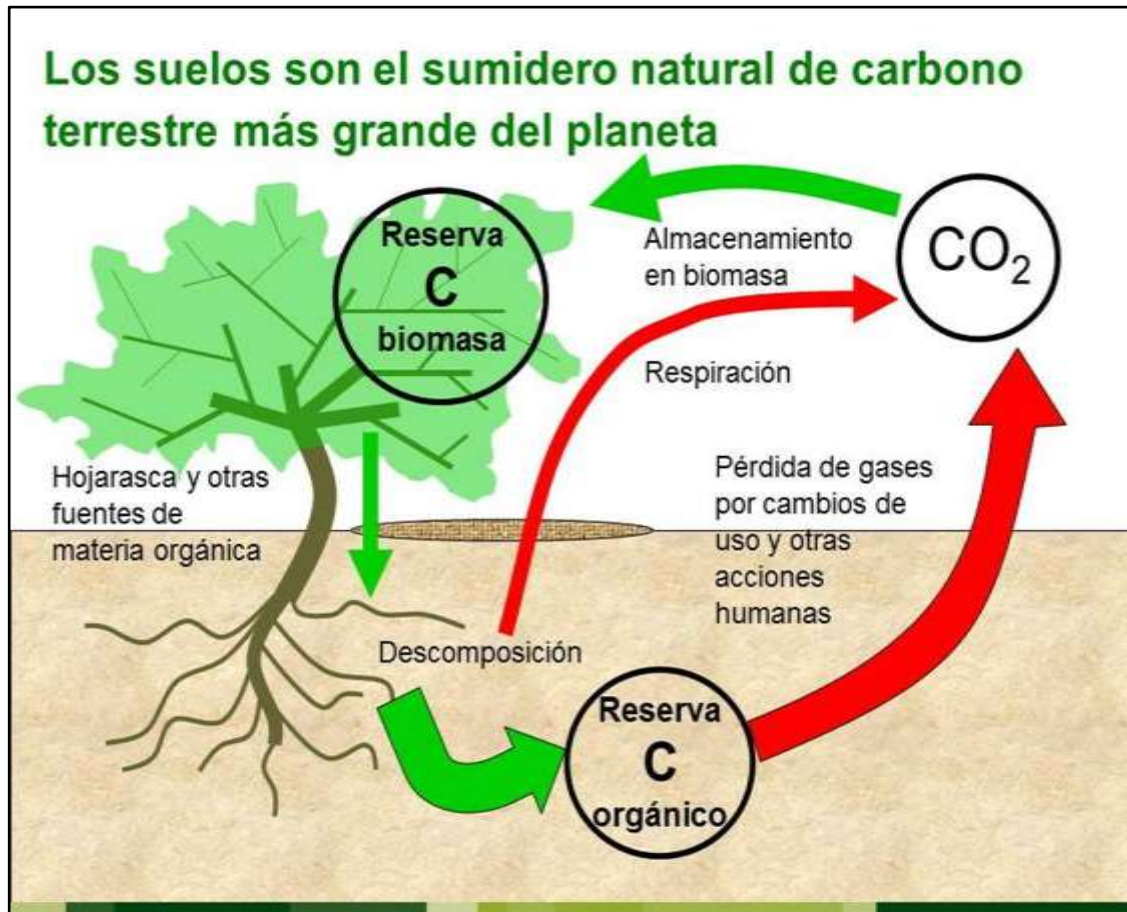


Figura 2. Flujo y almacenamiento de carbono en un ecosistema forestal.

Fuente: Adaptado de Ministerio del Ambiente (2006).

2.2.6. Biomasa arbórea

Una vez que el dióxido de carbono atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). El árbol al crecer va incrementado su follaje, ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento; así como altura y grosor del tronco (Concha, Alegre, & Pocomucha, 2007; Yerena, Jiménez, Aguirre, & Treviño, 2012).

La biomasa arbórea es un tipo de depósito de carbono muy importante debido a que contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo por medio de la acumulación de la materia orgánica. Además, realizar la medición de la biomasa arbórea permite establecer la cantidad de CO₂ que puede ser removido de la atmosfera mediante planes de reforestación (Concha et al., 2007; Yereña et al., 2012).

2.2.7. Biomasa arbórea frente al cambio climático

Los bosque pueden ser usados como estrategia de mitigación para el cambio climático debido a su proceso metabólico, ya que durante su crecimiento, estos se comportan como sumideros de carbono al absorber CO₂ y almacenar carbono en la madera como biomasa (Chimbo, 2016; Ibrahim & Mora, 2006). Adicional a eso, los sistemas forestales tienen el potencial de, no solo almacenar el carbono en su biomasa si no también lo hacen en el suelo (Concha et al., 2007; Pardos, 2010).

Se estima que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo secuestrar entre un 20 y un 50% de las emisiones netas de CO₂ a la atmósfera (IPCC, 2006). Los bosques son los ecosistemas terrestres más extensos, ocupando el 30% de la superficie emergida del planeta. Por eso es importante fomentar investigaciones de las diversas especies forestales, ya que con esta se puede representar la cantidad de carbono que puede ser fijada en una determinada superficie de bosque (FAO, 2010).

La cantidad de carbono secuestrada por un bosque puede servir de ayuda al momento de evitar que, actividades como la deforestación, sigan contribuyendo al aumento de la concentración de los GEI, ya que solo esta actividad libera un aproximado de 0,9 GtC/año según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC, 2007). De esta manera los bosques juegan un rol fundamental al momento de secuestrar el carbono liberado por actividades, ya sean naturales o antrópicas, por eso el mantenimiento de bosques o plantaciones forestales se ha convertido en un servicio ambiental en los

países en vías de desarrollo. Es así como se ven nuevas oportunidades para hacer frente al cambio climático usando los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), considerados en el Protocolo de Kioto (IPCC, 2007).

2.2.8. Métodos para estimar la biomasa arbórea

La estimación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta determina el monto de carbono existente en cada uno de los componentes y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberada a la atmosfera, o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Díaz et al., 2007; Gómez, Etchevers, Monterrosos, Campo, & Tinoco, 2011b; Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008).

Existen dos métodos para la estimación de la biomasa:

2.2.9. Método destructivo

Consiste en cortar los árboles y pesar la biomasa de los fustes, ramas y hojas para luego secarla; incluyen mediciones en campo, cosecha y toma de muestras de la totalidad de la vegetación. Es el método más costoso y requiere mayor tiempo (Díaz et al., 2007; Gómez et al., 2011b; Martínez et al., 2008).

2.2.10. Método indirecto

Usa modelos de regresión con variables obtenidas en el campo, se usan modelos de biomasa para cada espécimen donde los valores de diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura se trasforma a biomasa con ayuda de estos modelos (Díaz et al., 2007; Gómez et al., 2011b; Martínez et al., 2008).

2.2.11. Captura y almacenamiento de carbono

Los sistemas agroforestales constituyen formas de uso y manejo de los recursos naturales en las que se pueden asociar especies forestales, cultivos agrícolas y/o animales, en forma simultánea o en secuencia temporal, sobre un mismo terreno (Jadán, Torres, & Günter, 2012; Rugnitz et al., 2009). Los beneficios que se asocian con estos sistemas son: aumento de la productividad vegetal y animal; reducción del uso intensivo de la tierra; diversificación en la producción de alimentos; obtención de productos como leña y madera; y reducción de la escorrentía del agua y la erosión de los suelos por efecto de la lluvia. Las pasturas pueden contribuir con el almacenamiento de carbono. Cuando los pastos actúan como fuente emisora, se atribuye este factor negativo a un manejo mal aplicado (López et al., 2016; Segura, 2018).

El almacenamiento de carbono en sistemas arbóreos se ha estimado en 2,8 Mg de C/ha/año en plantaciones para leña, 1,2 Mg de C/ha/año en bosques secundarios, 1,1 Mg de C/ha/año en árboles de sombra y de 0,1 Mg de C/ha/año en árboles establecidos en potreros (Fonseca, Alice, & Rey-Benayas, 2012; Ibrahim et al., 2007; López et al., 2016). Se ha documentado que la asociación de pasturas con leguminosas forrajeras, mejora el almacenamiento de carbono en los suelos (Ibrahim & Mora, 2006).

El almacenamiento de carbono es un servicio ambiental que valoriza la incorporación de especies arbóreas en sistemas agroforestales, y representa un atractivo para el financiamiento de proyectos de inversión en el ámbito regional y nacional, encontrándose varios casos de proyectos agroforestales bajo programas de financiamiento por segundos países (Giraldo, Zapata, & Montoya, 2006; Ruiz, García, & Sayer, 2007).

2.2.12. Bosque nativo

Los bosques y vegetación protectores a nivel nacional mediante la ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, capítulo III, Art. 6. Se consideran bosques y vegetación protectores aquellas formaciones vegetales, naturales o cultivadas, que cumplan con uno o más de los siguientes requisitos:

- Tener como función principal la conservación del suelo y la vida silvestre;
- Estar situados en áreas que permitan controlar fenómenos pluviales torrenciales o la preservación de cuencas hidrográficas, especialmente en las zonas de escasa precipitación pluvial;
- Ocupar cejas de montaña o áreas contiguas a las fuentes, comentes o depósitos de agua;
- Constituir cortinas rompe vientos o de protección del equilibrio del medio ambiente;
- Hallarse en áreas de investigación hidrológico-forestal;
- Estar localizados en zonas estratégicas para la defensa nacional; y,
- Constituir factor de defensa de los recursos naturales y de obras de infraestructura de interés público (MAE, 2004).

Por lo tanto un bosque nativo es un ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados con uno o varios estratos (MAE, 2012). El estado posee 11'307.627 ha de bosque nativo.

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.3.1. Reconocimiento internacional al fenómeno del cambio climático

Las condiciones climáticas de nuestro planeta han experimentado cambios muy importantes a lo largo del tiempo, con una alternancia natural de períodos de larga duración de condiciones cálidas y períodos más cortos de intenso frío. Sin embargo, existen indicios claros que apuntan a una alteración de esta alternancia debido al espectacular incremento de las emisiones a la atmósfera de una gran parte del carbono que la Tierra había almacenado en forma sólida a lo largo de su historia, como resultado de las actividades humanas (Jadán et al., 2012).

De hecho, las conclusiones del Tercer Informe de Evaluación del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - *Intergovernmental Panel on Climate Change*) confirman (i) que el cambio climático ya se ha iniciado, (ii) constatan

el aumento de la frecuencia de ciertos fenómenos climáticos extremos, el retroceso de la extensión de la nieve o los glaciares y la subida del nivel del mar, y (iii) señalan una estrecha relación entre las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) y los cambios observados (Watson et al., 2001).

El IPCC es una agencia especializada de Naciones Unidas, con sede en Ginebra, creada en el año 1988 en respuesta al reconocimiento internacional del problema del cambio climático y de la necesidad de disponer de un conocimiento profundo que permitiese diseñar respuestas adecuadas. Desde entonces, el IPCC ha emitido informes aproximadamente cada cinco años, a partir de la información disponible y de los avances en la investigación producidos en todo el mundo (Watson et al., 2001).

2.3.2. La convención marco de naciones unidas sobre cambio climático (UNFCCC)

La Convención tiene por objetivo *“la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático”*, aunque el texto no especifica cuál es el nivel de concentración que se debe alcanzar, ni establece un calendario preciso para su consecución. La Convención sí especifica una serie de principios en los que debe basarse la acción de las Partes firmantes de la misma: (i) la protección del sistema climático en beneficio de las generaciones presentes y futuras, (ii) el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas (diferentes países tienen diferentes obligaciones en cuanto a reducción de emisiones, siendo los países desarrollados los que deberán tomar la iniciativa), (iii) el principio de precaución (no utilizar la falta total de certidumbre científica como argumento para posponer la acción cuando haya una amenaza de daño grave o irreversible), (iv) el principio del desarrollo sostenible, teniendo en cuenta que las medidas no deben suponer un freno al crecimiento económico, y (v) el principio de cooperación entre las Partes (IPCC, 1996).

2.3.3. El protocolo de KIOTO

El Protocolo de Kioto es un acuerdo legalmente vinculante que compromete a los países desarrollados y a los países en transición hacia una economía de mercado a alcanzar

objetivos cuantificados de reducción de emisiones. Para las negociaciones que condujeron a la adopción de dicho Protocolo fue clave la información proporcionada en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC (1996).

Las Partes-anexo I se comprometieron a reducir su emisión colectiva de seis GEI (CO₂, N₂O, CH₄, HFC, PFC, SF₆) hasta al menos un 5% por debajo de los niveles de emisión de 1990 durante el período 2008-2012 (el primer período de compromiso), con objetivos específicos que varían de país en país. Los objetivos individuales de reducción de cada Parte se encuentran enumerados en el Anexo B del Protocolo (Arbestain & Pinto, 2004). Los quince Estados Miembros que formaban parte de la Unión Europea en ese momento se comprometieron a una reducción de un 8% en las emisiones de CO₂ equivalente para el año 2012, comparado con los niveles de 1990, si bien acordaron distribuir proporcionalmente entre ellos sus objetivos globales de reducción, formando la denominada “Burbuja Comunitaria” (Arbestain & Pinto, 2004).

2.3.4. Constitución de la República del Ecuador

- **La constitución del Ecuador en el título VII Régimen del buen vivir, Capítulo II, sección 7ma, art. 414**

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomo medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (Constitución del Ecuador, 2008).

2.3.5. Código orgánico del ambiente

El Título V de servicios ambientales estipula que:

Artículo 82.- De los servicios ambientales. El presente título tiene por objeto establecer el marco general de los servicios ambientales, con la finalidad de tutelar la conservación,

protección, mantenimiento, manejo sostenible y la restauración de los ecosistemas, a través de mecanismos que aseguren su permanencia (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

El Título VI de producción y consumo sustentable estipula que:

Artículo 245.- Obligaciones generales para la producción más limpia y el consumo sustentable. Todas las instituciones del Estado y las personas naturales o jurídicas, están obligadas según corresponda, a:

1. Incorporar en sus propias estructuras y planes, programas, proyectos y actividades, la normativa y principios generales relacionados con la prevención de la contaminación, establecidas en este Código;
2. Optimizar el aprovechamiento sustentable de materias primas;
3. Fomentar y propender la optimización y eficiencia energética así como el aprovechamiento de energías renovables;
4. Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes al ambiente, considerando el ciclo de vida del producto;
5. Fomentar procesos de mejoramiento continuo que disminuyan emisiones;
6. Promover con las entidades competentes el acceso a la educación para el consumo sustentable;
7. Promover el acceso a la información sobre productos y servicios en base a criterios sociales, ambientales y económicos para la producción más limpia y consumo sustentable;
8. Coordinar mecanismos que faciliten la transferencia de tecnología para la producción más limpia;
9. Minimizar y aprovechar los desechos; y,
10. Otros que la Autoridad Ambiental Nacional dicte para el efecto.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“Creo que mientras que los combustibles fósiles sean baratos, la gente los usará y pospondrán el uso de nuevas tecnologías”

Paul Krugman

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación orienta sus esfuerzos a evaluar la dinámica de almacenamiento de carbono en la plantación forestal de melina *Gmelina arborea* Roxb, cantón Pedro Vicente Maldonado, período 2012 – 2018; con el propósito de contar con datos oficiales respecto a la capacidad que tienen las plantaciones forestales de almacenar dicho elemento y su importancia desde el punto de vista ambiental.

El presente estudio se basó en un análisis de tipo documental, fundamentada en la recopilación de información de campo y laboratorio con el propósito de profundizar las teorías respecto a la dinámica de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de Melina (*Gmelina arborea* Roxb).

3.2. MÉTODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación diseñado para la presente investigación fue una compilación de información de los siguientes estudios: Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile) (Locatelli & Sylvain, 2001); Manual de campo publicado por el proyecto Evaluación Nacional Forestal ENF y el programa Nacional Conjunto ONU-REDD+ del Ministerio del Ambiente del Ecuador, bajo la cooperación del programa “Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático” FAO Finlandia y el componente ONU REDD FAO (Cueva et al., 2012); Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal (Schlegel et al., 2000); y la Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (Rugnitz et al., 2009).

Por lo tanto, el presente estudio, contemplo la medición de ciertas variables de interés como: altura total, diámetro a la altura del pecho, biomasa aérea y subterránea, *detritus no vivo DNV* (madera muerta y hojarasca) y la caracterización de parámetros físico químicos de suelo (pH, densidad aparente, color, textura, estructura materia orgánica y carbono) (Cargua et, al. 2014). Además, es importante indicar que para complementar la información se aplicaron los siguientes métodos:

3.3. CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Población y muestra

Población

Para determinar el área a muestrear se realizó un levantamiento de información con GPS y mediante el software ArcGis 9.X, se elaboró cada uno de los mapas de la plantación de *Gmelina arborea* Roxb (Rodales: DA28: 33,71 ha; DB32: 21,13 ha; DC40: 18,02 ha).

La población corresponde a todos los árboles presentes en las parcelas diseñadas en la plantación forestal de Melina del periodo 2012 – 2018 de la hacienda Pitzará, el en cantón Pedro Vicente Maldonado, provincia de Pichincha (ver Figura 3).

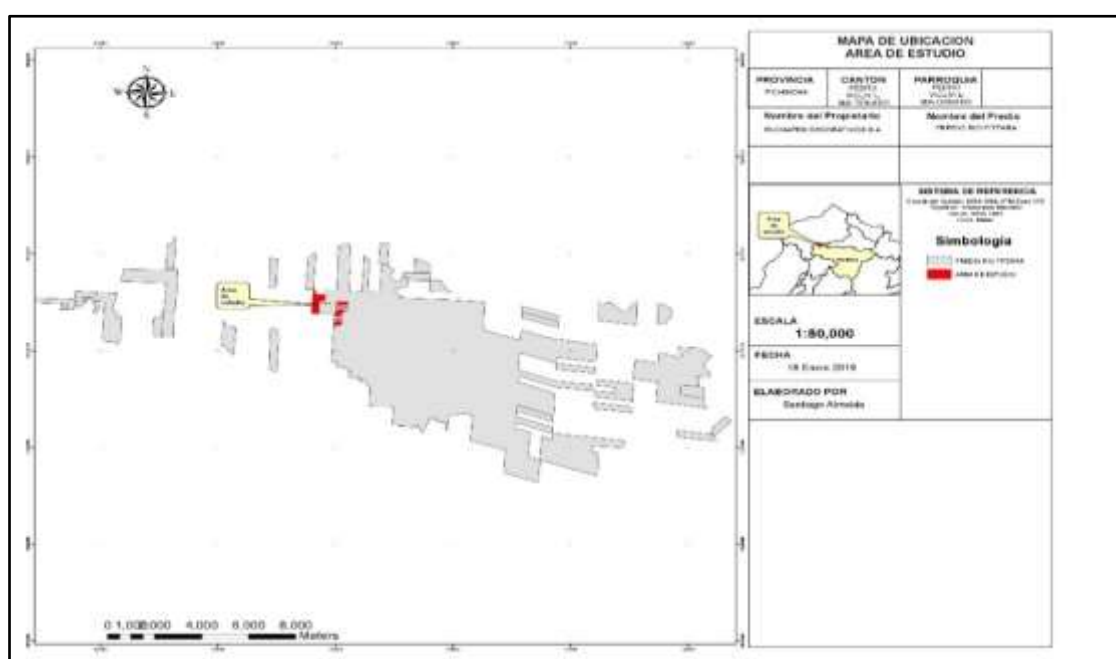


Figura 3. Ubicación del área de estudio en la hacienda Pitzará.

Tamaño de la plantación: 72,86 hectáreas.

Tamaño de los rodales:

1. DA28: 33,71 ha
2. DB32: 21,13 ha
3. DC40: 18,02 ha

Ubicación: Rodales situados en la hacienda Pitzará (ver Figura 4).



Figura 4. Ubicación de rodales DA28, DB32, DC40

Para el estudio se consideró:

- Contenido de carbono en biomasa aérea.
- Contenido de carbono en biomasa subterránea.
- Contenido de carbono en materia orgánica de madera muerta.
- Contenido de carbono en hojarasca.
- Contenido de carbono en el suelo.

Muestra

- **Cálculo del número de parcelas en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb)**

El número de parcelas implementadas en campo, se basó en al área neta de cada rodal esto se realizó aplicando la teoría de intensidad de muestreo, sugerida por Spitteler 1995 (ver Tabla 2).

Tabla 2. Cálculo de intensidad de muestreo

Tamaño del estrato o plantación (ha)	Intensidad de muestreo (% del área neta)	Número de parcelas por ha.	Distanciamiento entre parcelas y fajas (m)
1 a 3	5	5.0	45
3.1 a 6	4	4.0	50
6.1 a 10	3	3.0	60
10.1 a 20	2	2.0	70
20.1 a 50	1.5	1.5	80
> 51	1	1.0	100

Fuente: Spitler, 1995.

El muestreo fue de tipo probabilístico, es decir, cada muestra tiene la misma probabilidad de ser seleccionada (Rugnitz et al., 2009).

Tabla 3. Implementación de parcelas permanentes de muestreo

N°	Código de Rodal	Área (ha)	N° de Parcelas
1	DA28	33,71	7
2	DB32	21,13	4
3	DC40	18,02	4
TOTAL		72,86	15

Fuente: Datos de la hacienda Pitzará.

Como resultado se obtuvo un total de 15 parcelas distribuidas en toda la zona de estudio (ver Figura 4).

- **Ubicación de parcelas**

Con la ayuda del software Arcgis 9.X se procedió a ubicar las parcelas de muestreo en cada uno de los rodales. La primera parcela se ubicó de forma aleatoria, luego el resto de parcelas se dispusieron con sus respectivas distancias entre ellas.

- **Distanciamiento entre parcelas**

La distancia entre parcelas, está diseñada de acuerdo a la siguiente fórmula (Armijos, 2013):

$$Distancia (m) = \sqrt{\frac{\text{área del terreno en } m^2}{\text{número de parcelas}}} \quad (1)$$

- **Diseño experimental**

La presente investigación se realizó aplicando un diseño sistemático estratificado, el cual permitió establecer las unidades de muestreo (Parcelas Permanentes de Muestreo), que sirvieron para el levantamiento de información en campo. Las PPM implementadas fueron de forma circular de 17,84 m de radio y un área de 1000 m² (Rugnitz et al., 2009).

3.3.2. Técnicas de investigación

- **De observación**

Se realizó observaciones directas en campo de la plantación forestal de *Gmelina arborea* Roxb.

- **Exploratorio**

Se realizó exploraciones en campo, en donde se determinó las técnicas que fueron las más adecuadas las mismas que permitieron recopilar la información y material necesario para finalmente obtener los resultados esperados.

- **Analítico**

Cada una de las partes que caracterizan al fenómeno a investigar fueron identificados y analizados; esto permitió establecer una relación causa – efecto entre los elementos de estudio.

3.3.3. Instrumentos de la investigación

- **Cuaderno de notas o diario de campo**

En el cual se registró todas las actividades que se realizó a nivel de campo.

- **Cámara fotográfica**

Se utilizó para el registro fotográfico de todas las actividades que se efectuó en la investigación.

- **Sistema de posicionamiento global (GPS)**

Para determinar con exactitud la ubicación geográfica de la Hda. Pitzarà y del lugar donde se realizó dicho estudio.

3.4. ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO

Las fuentes primarias que permitieron conocer la dinámica de almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de melina (*Gmelina arborea* Roxb), cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018, se basada en la recopilación de información de libros, leyes, normativas, tesis y artículos científicos.

3.5. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.5.1. Trazado e instalación de las parcelas

Para el trazado de las parcelas se tomó en consideración los siguientes lineamientos:

- Se instalaron las parcelas de conformidad al diseño del muestreo (parcelas anidadas). La forma de la parcela fue circular de 17,84 m de radio dando un área de 1000 m²; donde se realizó un inventario forestal y la recolección de muestras de suelo a dos profundidades: entre (0-30), (30-60) cm; se implementó una segunda sub-parcela de 50 x 50 cm, donde se procedió a coleccionar todo el material muerto (*DNV*) y se registró su peso húmedo (Cueva et al., 2012).
- La tercera sub-parcela es de 2 x 2 m y permitió la medición de SOTB (arbustos y herbáceas) (ver Figura 5) (Cueva et al., 2012).

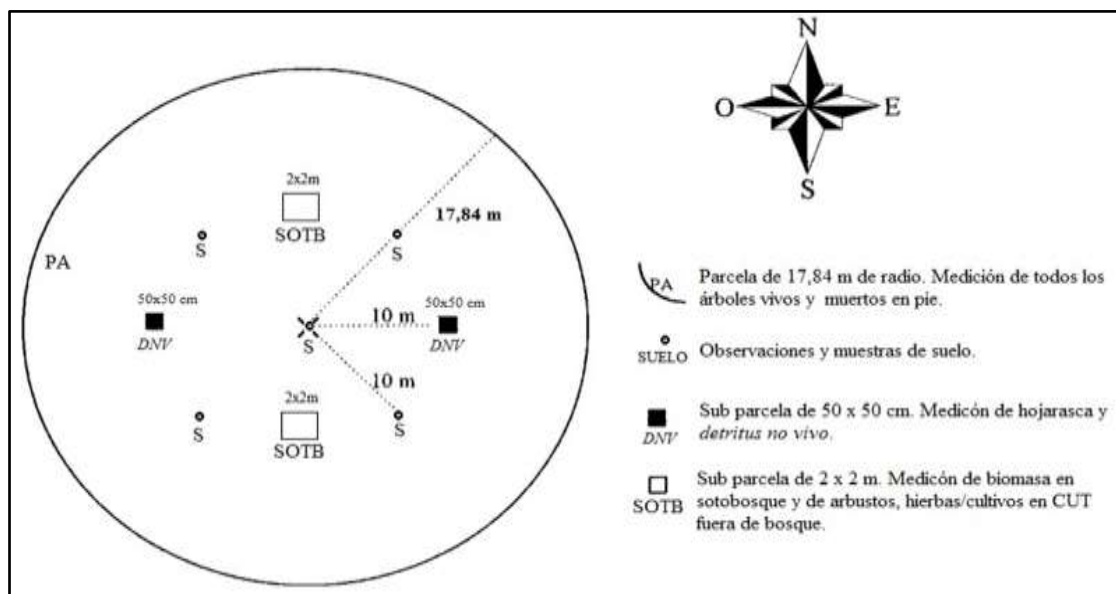


Figura 5. Diseño de las parcelas de muestreo.
Fuente: (Locatelli & Sylvain, 2001).

3.5.2. Mediciones y observaciones en las parcelas

3.5.2.1. Acceso a la parcela

Para la ubicación de las parcelas se utilizó el GPS y los mapas de la plantación forestal, elaborados con la información de SIG. Utilizamos las recomendaciones de acceso e información recabada durante la planificación, también se apoyó en otros recursos como fotografías aéreas e imágenes de satélite (Cueva et al., 2012).

3.5.3. Levantamiento de datos en la parcela

3.5.3.1. Medición de diámetros de árboles vivos y muertos en pie

El procedimiento para la medición en la parcela circular de 17,84 m de radio fue el siguiente:

- El diámetro del árbol fue medido con la cinta diamétrica sobre la corteza a 1,30 m de la altura del pecho (DAP). Para árboles bifurcados se analizó el punto donde el árbol se bifurca (ver Figura 6).



Figura 6. Parcelas permanentes de muestreo (Inventario forestal).

3.5.3.2. Medición de alturas de árboles vivos y muertos en pie

Para la medición de la altura de los árboles se consideró lo siguiente:

- La altura total (Ht) fue la distancia vertical entre el nivel del suelo y el extremo superior del árbol.
- La altura comercial (Hc) fue la longitud de un tronco o fuste desde su parte inferior hasta su extremo superior donde empiezan las ramificaciones de la copa del árbol.

3.5.3.3. Medición de hojarasca y detritus no vivo

Se consideró hojarasca y *DNV* a todo el material orgánico caído en el suelo inferior a 10 cm y mayor de 2 mm de diámetro, tales como, hojas, tallos, flores, frutos, hierbas muertas, cortezas, etc. También se consideró el material orgánico existente en el horizonte orgánico del suelo (> 2 mm). La hojarasca y los detritos se midieron en todos los suelos en la que se tomó una muestra en las dos parcelas de 50 x 50 cm (ver Figura 7) (Cueva et al., 2012).

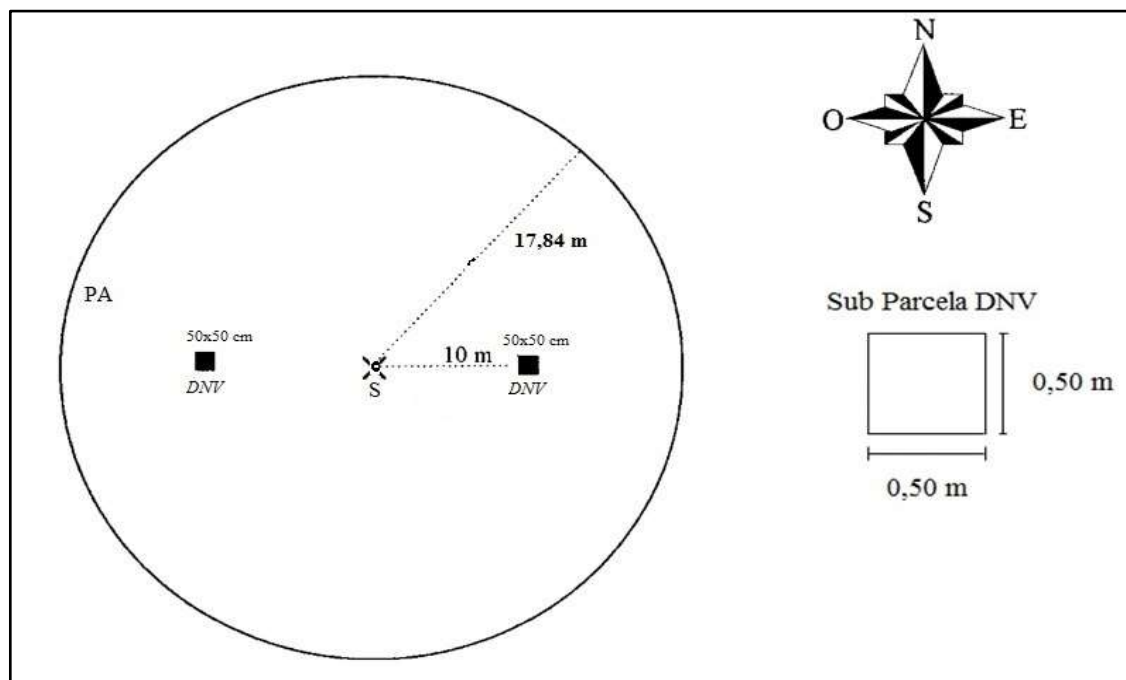


Figura 7. Muestreo de hojarasca y detritus no vivo.

Fuente: (Locatelli & Sylvain, 2001).

En la práctica se aplicó el siguiente procedimiento:

- Utilizando la pala pequeña se procedió a coleccionar toda la hojarasca (*DNV*) presente en la sub parcela de muestreo. El material coleccionado se pasó por un tamiz de 2 mm de diámetro y fue colocado en bolsas plásticas herméticas.
- Las ramas menores a 10 cm de diámetro y que fueran muy largas, estas se consideró únicamente la parte de la rama que cae dentro de la parcela, es decir, cortamos la sección que está dentro de la parcela y luego pesamos.
- Posteriormente, se procedió a pesar todo el material coleccionado usando para ello una balanza portátil (pensola 1000 g) (ver Figura 8).
- El peso final fue el promedio de los pesos totales de las dos sub- parcelas de 50 x 50 cm (ver Figura 8).



Figura 8. Recolección de *detritus no vivo*.

- Posteriormente, se colectó una sub muestra del material recolectado (mezcla de hojarasca + detritus tanto del material inferior a los 10 cm y del material del horizonte orgánico > 2 mm) sumado de las dos sub-parcelas.
- La muestra recolectada fue de alrededor de 0,5 kg. Esta muestra fue enviada al laboratorio asignado para secar y obtener el peso seco, y determinar su contenido medio de carbono.

3.5.3.4. Observaciones y muestras de suelo

La información de suelo es necesaria para el reporte de carbono y las características de los ecosistemas. Las características físicas y muestras de suelo para análisis de laboratorio se tomaron dentro de la parcela circular de 17,84 m de radio.

En la parcela se establecieron cinco puntos de muestreo, distribuidos uno en el centro, dos al norte y dos en el sur (Locatelli & Sylvain, 2001).

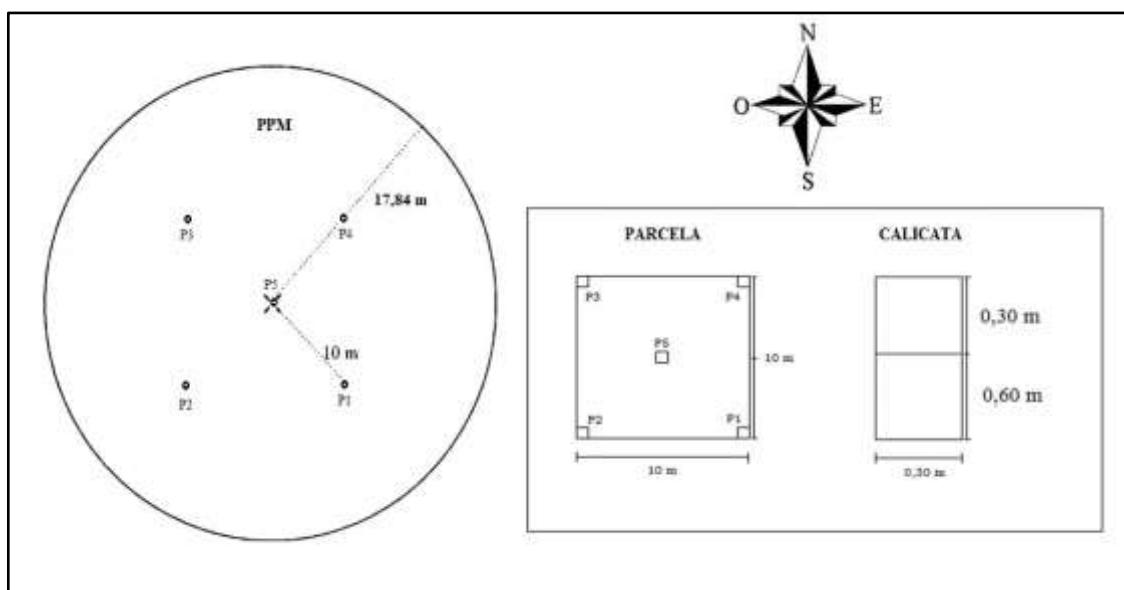


Figura 9. Muestreo de suelos.

Fuente: (Locatelli & Sylvain, 2001).

En el punto central de la parcela se observó el color, textura, estructura y pedregosidad del suelo (FAO, 2009).

Las muestras se extrajeron a dos profundidades: entre 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm, para lo cual fue necesario construir pequeñas calicatas (ver Figura 10). Es importante también indicar que a los 60 cm de profundidad son más notorios los cambios en el contenido de carbono (FAO, 2009).

A cada profundidad se tomó dos muestras; la primera de 500 cm³ compuesta de cinco cilindros extraídos de los cinco puntos de muestreo, que sirvieron para el cálculo del

carbono orgánico del suelo; y la segunda muestra fue de 300 cm³ compuesta de tres cilindros extraídos de tres puntos de muestreo destinados para el cálculo de la densidad aparente (ver Figura 10) (Cueva et al., 2012).

- Las muestras de suelo recolectadas fueron colocadas en fundas plásticas, con cierre hermético (Ziploc) y etiquetadas con el código correspondiente (ver Figura 10).
- Este mismo procedimiento se siguió para tomar las muestras hasta los 60 cm de profundidad.
- Las muestras de suelo recolectadas fueron enviadas al laboratorio definido para realizar los análisis respectivos.



Figura 10. Recolección de muestras de suelo.

El procedimiento para evaluar las características físicas del suelo fue el siguiente:

- El color del suelo se identificó usando la tabla de Munsell (FAO, 2009).
- Para reconocer la textura del suelo se utilizó una muestra colectada de una de las calicatas y usando el método de la sensibilidad del tacto, se procedió a evaluar la ocurrencia relativa de arena, limo y arcilla (FAO, 2009).
- La pedregosidad se valoró con base a los porcentajes de piedras mayores a 4,5 mm encontradas en el suelo (FAO, 2009).

- Y finalmente se registró la estructura (FAO, 2009).

3.5.3.5. Medición de biomasa de SOTB

El procedimiento para el muestreo de la biomasa de SOTB fue el siguiente:

- Se trazó una sub-parcela de 2 x 2 m que permitió la medición de SOTB (ver Figura 11).

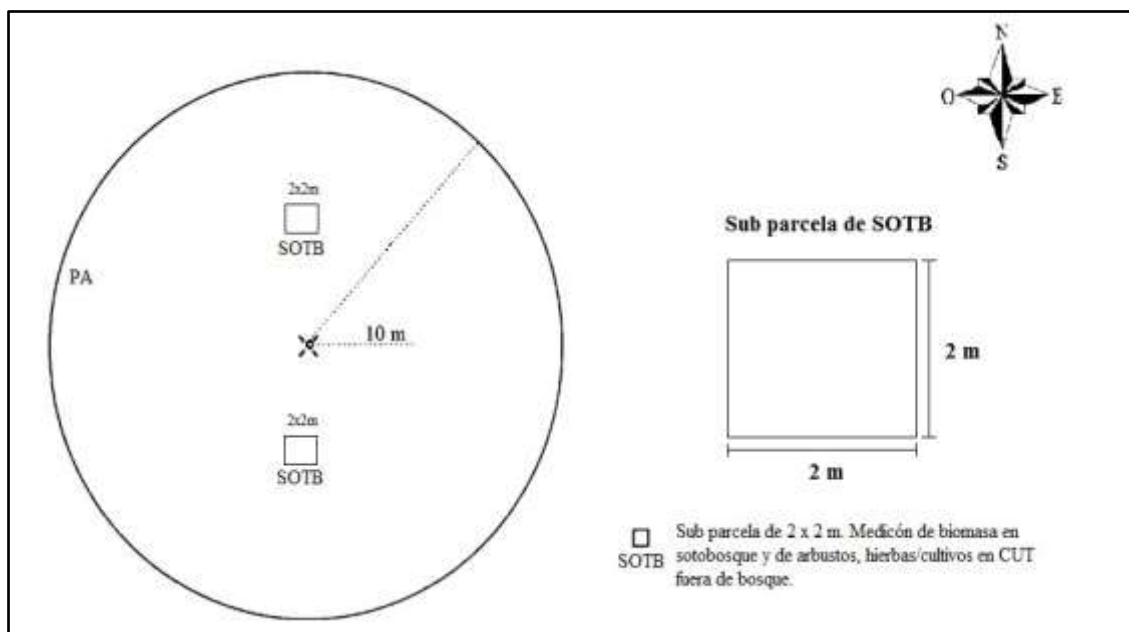


Figura 11. Muestreo de SOTB.

Fuente: (Locatelli & Sylvain, 2001).

- Se procedió a cortar todo el material vegetal vivo < a 10 cm de DAP al ras de suelo hasta los bordes exactos de la sub-parcela. El total del material fue pesado en la balanza y registrado en el formulario de campo (ver Figura 12).
- Se tomó una sub-muestra representativa del material vegetal que alcanzó un peso aproximado de 1 kg, y fue la que se envió al laboratorio para obtener el peso seco (Cueva et al., 2012).



Figura 12. Recolección de SOTB.

3.5.4. Manejo y envío de muestras al laboratorio

Una vez terminado el proceso de medición se procedió a llevar las muestras rotuladas al laboratorio asignado, para ser analizadas y posteriormente se efectuó los cálculos para determinar la cantidad de carbono almacenado por los diferentes depósitos dentro de la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb).

3.5.5. Análisis de muestras en laboratorio

3.5.6. Secado en laboratorio y determinación de materia seca

Las muestras llevadas al laboratorio fueron secadas en horno a una temperatura de 60° a 65°C. El tiempo de secado se extendió hasta que la muestra alcance un peso constante, aproximadamente luego de 24 horas (Rodríguez & Cargua, 2013).

3.5.7. Cálculo de la biomasa seca del fuste

La biomasa seca (o materia seca) del fuste se determinó mediante el cálculo de la densidad de la madera y su relación con el volumen, aplicando la siguiente ecuación (Rodríguez & Cargua, 2013):

$$\text{Biomasa del fuste} = ((\text{Densidad muestra 1} + \text{Densidad muestra 2})/2) * \text{Volumen de fuste} \quad (2)$$

3.5.8. Cálculos para estimar el carbono acumulado

- **Biomasa de SOTB y de arbustos, hierbas/cultivos**

Para determinar el contenido de carbono en este depósito se determinó de la siguiente manera (Rodríguez & Cargua, 2013):

$$CH = \frac{(Phs - Pss)}{Pss} * 100 \quad (3)$$

Dónde:

CH = contenido de humedad (%)

Phs = peso húmedo sub muestra (g)

Pss = peso seco sub muestra (g)

Con el contenido de humedad se calculó la proporción del peso húmedo que corresponde a biomasa (Rodríguez & Cargua, 2013):

$$B = \frac{PhBt}{1 + (CH/100)} \quad (4)$$

Dónde:

B = biomasa seca (g)

PhBt = peso húmedo total de biomasa (g)

CH = contenido de humedad (%)

Los valores se dividieron por 1.000.000 para obtener toneladas. Estos valores se multiplicaron por la proporción de carbono ponderada de cada componente. Los valores de carbono se expanden a la hectárea y se expresaron en tC/ha (Rodríguez & Cargua, 2013).

3.5.9. Desechos de madera muerta (DMM)

Para el cálculo de carbono en este depósito se siguió el mismo procedimiento que para la biomasa de SOTB, arbustos y hierbas (Rodríguez & Cargua, 2013).

3.5.10. Carbono en el suelo

Para determinar el contenido de carbono por unidad de volumen de suelo, se lo realizó por el método de pérdida por ignición, para lo cual será primero necesario conocer la densidad aparente del suelo.

Para esto se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido”:

- Un cilindro de volumen conocido.
- Secar la muestra en la estufa a 105° C hasta obtener un peso constante.
- Peso de la muestra seca (Ps).
- Calcular la densidad aparente:

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen del cilindro}} \quad (5)$$

3.5.11. Determinación de materia orgánica (MO) y contenido de carbono orgánico del suelo (COS)

Se determinó la materia orgánica mediante el método Lost-Ignition o pérdida de ignición. Todas las muestras fueron previamente secadas al aire libre y pasadas por el tamiz de 2 mm y 150 micrones. Para la cuantificación de carbono por LOI (calcinación) se utilizó el método expuesto en (Chambers, Beilman, & Yu, 2011; Isaza, Pérez, Laines, & Castañon, 2009), para lo cual se siguió los siguientes pasos:

- Colocamos la muestra de suelo en una estufa durante 24 h a 105 °C
- Pesamos 5 g de muestra de suelo seco en un crisol.

- Luego colocar durante 4 h en una mufla a 550 °C.
- Posteriormente se transfirió a un desecador y luego de enfriarse se registró el peso nuevamente.

El cálculo de MO se realizó por diferencia de peso en las distintas temperaturas (Ecuación 6), según la formula expuesta en (Chambers et al., 2011; Isaza et al., 2009).

$$\% \text{ MO} = \frac{\text{Peso del suelo (5g)} - \text{peso despues de la ignición}}{\text{Peso del suelo (5g)}} \quad (6)$$

Posteriormente se procedió a calcular el contenido de COS, estimándolo a partir del % de materia orgánica relacionándola con factores empíricos como el de van Benmelen equivalente 1,724 que resulta ($1/0,58 = 1,724$) de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de carbono (Ecuación 7).

$$\% \text{ COS} = \frac{\% \text{ MO}}{1,724} \quad (7)$$

El carbono contenido en el suelo (en g C/cm²) se calculó a partir de los valores de porcentaje de carbono, densidad aparente y volumen de la muestra (que es el resultado de multiplicar el área transversal de la muestra por la profundidad del muestreo), con la siguiente fórmula (Rodríguez & Cargua, 2013).

Posteriormente, los resultados por cm² se extrapolaron a valores por ha (Ecuación 8):

$$\text{Carbono en suelo (ton C/ha)} = \text{DA} * \text{FC} * \text{P} * \text{A} \quad (8)$$

Dónde:

P = Profundidad de muestreo en cm

FC = Contenido de carbono (%)

DA = Densidad aparente (g/cm³)

A = Área (cm²) de la sección transversal de la muestra de suelo.

3.5.12. Método destructivo

Para determinar el contenido de carbono en la biomasa aérea y subterránea se taló un 10% de los árboles contabilizados en la parcela. Obteniendo así un total de 9 árboles a ser talados en toda el área de estudio. Una vez seleccionado el árbol a procesar, el motosierrista taló el árbol. Una vez talado el árbol se identificó la zona de pesado con el fin de habilitar para el trabajo de medición y pesado de la biomasa.

Al momento de voltear el árbol se tomó en consideración la zona de procesamiento tal como lo muestra la Figura 13, y como se detalla a continuación.

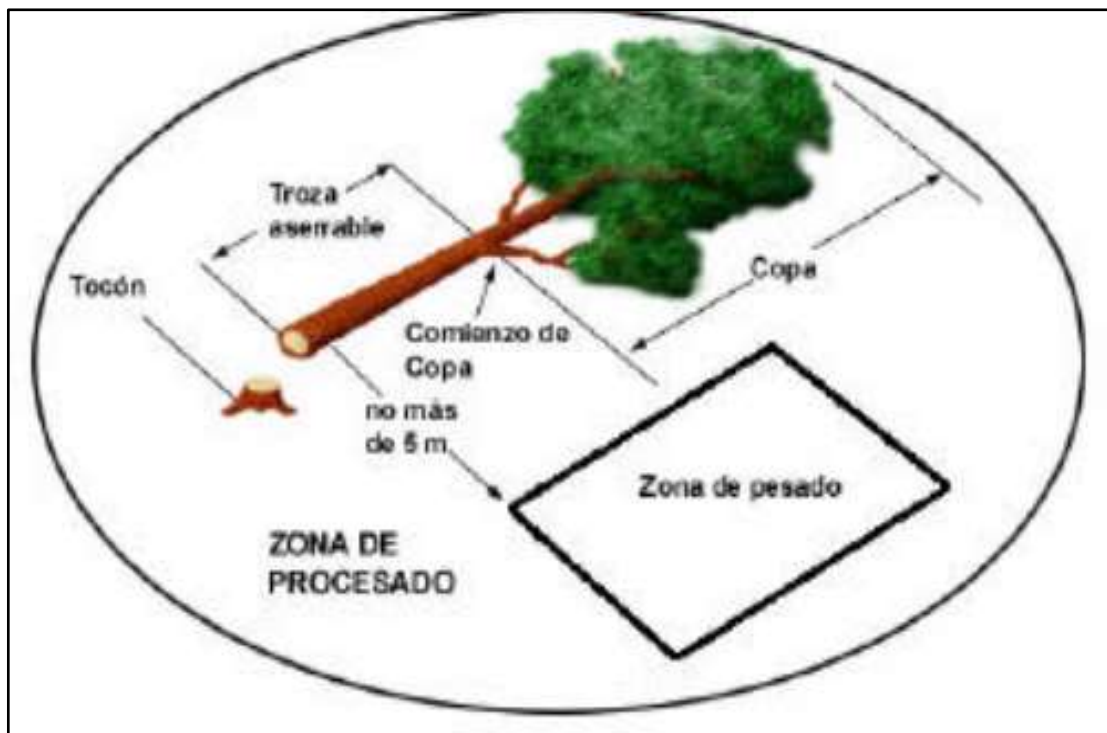


Figura 13. Representación aérea de una zona de procesado y pesado.

- Ubicación del personal en un lugar seguro (a 2 largos del árbol).
- Volteo del árbol, el corte se hace lo más cerca al suelo posible (15 cm para *Pinus radiata* y *Eucalyptus* y 30 cm para especies nativas) (ver Figura 14).



Figura 14. Corte del árbol.

c) Desrame y trozado, los árboles se dividieron en sus componentes, fuste hasta un diámetro límite dependiente del tipo de especie, ramas gruesas y ramas finas bajo 1 cm con hojas (ver figura 15).



Figura 15. Desrame y trozado.

Después de volteado del árbol:

d) Se midió algunas variables tales como altura total, altura de comienzo de copa viva, diámetro a la altura comienzo de copa viva, diámetro y altura de tocón, diámetro con corteza cada 2 m a partir del tocón, es decir a los 0,3 - 1,3 - 2 - 3 - 4, etc., variando levemente la medición en el caso de encontrar un muñón de rama (ver Figura 16).



Figura 16. Medición de tocón y altura del árbol.

e) Se registró además el espesor de corteza a lo largo del fuste principal, tomando la medición en el mismo lugar en que se realizan las mediciones de diámetros.

f) Se pesó la biomasa de ramas y hojas por separado, para esto:

Se separó ramas finas de gruesas. Las ramas finas se contabilizaron como hojas (≤ 1 cm).

Se pesaron las ramas gruesas, para lo cual fue necesario trozar para facilitar su pesado.

Se sacó 3 muestras de cada componente (3 muestras de ramas, 3 muestras de hojas y 3 muestras de ramillas + hojas) para determinar su peso húmedo (ver Figura 17). Estas submuestras se llevaron a laboratorio para ser analizadas y secadas hasta un peso constante a 105°C de temperatura.



Figura 17. Muestras por componente.

Para cada submuestra se calculó una razón de peso seco/peso húmedo (P_s/P_h).

g) Se cortó el fuste comercial en secciones y se pesó, considerando que:

Cada sección no sobrepasó el pesar de 100 kg, lo que permitió ser cargadas a pulso por dos personas (ver Figura 18).

Se sacaron 4 submuestras (rodajas) de diferentes partes del fuste (Tocón, DAP, HCC, Intermedio) (ver Figura 18).



Figura 18. Muestras de tocón.

Estas submuestras se secaron hasta peso constante a temperatura de 105°C.

Se calculó una razón promedio de P_s/P_h para la biomasa del fuste.

h) Luego se multiplicó el peso húmedo total de cada componente por su razón de P_s/P_h correspondiente para obtener una estimación del peso seco total del componente.

i) Se sumó los pesos de todos los componentes del árbol lo que da el peso seco del árbol, el que se expresa en kg.

k) Se utilizó las mediciones del fuste cada 2 m para determinar el volumen de cada sección.

3.5.13. Biomasa subterránea (raíces)

La gran dificultad operativa y económica que conlleva la extracción de las raíces de los árboles, ha hecho que se desarrolle en este estudio una metodología simple y que optimice la labor de terreno. Motivo por el cual, se ha adaptado el método tradicional de excavación, método Skeleton aplicado en variados estudios en el mundo.

Considerando que la parte aérea del árbol ha sido removida, que el acceso para el personal y equipos es adecuado, y que los tocones han sido claramente identificados por medio del número asignado posterior al volteo, el procedimiento de la excavación y extracción de las raíces fue el siguiente:

3.5.13.1. Identificar el área de remoción de suelo

Para la extracción de las raíces fue necesario identificar la zona de influencia de raíces (ZIR), sobre la cual se trabajó removiendo el suelo. Entendiendo siempre que la zona de influencia radicular fue variable dependiendo principalmente del tamaño del árbol y concentra más del 90% de la biomasa de raíces (ver Figura 19).



Figura 19. Eliminación de malezas del suelo.

Para delimitar el área de trabajo sin afectar ni dañar las raíces de interés (aquellas de diámetro superior a 5 mm) fue necesario realizar un raspaje y extracción del suelo superficial con el objeto de visualizar las raíces finas, medias y gruesas del árbol y así reconocer la tendencia y dirección de crecimiento de éstas (ver Figura 20). Esta operación se realizó utilizando rastrillos y aza hachas.



Figura 20. Limpieza de raíz.

Los límites del área de trabajo fueron demarcados por un círculo, con centro en el tocón de la raíz objetivo, pudiendo variar el radio de éste de acuerdo con las características de tamaño del árbol, con lo que quedo definida la zona de remoción de suelo (ZRS).

En el presente estudio se consideró los siguientes radios de acción para límites de trabajo, según el DAP del árbol. Es importante indicar que estos radios sirvieron de referencia para el levantamiento de información en campo (ver Tabla 4).

Tabla 4. Radios de acción según DAP del árbol

Rango de diámetro del árbol (cm)	Radio de acción – Según influencia de raíces (m)
5 - 10	1,0 - 1,5
10 - 20	1,5 - 2,2
20 - 35	2,0 - 2,5
35 - 50	2,0 - 3,5
>50	3,0 - 4,0

3.5.13.2.Extracción de la raíz

Una vez instalado el sistema de tracción (trípode y tecla), se amarró la raíz con cadenas de 10 o 12 mm de espesor dependiendo del tamaño de la raíz, el largo de esta cadena fue de 1,5 a 2 m. Se enlazó el gancho del tecla con las cadenas instaladas en la raíz y se procedió a tirar la cadena circular del tecla, con lo cual se comenzó la tracción de la raíz.

Como producto de esta tracción se extrajo la biomasa radicular incluyendo suelo adherido a ésta, el cual fue removido con palas (ver Figura 21).



Figura 21. Extracción de raíz.

3.5.13.3.Limpiado de raíz

Se limpió las raíces (sacar el suelo adherido), para su posterior pesado. Este procedimiento se realizó de forma manual utilizando palas. Cabe señalar que el levante de la raíz incluyó el suelo adherido. Esto favoreció a la extracción y adherencia de raíces de diámetros menores a 5 mm.

Una de las ventajas de utilizar el sistema de trípode y tecla para la extracción de raíces es que la biomasa permaneció levantada facilitando el limpiado, procesamiento y medición de ésta.

3.5.13.4. Medición y pesado de raíces

Para efectos de estudio radicular fue necesario realizar una serie de mediciones de longitud de raíces hasta diámetros predeterminados de 10, 5, 2 y 0,5 cm de espesor (ver Figura 22). Se dividió la raíz en cuatro cuadrantes imaginarios y en cada uno de ellos se realizó mediciones de raíces promedio. Estas mediciones comprendieron 3 ángulos de medición:

- **Superficial:** se midió la longitud de raíces horizontales hasta una profundidad máxima de 30 cm.
- **Vertical:** se midió la profundidad de las raíces verticales en cada cuadrante y la profundidad máxima de la raíz pivotante.



Figura 22. Medición de la longitud de la raíz.

Posteriormente se procedió a trozar la raíz diferenciando cuatro subdivisiones, entre 0,5 - 2 cm; entre 2 - 5 cm; entre 5 y 10 cm y una sección mayor a 10 cm de diámetro radicular (tocón radicular). Para llevar a cabo este trozado se procede de la siguiente manera:

- Primero se separó las raíces delgadas y medias con tijera de podar.
- Luego se separó las raíces gruesas.

- Se pesó por separado y se registró los valores en el formulario respectivo.
- Se troceó la raíz con motosierra, para facilitar la tarea de pesaje del tocón radicular.

3.5.13.5.Extracción de muestras

Para determinar el peso seco de las raíces, se extrajo muestras de cada tipo de raíz (delgada, media y gruesa). Con estas muestras también se pudo determinar el porcentaje de carbono presente en los tejidos de la biomasa radicular.

Procedimiento:

- Se extrajo al azar 3 muestras de raíz gruesa (entre 5 - 10 cm), 3 muestras de raíces medias (entre 2 - 5 cm) y 3 de raíces delgadas (entre 0,5 - 2 cm).
- Se pesó, rotuló y registró los datos de lugar de extracción, fecha, sección y peso de la muestra, tal como se realizó para la medición de biomasa aérea (ver Figura 23).
- Posteriormente en laboratorio se obtuvo el peso seco y el porcentaje de carbono de cada muestra.



Figura 23. Pesaje de raíz.

3.5.14. Valoración económica

Para la valoración económica del servicio de secuestro de carbono se utilizó el método de precios de mercado. La cantidad de CO₂ almacenado por los árboles de la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), fue convertidos a tCO₂e (toneladas de dióxido de carbono equivalente) a través de la fórmula general para los GEI (Miranda, 2018).

(a) Toneladas de CO₂ equivalente almacenado por la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb).

$$tCO_2eAC = (CO_2) \times (PCG) \quad (9)$$

Dónde:

tCO₂e: toneladas de CO₂ equivalente almacenado por los árboles de la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) (t ha⁻¹).

CO₂: CO₂ almacenado por los árboles de la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) (t ha⁻¹).

PCG: potencial de calentamiento global.

El PCG para el CO₂ es igual a 1, por lo tanto, los valores del CO₂ almacenado y tCO₂e son iguales. Una vez calculado la cantidad de tCO₂e, fue asignar un valor monetario según la oferta brindada por los mercados de carbono (Miranda, 2018).

Para este estudio se eligió el mercado de The EU Emissions Trading System (EU ETS) que fija el precio de carbono en € t⁻¹ para cada mes del año (Sistema Europeo de Negociación de CO₂ (Sendeco2) (58) (Miranda, 2018).

Entonces mediante la siguiente ecuación se pudo determinar el valor económico del servicio de secuestro de carbono aportado por los árboles existentes en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) (Miranda, 2018).

(b) Valor económico del servicio de secuestro de carbono aportado por los árboles existentes en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb).

$$VE_A = (tCO_{2eAC}) \times (p) \times (Fc) \quad (10)$$

Donde:

VE_A: valor económico del servicio de secuestro de carbono aportado por los árboles existentes en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) (\$ ha⁻¹).

tCO_{2eAC}: toneladas de dióxido de carbono equivalente almacenado por los árboles existentes en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) (t ha⁻¹).

p: precio de CO₂ en el mercado (€ t⁻¹).

F_c: factor de conversión de € a \$.

3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Como procedimiento investigativo y con base en el alcance de los objetivos específicos, se consideró la siguiente secuencia: Se realizó la toma de muestras. Se determinó el contenido de carbono fijado y almacenado en la biomasa aérea y subterránea. Se obtuvo el dato del carbono capturado en la hojarasca del suelo o *detritus no vivo* y carbono almacenado en la biomasa de SOTB, arbustos y hierbas/cultivos. Además se determinó el carbono fijado al suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y de 30 - 60 cm.

Con la información generada se determinó el valor económico del servicio de almacenamiento de carbono aportado por la plantaciones forestales de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018.

En el análisis estadístico se realizó pruebas de normalidad para verificar los supuestos del análisis de ANOVA agrupando los datos por profundidad y unidades de muestreo. Se realizó un ANOVA de una sola vía, (p <0,005). Para el análisis estadístico se utilizó el software Minitab V17 (Minitab, 2016).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

“La conservación es un estado de
armonía entre hombre y tierra”

Aldo Leopold

4.1. CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y SUBTERRÁNEA EN PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (*Gmelina arborea* ROXB), EN EL CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO

4.1.1. Inventario forestal

El inventario forestal consiste en el registro y recolección sistemática de datos de árboles que conforman un bosque o plantación forestal. Permite contar con información ordenada respecto al estado actual del recurso forestal; además de constituir el punto de partida para una verdadera gestión sostenible de tierras dedicadas a la producción forestal (IPCC, 2006; Rodríguez & Cargua, 2013). En la presente investigación se realizó el inventario a cada uno de los rodales (DA28, DB32 y DC40) y en cada rodal se implementó las PPM con un área de 1000 m² cada una.

Tabla 5. Valores promedio obtenidos en el inventario forestal, realizado en el rodal DA28 con plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb).

Variable	Año					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Densidad (árboles/ha ⁻¹)	547	569	367	347	279	279
Altura total promedio (m)	4,22	4,94	12,19	17,20	19,22	21,96
DAP promedio (cm)	7,02	8,59	17,03	22,42	25,01	27,27
A basal (m ² /ha ⁻¹)	2,32	3,61	8,63	14,08	13,98	16,66
Volumen total (m ³ /ha ⁻¹)	7,45	13,80	75,58	171,64	189,85	259,85

En la tabla 5 se muestra el inventario forestal del rodal DA28, el cual cuenta con un total de 33,71 ha, de plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) y en donde se implementó siete PPM. Esta plantación fue implementada en agosto de 2012, con una densidad de siembra promedio de 619 plantas/ha⁻¹.

La primera medición se realizó en el año 2013, cuando la plantación tenía la edad de 13 meses; posteriormente se han realizado mediciones continuas cada año hasta el 2018. El promedio de la densidad de árboles/ha⁻¹ en la primera medición reportó un valor de 547, lo que atribuye a un prendimiento del 88,37% en comparación con la densidad de siembra al momento de su implementación.

El raleo ha permitido ir eliminado árboles que no poseen buenas características (bifurcados, sinuosos, etc.), con el propósito de concentrar el crecimiento en los mejores individuos, es por ello que para el año 2018 se cuenta con una densidad promedio de 279 árboles/ha⁻¹ (L. Jiménez, 2016; Rojas et al., 2004).

El crecimiento en altura de la melina se ve reflejado en el incremento medio anual (IMA), que para este rodal es de 3,66 m/año, donde su máximo desarrollo está dentro del año 2 al año 4; posteriormente empieza a reducir su crecimiento para incrementar en diámetro. El IMA del DAP es de 4,55 cm/año y la tasa con mayor incremento lo presenta entre los años 2 (8,44 cm) y 4 (5,39 cm), mientras que el valor más bajo se presenta al inicio del presente estudio (1,58 cm). Este incremento del DAP se ve reflejado en el IMA del área basal que es de 2,78 m²/ha⁻¹, con un promedio de 16, 66 m²/ha⁻¹ y en el volumen que es de 43,31 m³/ha⁻¹, con un promedio total de 259,85 m³/ha⁻¹ al año 2018 (ver Tabla 5).

Tabla 6. Valores promedio obtenidos en el inventario forestal, realizado en el rodal DB32 con plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb).

Variable	Año					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Densidad (árboles/ha ⁻¹)	595	585	358	348	278	278
Altura total promedio (m)	4,53	11,31	16,20	20,76	23,25	24,00
DAP promedio (cm)	6,72	14,19	20,40	23,47	26,57	28,08
A basal (m ² /ha ⁻¹)	2,27	9,71	11,92	15,38	15,71	17,91
Volumen total (m ³ /ha ⁻¹)	7,68	79,73	136,61	225,90	258,13	307,36

El rodal DB32 posee un área de 21,13 ha, de plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) y en donde se implementó cuatro PPM. Esta plantación fue establecida en octubre de 2012, con una densidad de siembra promedio de 648 plantas/ha⁻¹. La primera medición se realizó en el año 2013, cuando la plantación tenía 10 meses de edad y al igual que el rodal anterior se han realizado mediciones periódicas cada año.

El promedio de la densidad de árboles/ha⁻¹ en la primera medición reportó un valor de 595. La altura total promedio de los árboles presento un incremento de 4,53 m en el primer año a 24 m a los seis años de edad, con un IMA de 4,00 m/año. El DAP incremento de

6,72 cm a 28,08 cm en el 2018, con un IMA de 4,68 cm/año. El área basal pasó de 2,27 a 17,91 m²/ha⁻¹, con un IMA de 2,98 m²/ha⁻¹. El volumen incrementó de 7,68 a 307,36 m³/ha⁻¹, con un IMA de 51,23 m³/ha⁻¹, estos valores son superiores en comparación con los reportados en el rodal DA28 y DC40 (ver Tabla 6) (Michela, Kees, & Skoko, 2015).

Tabla 7. Valores promedio obtenidos en el inventario forestal, realizado en el rodal DC40 con plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb).

Variable	Año					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Densidad (árboles/ha ⁻¹)	555	570	343	325	283	280
Altura total promedio (m)	4,25	9,01	13,38	18,25	20,54	23,22
DAP promedio (cm)	6,07	12,14	17,68	21,39	24,12	25,77
A basal (m ² /ha ⁻¹)	1,82	7,42	8,96	12,09	13,52	15,11
Volumen total (m ³ /ha ⁻¹)	6,03	56,53	93,01	163,85	204,64	257,40

El rodal DC40 posee un área de 18,02 ha, de plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) y en donde se implementó cuatro PPM. Esta plantación fue establecida en octubre y noviembre de 2012, con una densidad de siembra promedio de 653 plantas/ha⁻¹. La primera medición se realizó en el año 2013, cuando la plantación tenía 10 meses de edad.

El promedio de la densidad de árboles/ha⁻¹ en la primera medición reportó un valor de 555 lo que indica un prendimiento del 84,99%. Para el 2018 el rodal DA28, muestra una densidad de 280 árboles/ha⁻¹, lo que revela que se aplicó un raleo de 42,87 %, esto por cuanto dentro de esta zona los árboles están sometidos a una competencia intensa por lo que es necesario realizar este tipo de actividad para evitar la competencia por luz y nutrientes (Armijos, 2013; Gutierrez & Lopera, 2001; L. Jiménez, 2016; López et al., 2016).

La altura total promedio permitió conocer el crecimiento de la especie durante los seis años de edad y para este rodal pasó de 4,25 m a 23,22 m, con un IMA de 3,87 m/año. El DAP incremento de 6,07 cm a 25,77 cm en el 2018, con un IMA de 4,30 cm/año. El área basal pasó de 1,82 a 15,11 m²/ha⁻¹, con un IMA de 2,52 m²/ha⁻¹. El volumen incrementó de 6,03 a 257,40 m³/ha⁻¹, con un IMA de 42,90 m³/ha⁻¹ (ver Tabla 7), valores similares a los reportados por (Ávila, Murillo, Olman, & Sandoval, 2014).

4.1.2. Carbono almacenado en la biomasa aérea

La biomasa aérea es toda materia orgánica viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas (Vasquez, 2019). La cantidad de biomasa está directamente relacionada con la cantidad de carbono que a su vez va a depender del tipo y estado de desarrollo de la plantación forestal (Cortés, 2016).

El análisis de la biomasa aérea en la presente investigación se determinó en base a las variables dasométricas (DAP, altura, área basal, volumen, y densidad) y la utilización de factores de expansión fuste + copa (2,8), con el propósito de dar a conocer la importancia que tienen las plantaciones forestales como sumideros de carbono y que los propietarios podrían recibir un pago por la venta de bonos de carbono (Rodríguez & Cargua, 2013).

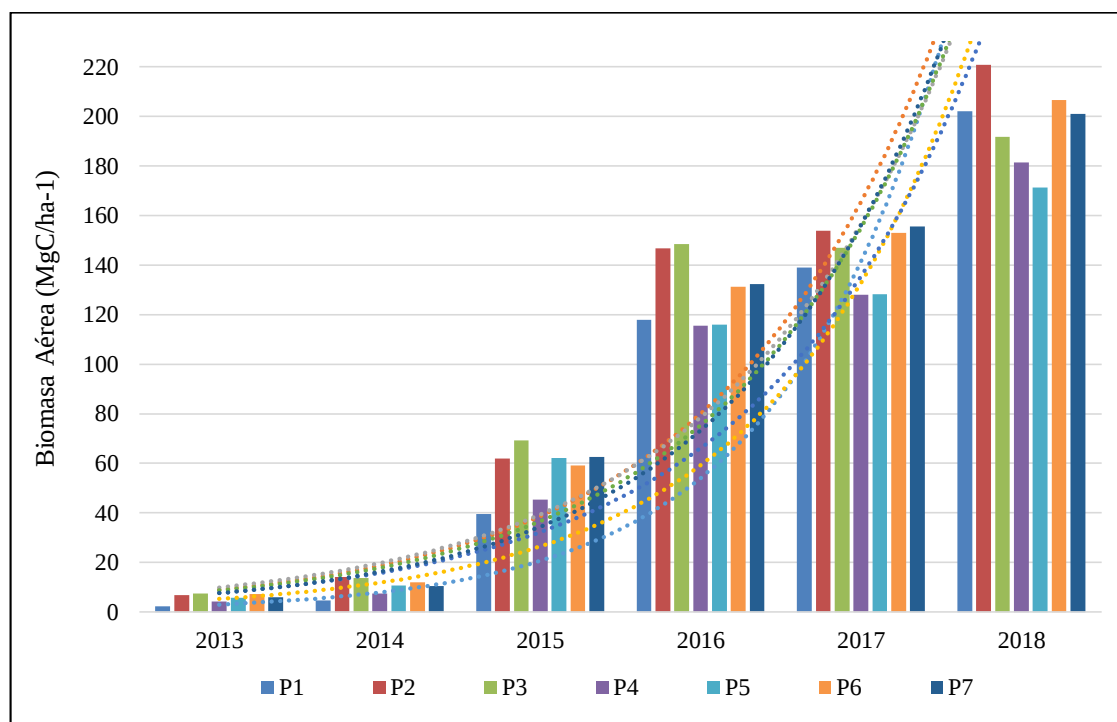


Figura 24. Carbono almacenado en la biomasa aérea en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), rodal DA28.

La figura 24 muestra la tasa porcentual de incremento anual de la biomasa aérea y fijación C en una plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb). Esta biomasa se obtuvo de la medición de fuste y ramas de cada árbol en base al volumen y la densidad de

diferentes componentes de la madera (Rodríguez & Cargua, 2013). El valor promedio de la biomasa aérea para el rodal DA28 en el año 2013 fue de 5,63 (MgC/ha⁻¹) y a medida que la plantación forestal se desarrolla va almacenando en cada una de sus secciones; es así que para el año 2018 la plantación ha fijado 196,45 (MgC/ha⁻¹). En base a lo anterior es importante indicar que la plantación forestal juega un papel importante en la mitigación y adaptación de los efectos negativos frente al cambio climático. Estos valores de biomasa son similares a los reportados por (Cortés, 2016). También es importante indicar que las variaciones en el contenido de la biomasa en cada una de las parcelas se atribuye a la calidad del suelo, densidad de siembra y manejo silvicultural (Ávila et al., 2014).

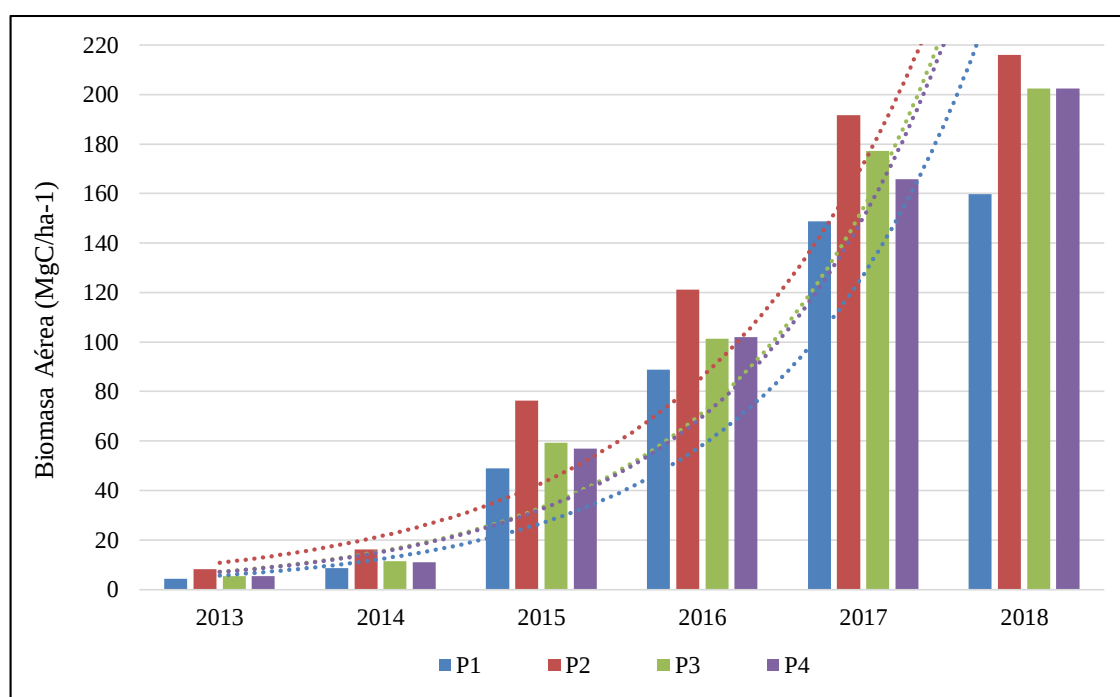


Figura 25. Carbono almacenado en la biomasa aérea en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), rodal DB32.

Los resultados de biomasa aérea obtenidos en el rodal DB32, indican que en el año 2013 presentó un valor promedio de 5,80 MgC/ha⁻¹ y a los seis años de edad generó en promedio 195,15 MgC/ha⁻¹, lo que indica que la edad de los árboles de melina están ligados íntimamente con la tasa de acumulación de biomasa aérea (ver Figura 25). Cabe indicar también que cuando los árboles alcanzan un DAP mayor o igual a 30 cm retienen de 70 a 80 % de C, teniendo en cuenta que el 50% de la biomasa es C; estos valores son similares a los reportados en la investigación realizada por (Ramos, 2018). Por lo anterior

expuesto es importante considerar a las plantaciones forestales como una alternativa para proyectos de almacenamiento de C (López et al., 2016).

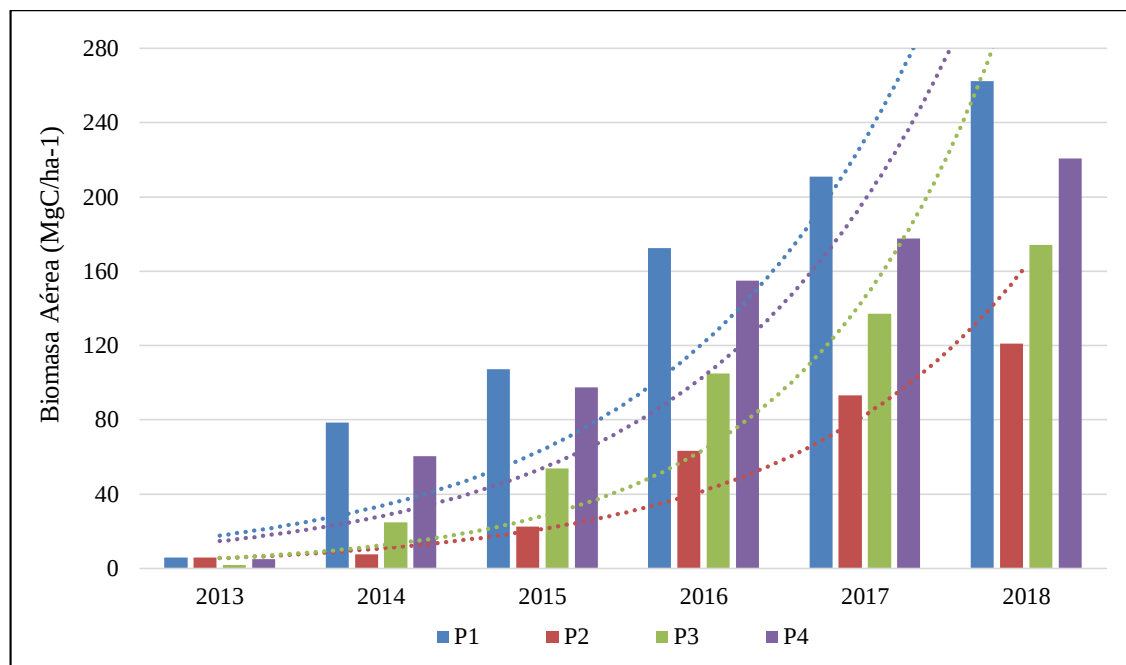


Figura 26. Carbono almacenado en la biomasa aérea en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), rodal DC40.

En la figura 25 se observa de manera detallada la tendencia ascendente del C almacenado en la biomasa aérea del rodal DC40, a lo largo de los seis años de edad. En el primer año de medición la biomasa reporta un valor medio de $4,56 \text{ MgC/ha}^{-1}$ y al cabo de seis años se obtuvo una acumulación de $194,59 \text{ MgC/ha}^{-1}$ de biomasa verde, con una captura anual de $32,43 \text{ MgC/ha}^{-1}$.

Esta vertiginosa acumulación de la biomasa se debe a que la melina (*Gmelina arborea*) es una especie de rápido crecimiento, por lo que se debe indicar el servicio ambiental que proveen las plantaciones forestales como secuestradores de C.

Es por ello que se debe de plantar este tipo de especies ya que ayudan a disminuir la concentración de este elemento en la atmósfera, mismas que se incrementa debido a las emisiones producto de la actividades antrópicas (Razo, Gordillo, Rodríguez, Maycotte, & Acevedo, 2013).

4.1.3. Carbono almacenado en la biomasa subterránea

La biomasa subterránea es una de las más importantes ya que es donde se almacena, absorbe y reciclan los nutrientes minerales y el agua. Las raíces de las plantas son una de las partes más importantes pero a la vez la más difícil de investigar (Gárate & Blanco, 2013). En la presente investigación el análisis de la biomasa subterránea está basado en ecuaciones matemáticas (factores de expansión para raíz 0,27), las mismas que permiten determinar la cantidad de biomasa y carbono de la raíz a partir del inventario forestal (Rodríguez & Cargua, 2013).

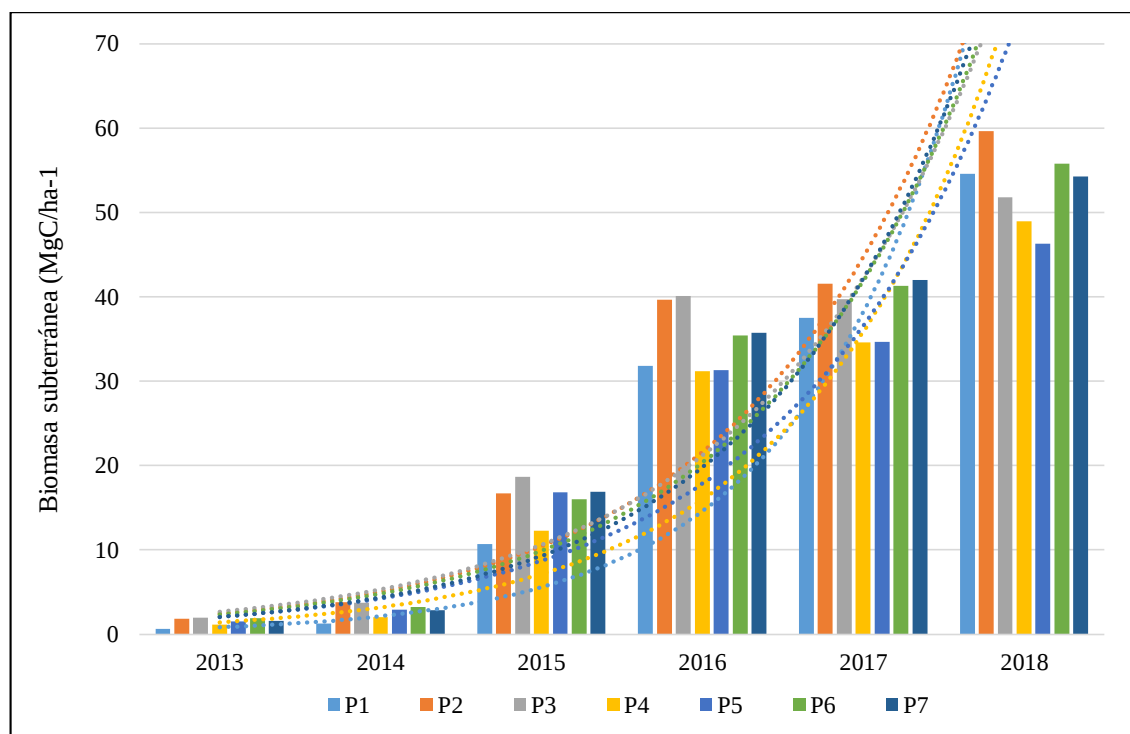


Figura 27. Carbono almacenado en la biomasa subterránea en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) Rodal DA 28.

La cantidad de biomasa en la parte subterránea de la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), rodal DA 28, son el resultado del promedio obtenido de las siete parcelas durante los seis años de medición (ver Figura 27). En el primer año la biomasa promedio fue de 1,52 MgC/ha⁻¹ y para el año 6 (2018), la biomasa promedio fijada por la plantación forestal de melina es de 53,04 MgC/ha⁻¹.

De acuerdo a Guerra, Gayoso, Schlatter, & Nespolo (2005), existe gran variabilidad en la producción de raíces finas y gruesas, tomando en consideración la ubicación geográfica, clima, especie y edad de los individuos. Según MacDicken (1997), la biomasa de raíces representa entre el 10 y el 40% de la biomasa total, mientras que la biomasa de raíces finas contribuye en menos de un 5 % a la biomasa arbórea total.

Estas proporciones destacan la importancia de incluir la estimación de biomasa subterránea cuando se evalúa el potencial de las plantaciones forestales en especial de la melina (García, 2010).

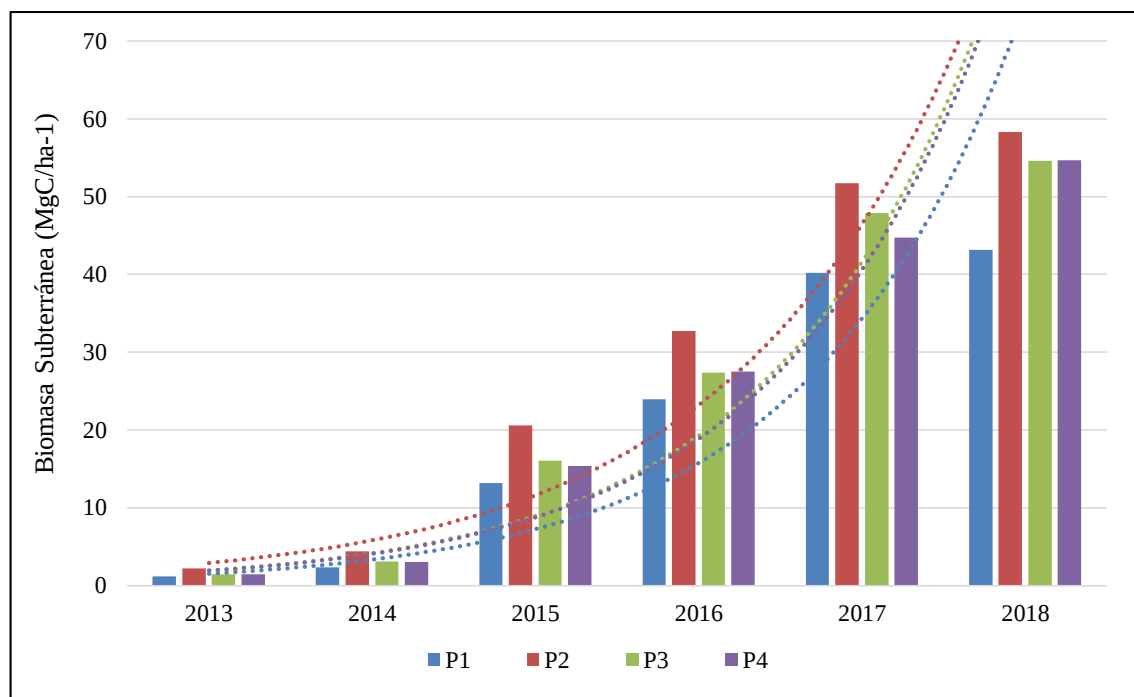


Figura 28. Carbono almacenado en la biomasa subterránea en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) Rodal DB32.

La cantidad de biomasa en la parte subterránea de la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), rodal DB32, son el resultado del promedio obtenido de la cuatro parcelas durante los seis años de medición (ver Figura 28). En el primer año la biomasa promedio fue de 1,57 MgC/ha⁻¹ y para el año 6 (2018), la biomasa promedio fijada por la plantación forestal de melina es de 52,69 MgC/ha⁻¹.

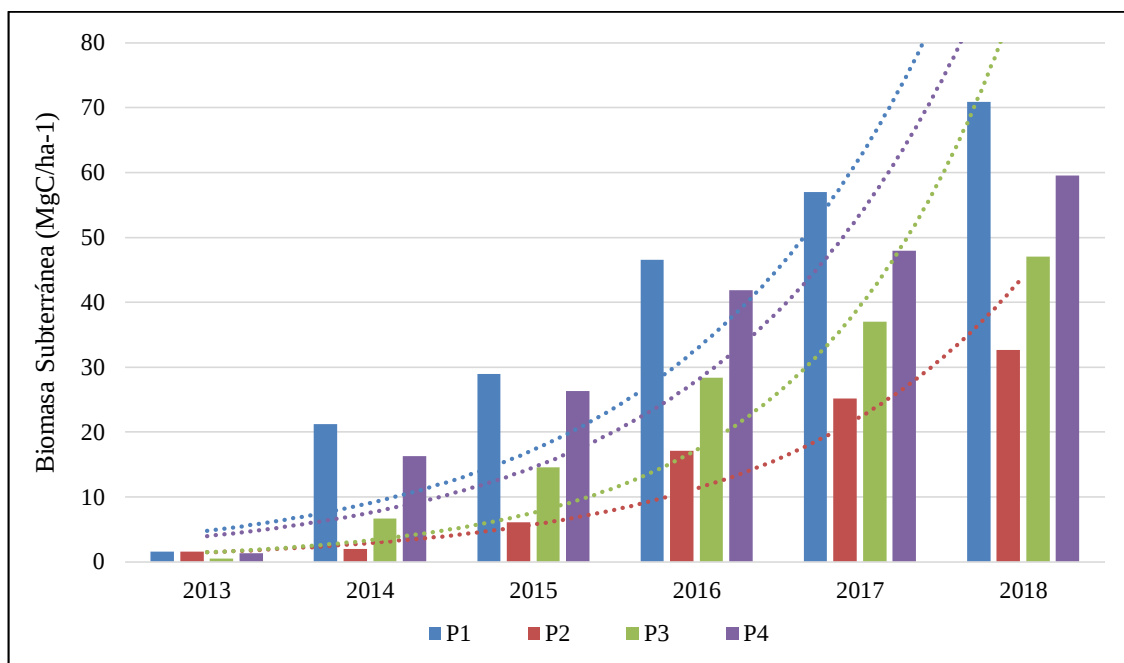


Figura 29. Carbono almacenado en la biomasa subterránea en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) Rodal DC 40.

Como se observa en la Figura 29, la cantidad de biomasa en la parte subterránea de la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), rodal DC40, es el resultado del promedio obtenido de la cuatro parcelas durante los seis años de medición. En el primer año la biomasa promedio fue de 1,23 MgC/ha⁻¹ y para el año 6 (2018), la biomasa promedio fijada por la plantación forestal de melina fue de 52,54 MgC/ha⁻¹. La distribución porcentual de la biomasa bajo suelo por rodal no difiere mucho con lo reportado por García (2010).

4.1.4. Relación biomasa aérea y subterránea

En el presente estudio se determinó la relación entre la biomasa aérea/subterránea, con los valores más representativos (promedios) obtenidos del inventario forestal realizado en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb). Es importante entender que la sección aérea y subterránea depende una de la otra para la producción de biomasa. Las raíces sirven de anclaje de la planta al suelo, por lo que requieren de carbohidratos producidos en la parte aérea a través de la fotosíntesis para su desarrollo y la parte aérea requiere nutrientes y agua captados por las raíces (Guerra et al., 2005).

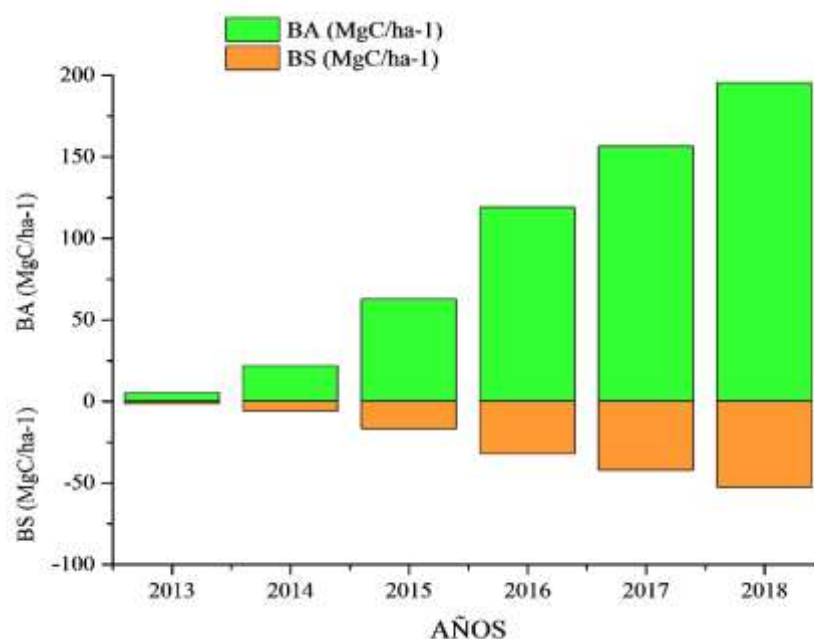


Figura 30. Relación biomasa aérea y subterránea

Los valores obtenidos de biomasa aérea y subterránea, presentan un incremento exponencial respecto a la edad de la plantación; es así que en el año 1 (2013), la biomasa aérea registró un valor medio de $5,33 \text{ MgC/ha}^{-1}$ y la subterránea un valor de $1,44 \text{ MgC/ha}^{-1}$, con una relación proporcional de 81-19 % respectivamente. Para el año 6 (2018) la plantación incrementa la biomasa aérea a $195,40 \text{ MgC/ha}^{-1}$ y la subterránea a $52,76 \text{ MgC/ha}^{-1}$, con una relación proporcional de 79-21 % respectivamente (ver Figura 30).

4.2. CARBONO ALMACENADO EN LA HOJARASCA, *DETRITUS NO VIVO* Y EN LA BIOMASA DE SOTOBOSQUE, EN PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (*Gmelina arborea* ROXB), EN EL CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO

La hojarasca y *DNV* se refiere a las estructuras vegetales de hojas, ramas y troncos que se encuentra en proceso de descomposición. Por lo tanto estimar el carbono en el *DNV* es de gran importancia debido a que este es un deposito (compartimento) que pocos estudios lo reportan (Rodríguez & Cargua, 2013). La evaluación de este reservorio se lo realizó en cada sub parcela de 50x50cm, implementada en las PPM de los rodales (DA28, DB32 y DC40).

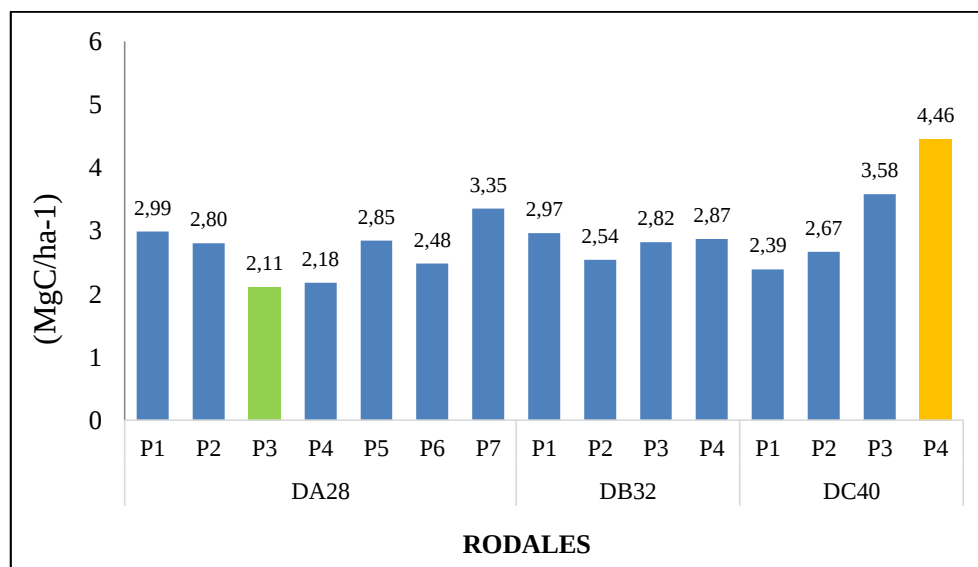


Figura 31. Contenido de carbono de *DNV* en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

La variación del contenido de C en la hojarasca y *DNV* entre parcelas de la zona de estudio fue relativamente moderada (rango 2,11 - 4,46 MgC/ha⁻¹), con un promedio de 2,87 MgC/ha⁻¹ (ver Figura 31). Al parecer estos valores están correlacionados con el aporte de biomasa del SOTB, la incorporación de materia orgánica a través de la caída de hojas y los tratamientos silviculturales (poda y raleo), con el objetivo de evitar mal formaciones, asegurar la calidad de la madera y estimular el crecimiento en altura. Los resultados de *DNV* obtenidos en la plantación forestal fueron similares a los reportados por Cargua, Rodríguez, Recalde, & Vinuesa (2014), quien registraron en promedio 2,63 MgC/ha⁻¹ en plantaciones forestales de pino (*Pinus radiata*), ubicadas en la cordillera de los andes de Ecuador.

Con el fin de entender el funcionamiento del ecosistema en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), fue necesario incluir la valoración de C del estrato de SOTB, por lo que estimar la cantidad de C forestal en especies herbáceas y arbustivas menores a 5 cm de DAP, resulta fundamental al momento de implementar programas REDD+ (Paky, Moreno, & Álvarez, 2017).

Para tener una idea de la composición de la estructura de SOTB de la plantación forestal ponemos a consideración el estudio realizado por Tercero (2015), en donde menciona que

la distribución de especies, está formada por un conjunto plantas arbustivas y herbáceas pertenecientes a las familias: Poaceae 30% Asteraceae 15% Cyperaceae 10% y las familias, Bombacaceae, Piperaceae, Tiliaceae, Bignoniaceae, Lamiaceae, Araliaceae, Verbenaceae, Solanaceae y Rubiaceae en conjunto suman 45%. Este tipo de diversidad cumple un rol importante en el funcionamiento del ecosistema, influyendo directamente en la dinámica del carbono (Fernando Paz et al., 2013). La producción de biomasa por parte del SOTB determina la calidad y cantidad de materia orgánica aportada al mantillo, a una velocidad que las especies de ciclo largo (perennes) no lo pueden lograr.

En este sentido, la composición vegetal de SOTB contribuye a una mayor disponibilidad de recursos al suelo, en especial al secuestro de C (Chávez, Rodríguez, Enríquez, Velasco, & Gómez, 2017).

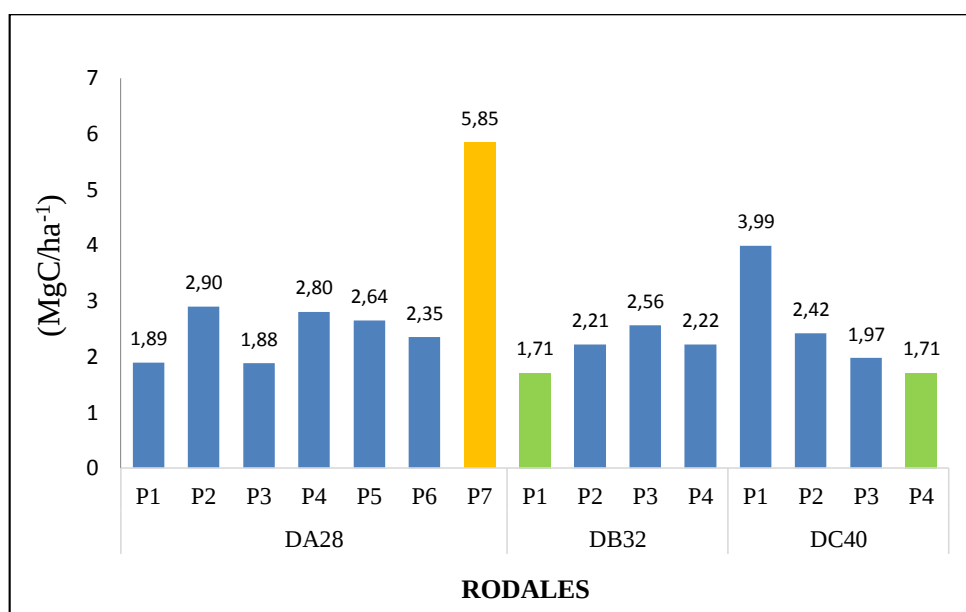


Figura 32. Contenido de carbono de SOTB en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

En la figura 32 se muestra el contenido de C de SOTB, en cada una de las parcelas de los tres rodales en estudio. La parcela 7 del rodal DA28 es la que mayor C posee (5,85 MgC/ha⁻¹) y el menor contenido lo presenta la parcela 1 de los rodales DA28 y DC40 (1,71 MgC/ha⁻¹). Considerando la biomasa de SOTB se estimó un promedio total de 2,61 MgC/ha⁻¹ para la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado, para el año 2018.

4.3. CARBONO FIJADO EN EL SUELO DE PLANTACIONES FORESTALES DE MELINA (*Gmelina arborea* ROXB), EN EL CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO

Los suelos del área de estudio bajo plantación forestal, presentan una textura franco arcilloso que permiten un buen drenaje, con buen desarrollo de estructura para darle suficiente aireación a las raíces, sin problemas de compactación. Son suelos muy profundos y sueltos, de color negro en la superficie y pardo oscuro y pardo amarillento en el subsuelo. Presentan una secuencia de horizontes de Ap, Bw1, Bw2, Bw3, BC y C. Son suelos muy arenosos a partir del horizonte BC que está ubicado como a 80 cm de profundidad.

4.3.1. pH del suelo

El pH del suelo es una de las propiedades químicas más importantes ya que controla el movimiento de iones, la disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico y la actividad microbiana (Sainz, Echeverría, & Angelini, 2011). Además es importante indicar que para que exista una máxima disponibilidad de nutrientes el pH del suelo debe estar en un rango de 6,5 a 7,5 (Lopez & Zamora, 2016). Esto facilita una mejor absorción de los nutrientes y un por ende un mejor desarrollo de la plantación. Para el análisis de pH en el suelo de la zona de estudio se tomó en consideración las dos profundidades: 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.

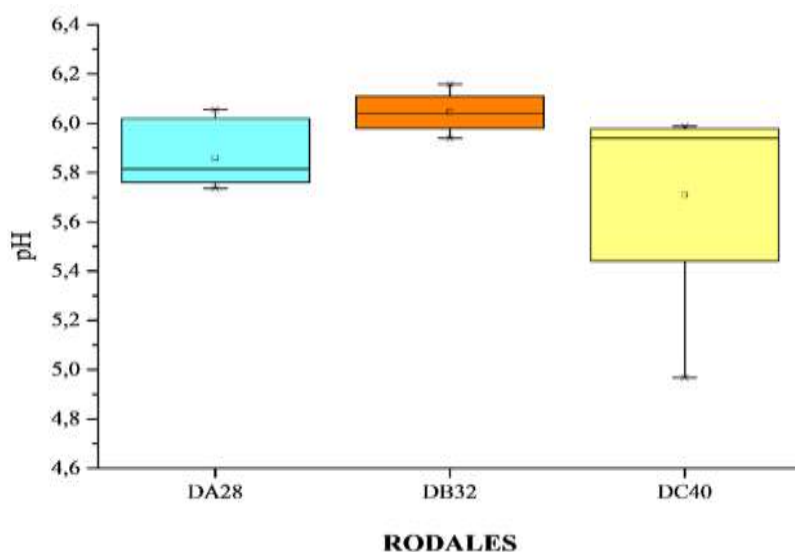


Figura 33. pH del suelo 0 a 30 cm

En la primera profundidad se observa que el valor de pH en el rodal DA28, varía entre 5,7 a 6,1 con un valor medio de 5,8; en el rodal DB32 el pH varía entre 5,9 a 6,1 con un valor medio de 6,0 y en el rodal DC40 el valor de pH oscila entre 4,9 a 5,9 con un valor medio de 5,71 (ver Figura 33); estos valores corresponden a un pH ligeramente ácido a moderadamente ácido (Rojas et al., 2004; Sainz et al., 2011).

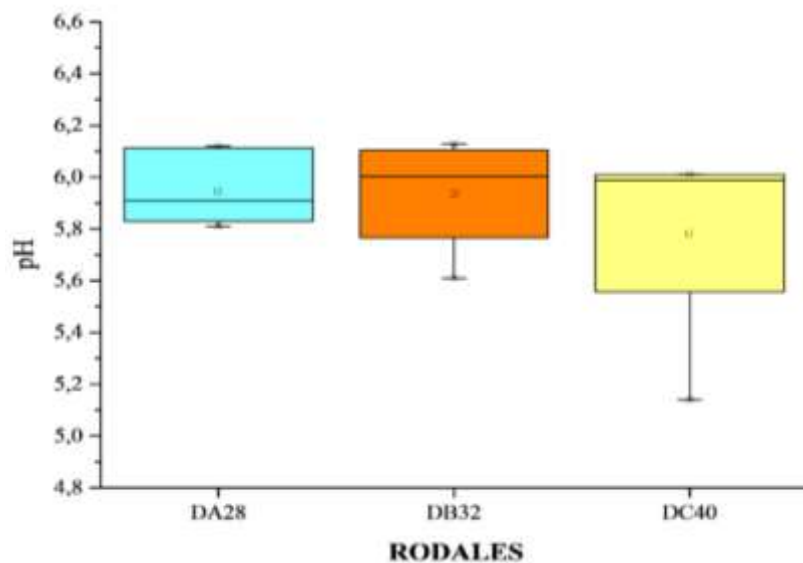


Figura 34. pH del suelo 30 a 60 cm

En la profundidad de 30 a 60 cm se observa que no existe una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los valores de pH en los tres rodales en la plantación forestal (DA28, DB32 y DC40). El promedio de pH del suelo de rodal DA28 y DB32 fue de 5,94, mientras que en el DC40 fue de 5,78 (ver Figura 34), lo cual representa un pH moderadamente ácido por estar entre rangos de 5,1 y 6,5 (FAO, 2013).

Este ligero incremento de los valores de pH en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), se debe a la presencia de zonas cercanas de cultivo, ya que el suelo tiende a descalcificarse porque este es absorbido por los cultivos, y a su vez por la introducción de abonos nitrogenados al suelo y su elevada precipitación. Además es importante indicar que el suelo recibe aportes de materia orgánica producto de la chapia, actividades silvícolas como poda y raleo.

4.3.2. Color

El color del suelo es una característica de fácil identificación, generalmente está determinada por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica y óxidos de hierro (FAO, 2009). En la presente investigación se determinó el color del suelo en estado seco y húmedo; los mismos que están dentro del matiz 10YR.

En lo que respecta al estado seco la luminosidad (value) y la intensidad (chroma) está dentro de los valores: 4/3; 4/4 y 4/6, que indica un suelo de coloración marrón a oscuro marrón amarillento y en estado húmedo se sitúa entre un value y chroma de: 4/3; 3/4; 4/4 y 4/2, lo que concierne a suelos color marrón, marrón muy oscuro y marrón grisáceo respectivamente (ver Figura 35). Los suelos de coloración más oscura se deben básicamente a que el contenido de materia orgánica aumenta y tiende a tomar una coloración más oscura al aumentar la humificación (FAO, 2009).

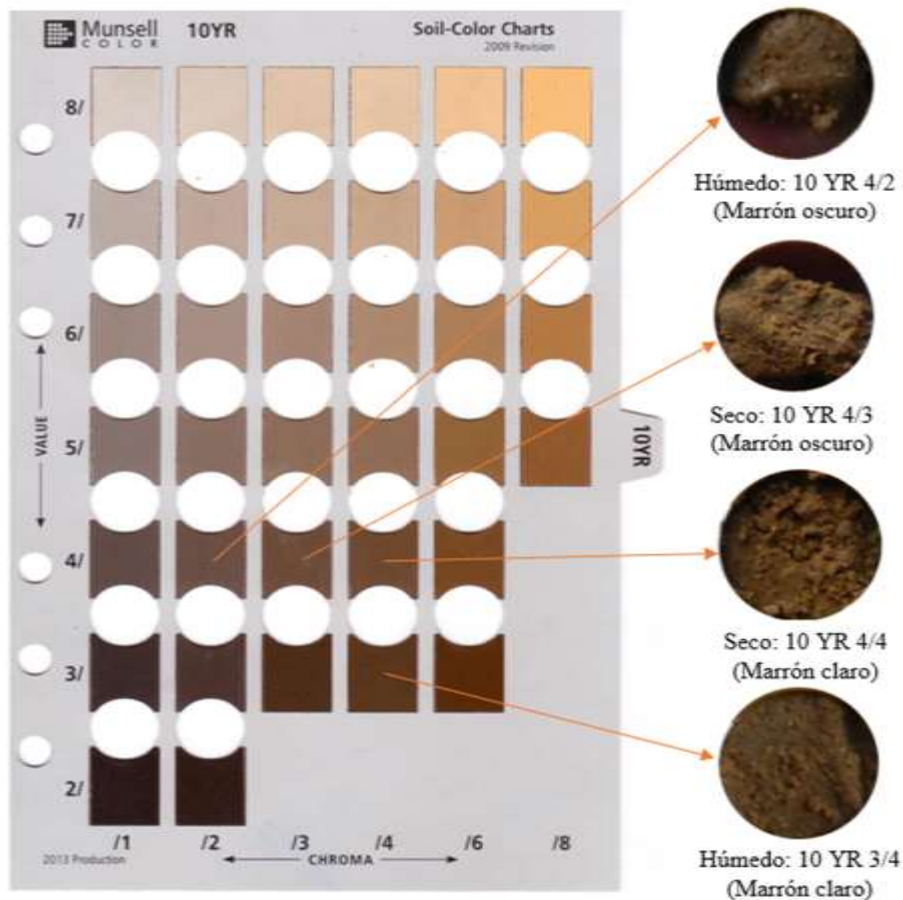


Figura 35. Color de los suelos bajo plantación forestal con relación al matiz 10YR

4.3.3. Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de arena limo y arcilla en un volumen de suelo dado. Esta propiedad está relacionada directamente con la facilidad con que se puede trabajar el suelo; además de la cantidad de agua o aire que puede retener (FAO, 2009). A partir de muestras de suelo previamente recolectadas en el área de estudio se pudo determinar la textura del suelo donde se observó que predomina la clase textural Franco arcilloso (FY). Este tipo de textura es denominada también suelos pesados o fuertes; estos son considerados como una textura óptima porque cuenta con una mezcla de arena, limo y arcilla, lo que supone un equilibrio entre la permeabilidad al agua, retención de la misma y nutrientes (Ciancaglini, 2010). Por lo anterior expuesto podemos afirmar que la textura de las dos profundidades proviene del mismo material parental e igual mineralogía, lo que da origen a una textura de grano fino a grano medio.

En la Figura 36, podemos observar que las clases texturales para los tres rodales muestran uniformidad textural en todo el perfil, con predominio de la clase textural FY. Los suelos donde se encuentra establecida la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb), presentan una gran heterogeneidad en la textura; lo que permiten probar la hipótesis que los cambios producidos en algunas propiedades del suelo son debidos a los cambios de uso de la tierra (Mogollón, Torres, & Martínez, 2010).

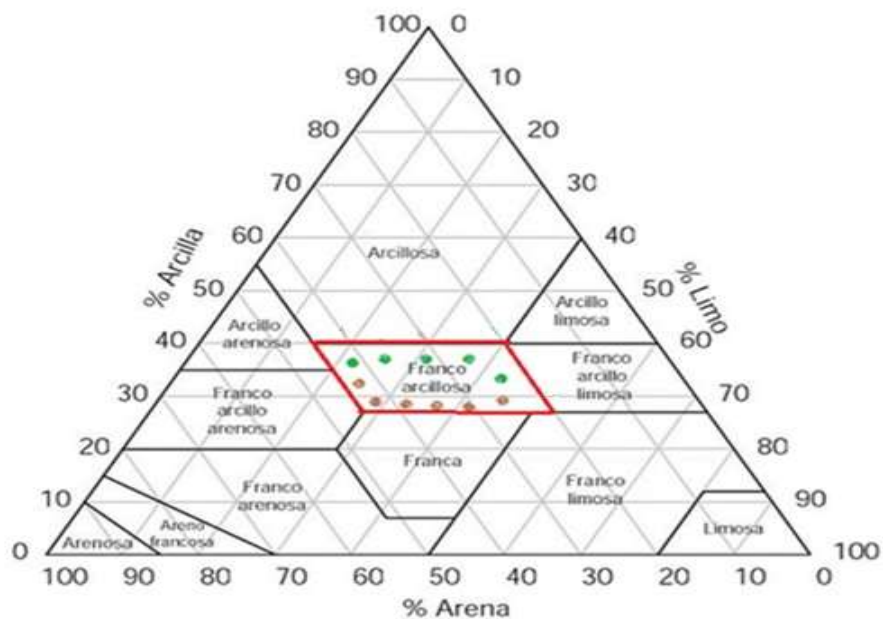


Figura 36. Clases texturales del suelo bajo plantación forestal

4.3.4. Estructura

La estructura del suelo hace referencia a la organización natural de partículas del suelo (agregados), los mismos que están separados entre sí mediante la porosidad (FAO, 2009). Los suelos de la zona de estudio presentan una estructura de tipo granular (ver Figura 37), lo que favorece a un mejor flujo del aire, agua y nutrientes. Es importante indicar que este tipo de estructura presenta una mejor cohesión lo que le convierte en un suelo resistente al impacto de la lluvia y el viento (Camargo, Dossman, Rodriguez, Arias, & Galvis, 2012). Además, una buena estructura lo convierte en un suelo más productivo, debido a que proporcionan las facilidades para que la planta desarrolle su sistema radicular de mejor manera, favoreciendo a un rápido crecimiento y un mayor rendimiento.

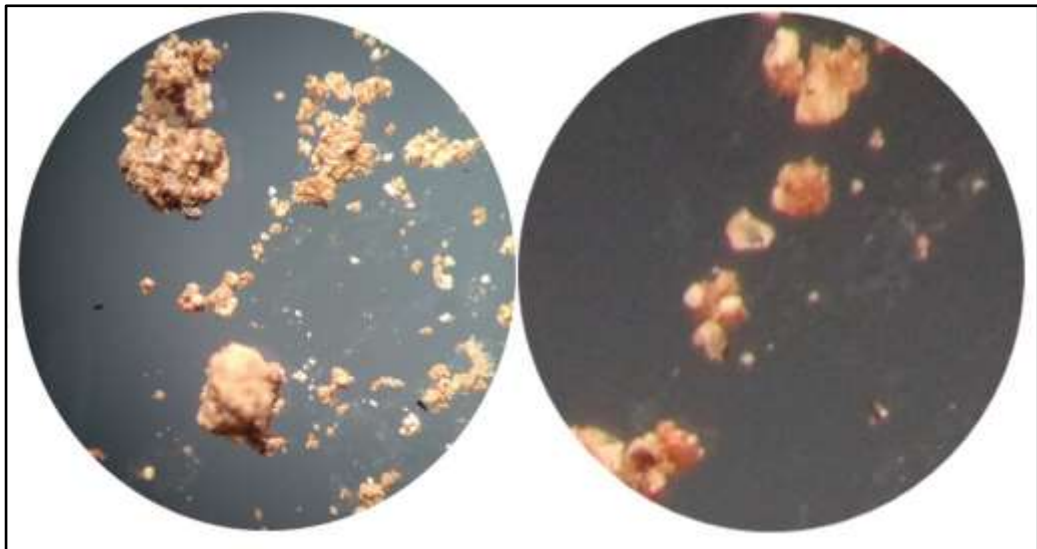


Figura 37. Estructura del suelo de la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

4.3.5. Densidad aparente

La densidad aparente (D_{ap}) del suelo se define como la relación entre la masa del suelo seco (105°C) y el volumen total incluyendo la parte porosa. Esta propiedad es importante para la descripción de la calidad del suelo y la función del ecosistema (FAO, 2009). En la figura 38, se muestran los valores de D_{ap} del suelo a una profundidad de 0 a 30 cm en

la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), los mismos que fueron significativos ($p < 0,05$). El valor medio de la Dap fue $1,14 \text{ g/cm}^3$, pero a medida que aumenta, se incrementa la compactación y una reducción de los espacios porosos; esto se ve reflejado en un incremento de la humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces (A. Jiménez, 2014). Esta causa se atribuye a la intervención de maquinaria pesada que ingresa a la plantación forestal para realizar el aprovechamiento final que en el caso de la melina es un tiempo corto por ser una especie de rápido crecimiento (7 a 8 años). Por ello es importante conservar la capa superficial del suelo ya que favorece el reciclaje de nutrientes, la infiltración y retención de agua (Aguilar, 2011; Rodríguez & Carga, 2013).

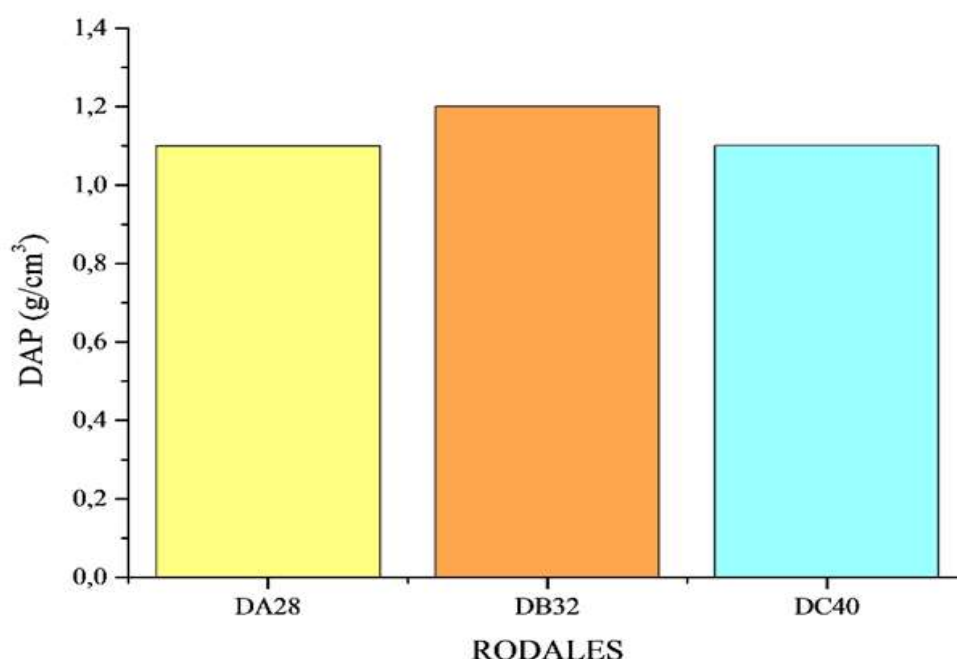


Figura 38. Densidad aparente del suelo a un profundidad de 0 a 30 cm en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

El valor de la Dap del suelo presente en la profundidad de 30 a 60 cm en el rodal DA28 fue $1,28 \text{ g/cm}^3$, en el DB32 $1,36 \text{ g/cm}^3$ y en el DC40 $1,20 \text{ g/cm}^3$ (ver Figura 39), estos valores son superiores a los presentados en la profundidad de 0 a 30 cm. Este ligero incremento en la Dap del suelo se debe a que las arcillas migran hacia el horizonte inferior, depositándose sobre los agregados y reduciendo el espacio poroso (Andrade, Segura, & Rojas, 2016; Moreno, González, & Egido, 2015).

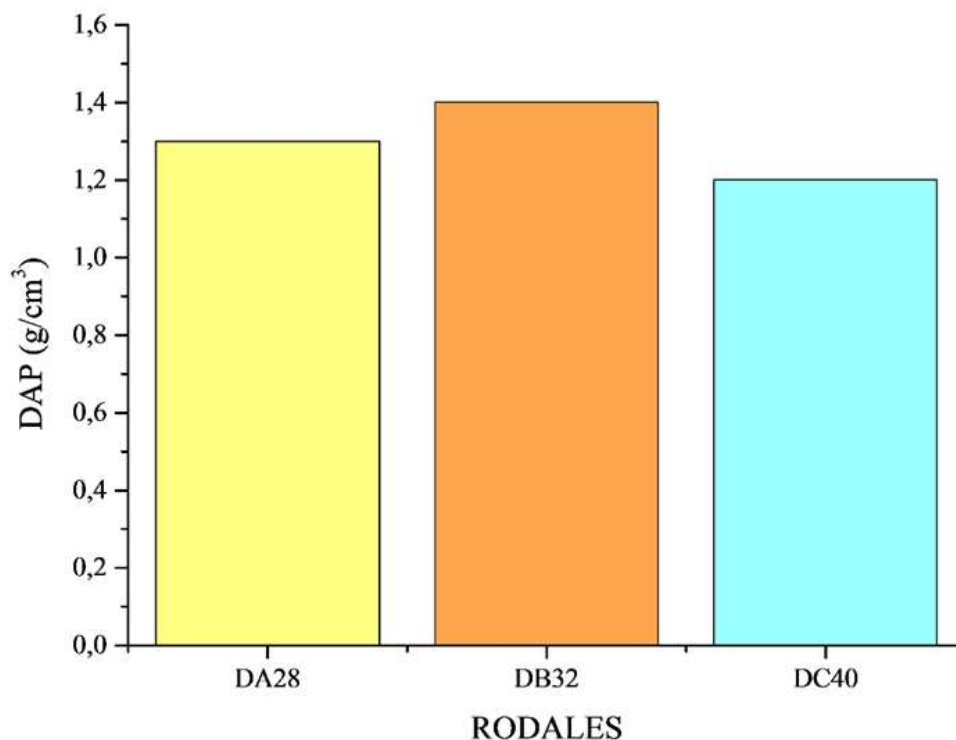


Figura 39. Densidad aparente del suelo a un profundidad de 30 a 60 cm en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

4.3.6. Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico del suelo (COS), es considerado un indicador clave del estado y salud del mismo (Sainz et al., 2011), contribuye significativamente a la producción de alimentos, mitigación y adaptación al cambio climático y cumple un rol importante en el almacenamiento y purificación de agua (Milagros, Rodríguez, Calero, Ponce, & Font, 2015).

El secuestro de carbono del suelo es un proceso mediante el cual el C es fijado desde la atmósfera por las plantas durante la fotosíntesis en donde una parte queda movilizándolo en los tejidos vegetales y otra parte regresa al suelo (FAO, 2017). El COS es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica del suelo y en condiciones naturales el C de la materia orgánica es incorporado al suelo a través de residuos orgánicos especialmente de tipo vegetal (Milagros et al., 2015).

El monitoreo del ciclo del C en las plantaciones forestales es de vital importancia, debido a que se busca entender el papel de estas en el ciclo global y como contribuyen a la regularización del dióxido de carbono (CO_2), en la atmosfera (Pardos, 2010).

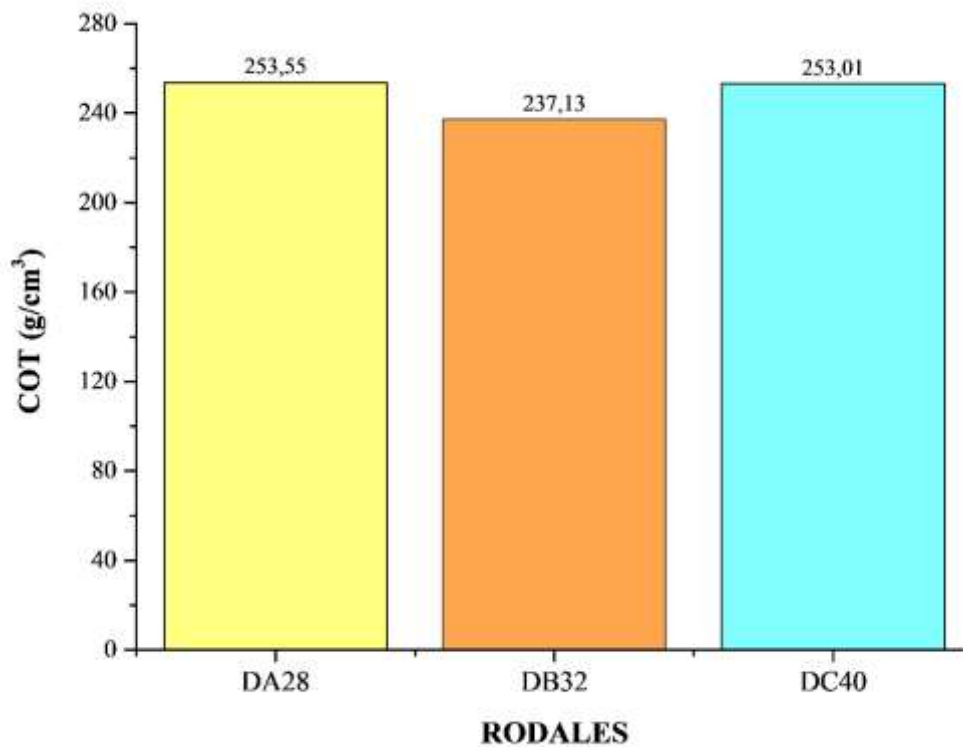


Figura 40. Carbono orgánico a una profundidad de 0 a 30 cm en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

En la figura 40 se puede observar la distribución del C del suelo en los diferentes rodales a una profundidad de 0 - 30 cm. El valor más alto lo registró el rodal DA28 con 253,55 MgC/ha^{-1} y el valor más bajo lo presenta el rodal DB32 con 237,13 MgC/ha^{-1} , estos valores están influenciados directamente por la densidad aparente, y la profundidad del primer horizonte. La estimación del COS a esta profundidad mostró una alta heterogeneidad en toda el área de estudio. Una de las principales causas de la pérdida del COS son los cambios de uso de suelo, producto de las actividades antrópicas. Una de las principales causas es la intervención por labranza, la cual hace que se rompa los agregados del suelo y el C al ser una fracción sensible se ve alterado y se convierte en CO_2 que es un gas que contribuye al calentamiento global (Hayduk & Vafadari, 2015; Pardos, 2010; Sánchez et al., 2011).

En un estudio realizado por, Cifuentes, Jodse, Watson, & Kauffman (2004) en Costa Rica, se encontró que la cantidad de C almacenada en los primeros 30 cm del suelo en bosques primarios varía entre 57,80 y 127,44 Mg C/ha. En ese estudio se efectuaron análisis por zona de vida, donde el Bosque Pluvial Premontano y Pluvial Montano Bajo acumulan más C en el suelo, con 127,00 y 127,44 Mg C/ha, respectivamente.

En otro estudio citado por (Cifuentes et al., 2004), se encontró que los depósitos de C son mayores conforme aumenta la precipitación promedio anual, y que en el suelo de pastizales son mayores comparado con bosques primarios (Aguilar, 2011; Andrade et al., 2016; Paky et al., 2017). Del mismo modo (Cifuentes et al., 2004), explican que en Bosque Seco Tropical hay mayor acumulación de carbono en el suelo que en Bosque Muy Húmedo Tropical y le atribuyen la causa a la humedad disponible en el suelo del Bosque Húmedo Tropical. Esta condición de humedad es suficiente para no detener completamente la descomposición de materia orgánica, aún durante la época seca, con lo que los procesos de lixiviación y descomposición de la materia orgánica son más constantes y permiten; por tanto, una acumulación mayor de C a través del tiempo.

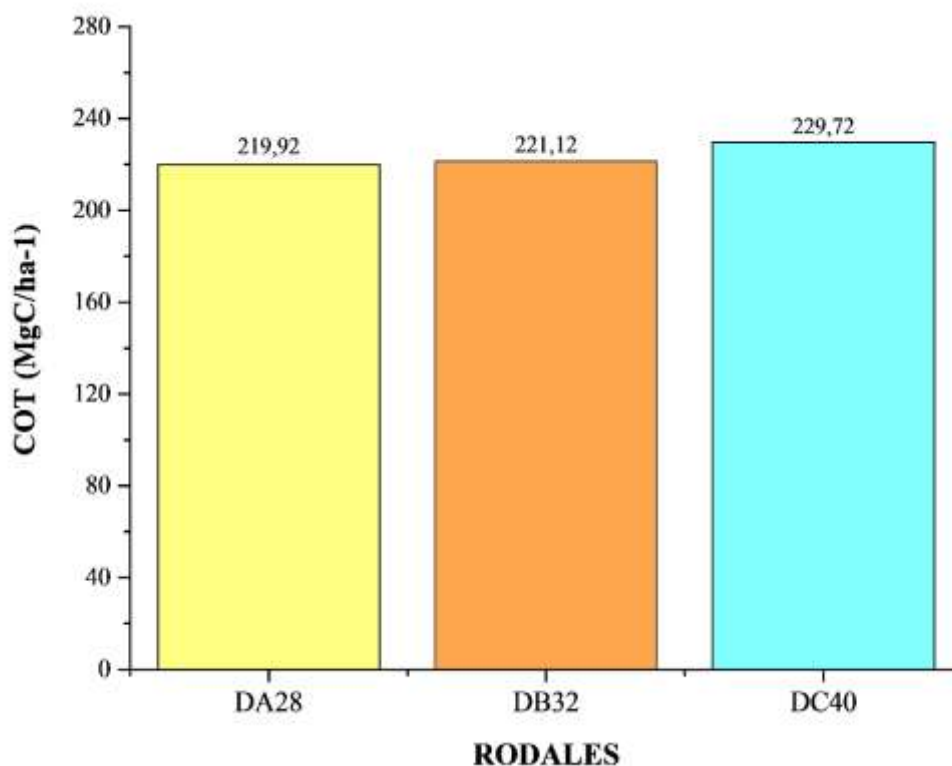


Figura 41. Carbono orgánico a una profundidad de 30 a 60 cm en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

En cuanto a la profundidad de 30 a 60 cm se puede observar que no existen diferencias significativas (ver Figura 41) y los valores reportados en este estudio son inferiores a los conseguidos en la profundidad de 0 – 30 cm, esto nos da a conocer que el contenido de C es inversamente proporcional a la profundidad. El mayor contenido de C está presente en el rodal DC40 (229,72 MgC/ha⁻¹) y el valor más bajo está concentrado en el rodal DA28 (219,92 MgC/ha⁻¹).

4.3.7. Carbono orgánico total

El carbono orgánico total (COT), es el resultado de la medición de los diferentes compartimentos estudiados, mismos que permitieron conocer la dinámica del C presente en la plantación forestal de Melina. El C en la biomasa es acumulado gracias al proceso de la fotosíntesis y crecimiento de las plantas (aérea y subterránea), en el suelo debido a la incorporación de la materia orgánica proveniente de la descomposición plantas y animales (García, 2010; Rodríguez & Cargua, 2013). Por lo anterior expuesto, el presente estudio determino el COT en los cinco compartimentos (IPCC, 2007; Vasquez, 2019) con el objetivo de evaluar el stock de carbono almacenado por la plantación forestal de melina durante los seis años de edad.

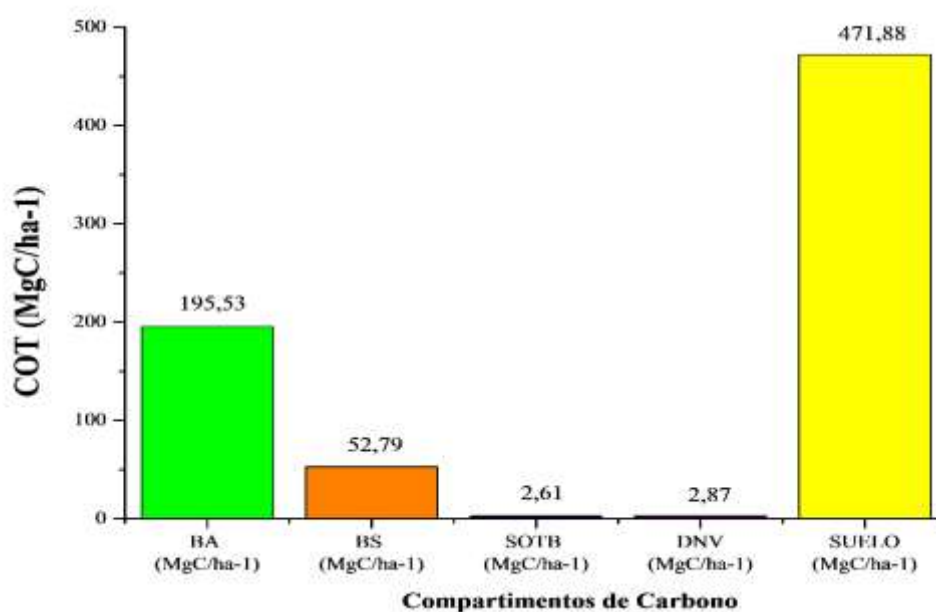


Figura 42. Carbono orgánico total en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

La figura 42 muestra la distribución del COT en los cinco compartimentos, fijados por la plantación forestal de melina. El COT de la biomasa aérea, acumulada a los seis años de edad fue de $195,53 \text{ MgC/ha}^{-1}$, esto equivale a un incremento anual de $32,59 \text{ MgC/ha}^{-1}$ con una densidad promedio de $279 \text{ árboles/ha}^{-1}$.

La acumulación de la biomasa radicular también fue ascendente, pero con valor muy inferior entre $52,79 \text{ MgC/ha}^{-1}$ a los seis años. La relación entre el aporte de la biomasa aérea y subterránea varía con la edad de los árboles, el tipo de suelo y las condiciones climáticas.

El ciclo de formación de las raíces finas está influenciado por la edad, prácticas silviculturales, densidad de plantación y ciertas propiedades del suelo como: distribución de los agregados, humedad y porosidad (Cuellar, Salazar, & Dietz, 2015).

El C fijado en la biomasa aérea de la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), representa el 26,94 % del COT y la biomasa subterránea el 7,27%, la mayor concentración se dio en la biomasa aérea debido a que la melina por ser una especie de rápido crecimiento logra fijar C en menor tiempo.

La determinación del C de SOTB y DNV se realizó una sola vez cuando la plantación tenía seis años de edad y el valor obtenido fue de $2,61 \text{ MgC/ha}^{-1}$, para SOTB y $2,87$ para DNV, lo cual representa el 0,22 % y 0,24 % del COT respectivamente.

El COS resulta el balance entre la incorporación de materia orgánica y la salida en forma de CO_2 producto de la respiración del suelo o el ingreso de maquinaria que compacta o rompe el ciclo de formación de agregados del suelo.

La plantación forestal de melina a los seis años de edad almacenó en promedio $471,88 \text{ MgC/ha}^{-1}$ de C en el suelo, esto representa el 65,03 % del COT. Es importante indicar que la acumulación del C en el suelo es mucho mayor debido a que existe un continuo aporte de materia orgánica y la estabilidad es mucho mayor (Chimbo, 2016; García, 2010).

4.3.8. Análisis estadístico de la variable carbono total en la zona de estudio

Los resultados del análisis estadístico muestra que la tasa promedio de fijación de COT a los seis años en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en los cinco compartimentos fue de 725,68 MgC/ha⁻¹, un coeficiente de variación de 6,48 con límites de confianza +742,74 y - 708,62 y un error relativo del 2,35%, que se enmarca dentro de las perspectivas que se plantearon en la presente investigación.

Tabla 8. Análisis estadístico

Variables	Valor
Media ($\bar{X}$)	725,68
Desviación estándar (S)	47,06
Coeficiente de variación (Cv)	6,48
Error estándar ($S\bar{X}$)	7,95
Error de muestreo ($S\bar{X}$)	17,06
Límite de confianza (+)	742,74
Límite de confianza (-)	708,62
Error relativo (%)	2,35

Las plantaciones forestales proveen muchas ventajas como el aumento de la cobertura, y la generación de productos forestales (Cortés, 2016; Douterlungne, Herrera, Ferguson, Siddique, & Soto, 2013), además, ante la diversidad de coberturas, las plantaciones, principalmente las de rápido crecimiento, representan una fuerte opción para almacenar carbono y compensar la emisión de GEI especialmente del CO₂. Con la apertura del mercado doméstico de carbono la reforestación generará ingresos económicos mediante la venta de bonos de carbono en toneladas de CO₂, por ello es importante incentivar la reforestación de especies forestales (Cortés, 2016).

Las plantaciones forestales como la melina tiene la capacidad de capturar CO₂, en pleno desarrollo, lo que permite reducir la concentración de este elemento en la atmósfera. En base a lo anterior la importancia de estos sistemas radica en que además de mitigar el cambio climático genera productos u otros servicios dentro de la industria de la construcción (Segura, 2018).

4.4. VALOR ECONÓMICO DEL SERVICIO DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO APORTADO POR LA PLANTACIÓN FORESTALES DE MELINA (*Gmelina arborea* ROXB), EN EL CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO

En esta sección se presenta un resumen de los resultados del inventario forestal multipropósito realizado en la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado. El inventario forestal es el resultado de un monitoreo anual durante seis años consecutivos, los mismos que sirvieron de base para formar parte de dos de los cinco compartimentos que propone el IPCC como son el carbono en la biomasa aérea y subterránea. Los tres restantes (SOTB, DNV y suelo) son el resultado de la medición realizada cuando la plantación tenía seis años de edad a fin de complementar la información para generar la valoración económica del servicio de almacenamiento de C. Este tipo de evaluación se convierte en una herramienta sustancial para transmitir a los tomadores de decisiones sobre la importancia de las plantaciones forestales y su servicio para el bienestar de la población. Para realizar el cálculo del valor por tonelada de C se basó en el resumen de precios generados por el mercado de C según INVESTING.COM, el cual es de \$ 25, este tipo de precio corresponde al 14 de junio de 2019 (ver Figura 43).



Figura 43. Precio sobre las emisiones de carbono

Fuente: Futuras emisiones de C junio 2019 (<http://es.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>)

En la figura 44 se muestra la variación del precio de las emisiones de carbono futuras, en los últimos 13 años, es notorio observar como a partir del 2014, ha venido incrementado su precio. Esta es una manera de incentivar para que empresas dedicadas a la producción forestal u otro servicio inviertan en este tipo de alternativas. También se debe mencionar que cuando se fija un precio alto por las emisiones se está forzando a que las industrias reduzcan las emisiones de GEIs, especialmente del CO₂, como una medida de mitigación frente al cambio climático (Miranda, 2018). Este alto precio por el secuestro de C, detectado al momento de realizar la evaluación, hace que la plantación forestal de melina incremente significativamente.



Figura 44. Variación del precio de emisiones de carbono futuras

Fuente: (<http://es.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>)

4.4.1. Valoración económica de carbono

Como podemos observar en la tabla 9, el valor económico del servicio de secuestro de carbono para los seis años de edad en cada uno de los compartimentos tiene un ingreso de \$ 2987,50 para biomasa aérea, \$ 806,63 para biomasa subterránea, \$ 39,87 para SOTB, \$ 43,86 para DNV y \$ 7209,90 para suelo. El resultado se obtuvo a partir de la cantidad de C acumulado en cada uno de los compartimentos y dividido para la cantidad de reserva

acumulada (seis años) y obtenemos el flujo anual de C de la plantación forestal. Este flujo lo multiplicamos por el flujo fijado por el mercado de C (www.ecosystemmarketplace.com.2007) y por último este resultado es multiplicado por el precio de cada tonelada generados por el mercado de CO₂ según investing.com el cual es de US\$ 25,00.

Tabla 9. Estimación del valor económico del servicio de secuestro de carbono aportado por la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb), cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018.

Compartimentos de Carbono	C almacenado (MgC/ha ⁻¹)	Flujo de C (MgC/ha ⁻¹)	Flujo 3,667 (MgCO ₂ equivalente Mg/ha/año)	MgCO ₂ * USD \$ 25
Biomasa aérea	195,53	32,59	119,50	2987,50
Biomasa subterránea	52,79	8,80	32,27	806,63
Sotobosque	2,61	0,43	1,59	39,87
<i>Detritus no vivo</i>	2,87	0,48	1,75	43,86
Suelo	471,88	78,65	288,40	7209,90
Total	725,68	120,95	443,51	11087,76

El valor económico total de servicio de secuestro de carbono aportado por la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018, es de US\$ **11087,76**; la biomasa aérea brindan el 26,94 %; biomasa subterránea 7,27 %; sotobosque 0,36%; detritus no vivo 0,40% y suelo 65,03%.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

“Quien no ha investigado no tiene
derecho a hablar”

Mao Tse -Tung

5.1. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado, permitieron estimar el contenido de biomasa y carbono en los cinco compartimentos y la valoración económica como alternativa para producción de servicios ecosistémico.

- El inventario forestal en el rodal DA28, para el año 6 registró un promedio de 279 árboles/ha⁻¹, con incremento medio anual en altura de 3,66 m/año, DAP de 4,55 cm/año, área basal de 2,78 m²/ha⁻¹ y un volumen de 43,31 m³/ha⁻¹ con un promedio total de 259,85 m³/ha⁻¹. El rodal DB32, registró un incremento medio anual en altura de 4,00 m/año, en DAP 4,68 cm/año, en área basal 2,98 m²/ha⁻¹ y en volumen 51,23 m³/ha⁻¹ con un promedio total para el año 6 de 307,36 m³/ha⁻¹. El rodal DC40, para el año 6 el promedio de densidad es de 280 árboles/ha⁻¹, con incremento medio anual en altura de 3,87 m/año, en DAP de 4,30 cm/año, área basal de 2,52 m²/ha⁻¹ y en volumen 42,90 m³/ha⁻¹ con un promedio total de 257,40 m³/ha⁻¹.
- El C promedio capturado por la biomasa aérea en la plantación forestal de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado fue de: Rodal DA28 en el año 1 acumuló 5,63 (MgC/ha⁻¹) y al año 6 acumuló 196,45 (MgC/ha⁻¹). El rodal DB32, en el año 1 almacenó 5,80 MgC/ha⁻¹ y a los seis años de edad generó 195,15 MgC/ha⁻¹ el rodal DC40 el primer año reportó un valor de 4,56 MgC/ha⁻¹ y a los seis años, obtuvo una acumulación de 194,59 MgC/ha⁻¹.
- El C promedio capturado por la biomasa subterránea en el rodal DA28 año 1 fue de 1,52 MgC/ha⁻¹ y para el año 6 fue 53,04 MgC/ha⁻¹. El rodal DB32 el primer año fijo 1,57 MgC/ha⁻¹ y para el año 6 fijo 52,69 MgC/ha⁻¹. El rodal DC40, el primer año almacenó 1,23 MgC/ha⁻¹ y para el año 6 fue de 52,54 MgC/ha⁻¹.
- El C promedio capturado por la hojarasca y DNV en la zona de estudio fue moderada (rango 2,11 – 4,46 MgC/ha⁻¹), con un promedio de 2,87 MgC/ha⁻¹.

- La cantidad de C fijado en el estrato de SOTB, en la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado, para el año 2018, fue de 2,61 MgC/ha⁻¹.
- Los suelos del área de estudio bajo plantación forestal, presentan una textura franco arcilloso, con un pH promedio de 5,87 (0-30 cm) y 5,90 (30-60 cm), lo cual representa un pH moderadamente ácido. La textura del suelo es de tipo franco arcillosa con una estructura granular. El promedio de la Dap en los primeros 30 cm es de 1,1 g/cm³ y a los 60 cm fue de 1,3 g/cm³.
- La tasa de fijación de C promedio en el suelo bajo plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado, fue de: 0 a 30 cm 247,90 MgC/ha⁻¹ y 30 a 60 cm fijo 223,58 MgC/ha⁻¹, los resultados demuestran que el C acumulado en este compartimento es inversamente proporcional con respecto a la profundidad.
- El promedio de COT en el área de estudio tiene fijado 725,68 MgC/ha⁻¹, los cuales están distribuidos de la siguiente manera: BA 195,53 MgC/ha⁻¹ que representa el 26,94%; BS 52,79 MgC/ha⁻¹ con el 7,27%; SOTB 2,61 MgC/ha⁻¹ con el 0,36%; DNV 2,87 con el 0,40% y suelo 471,88 MgC/ha⁻¹ que representa el 65,03%; por lo anterior expuesto, este tipo de sistemas resulta importante al momento de generar alternativas de mitigación frente a efectos del cambio climático.
- El valor económico total estimado para el servicio de secuestro de carbono aportado por la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en el cantón Pedro Vicente Maldonado, es de US\$ **11087,76** ha⁻¹ en el año 2018. El suelo proporciona la mayor cantidad de carbono almacenado con un 65,03 %; seguido de la biomasa aérea 26,94 %; subterránea 7,27 % y en menor proporción el detritus no vivo 0,40% y sotobosque 0,36%.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar seguimiento y monitoreo de las parcelas permanentes de muestreo de forma periódica para estimar la variación de carbono en el transcurso del tiempo, especialmente en la biomasa de sotobosque, detritus no vivo y suelo.
- Dar continuidad a esta investigación hasta el aprovechamiento final de la plantación forestal, y así generar una base de datos reales respecto al secuestro de carbono en cada uno de los compartimentos.
- Realizar este tipo de valoraciones ya que incluyen un estudio completo del stock de carbono, la misma sirve de base para la elaboración de una propuesta de pagos por servicios ambientales en nuestro país.
- Las plantaciones forestales son una alternativa viable de doble propósito por cuanto a medida que se desarrolla fija CO₂, el mismo que se ve reflejado en un incremento del volumen que responde a una mayor ganancia. Este proceso permite demostrar que el CO₂ queda fijado en un producto (madera) cuya durabilidad es ilimitada, garantizando con esto la disminución en la atmosfera. En base a lo anterior se recomienda mantener la plantación forestal debido a que la producción a los 6 años alcanzó en promedio un volumen de 274,74 m³/ha con una rentabilidad de 16484,60 dólares por hectárea versus los 11087,76 dólares por hectárea por servicio de secuestro de carbono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, H. (2011). *Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal.
- Ambiente, C. orgánico del. *Asamblea Nacional del Ecuador. Registro oficial N° 983, 12 de abril de 2017.*, (2017).
- Andrade, H., Segura, M., & Rojas, A. (2016). Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 233. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.24359>
- Arbestain, M., & Pinto, M. (2004). Los sumideros de carbono en el marco del protocolo de Kioto. *Edafología*, 11(1), 27–36.
- Armijos, D. (2013). *Construcción de tablas volumétricas y cálculo de factor de forma (ff.), para dos especies, teca (Tectona grandis) y melina (Gmelina arborea) en tres plantaciones de la empresa REYBANPAC CA, en la provincia de los Ríos*. (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.espacech.edu.ec/bitstream/123456789/2967/1/33T0119> ARMIJOS DARWIN.pdf
- Ávila, C., Murillo, R., Olman, M., & Sandoval, C. (2014). Desarrollo juvenil de clones de Gmelina arborea Roxb, de dos procedencias, en sitios planos del Pacífico Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 12(28), 23–35. https://doi.org/10.1007/978-0-387-70638-2_694
- Camargo, J. C., Dossman, M. a., Rodríguez, J. a., Arias, L. M., & Galvis, J. H. (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronomica*, 61(2), 151–165.
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V., Recalde, C. G., & Vinuesa, L. M. (2014). Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (Pinus radiata) y en Estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información Tecnológica*, 25(3), 83–92. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300011>
- Carriollo, F., Acosta, M., Flores, E., Juárez, J., & Bonilla, E. (2014). Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en La Sierra Nevada, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 779–793.
- Chambers, F. M., Beilman, D. W., & Yu, Z. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*, 7(7), 1–10. Retrieved from <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map07/map0707.php>
- Chávez, E., Rodríguez, G., Enríquez, J., Velasco, V., & Gómez, M. (2017). Compartimentos de biomasa aérea en rodales de Pinus oaxacana bajo tratamientos silvícolas. *Madera Bosques*, 23(3), 147–161. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331627>

- Chimbo, I. (2016). *Evaluación del carbono en la biomasa de dos especies forestales introducidas y una especie nativa en el bosque Aguarongo*. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11782>
- Ciancaglini, N. (2010). *R- 001- Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. 1–10.
- Cifuentes, M., Jodse, J., Watson, V., & Kauffman, B. (2004). Determinación de carbono total en suelos de diferentes tipos de uso de tierra a lo largo de una gradiente climática en Costa Rica. *Bosque*, (August), 1–12.
- Concha, J., Alegre, J., & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* l. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1–2), 75–82. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.047>
- Cortés, Y. (2016). *Análisis mensual de acumulación de biomasa y fijación de carbono en una plantación de Gmelina arborea Roxb . Los Chiles, Alajuela, Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Cuellar, J., Salazar, E., & Dietz, J. (2015). *Patrón de cambios del carbono almacenado en el ecosistema debido al cambio de uso del bosque tropical en la Cuenca de Aguaytía, Perú*. Lima-Perú.
- Cueva, K., Añasco, M., Ordoñez, L., Salazar, X., Sánchez, G., Cisneros, C., & Segura, D. (2012). *Manual de Campo proyecto Evaluación Nacional Forestal* (FAO, Ed.). Quito.
- Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., & Etchevers, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera Y Bosques*, 13(1), 25–34. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1311233>
- Douterlungne, D., Herrera, A., Ferguson, B., Siddique, I., & Soto, L. (2013). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia*, 47(4), 385–397.
- Ecuador, C. del. Ciudad Alfaro: Asamblea Constituyente. , Registro Oficial 449 del 20-Oct-2008 § (2008).
- En, C., Zona, L. A., Del, D. E. I., Riego, C. D. E., Esperanza, G., & Pinango, C. (2014). *Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito*.
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación*, 100. Retrieved from file:///C:/Users/Alina Belen Ortiz/Downloads/a0541s00 (1).pdf
- FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Roma.
- FAO. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas agricultura para el desarrollo*. Retrieved from www.fao.org/publications
- FAO. (2017). *Carbono Orgánico de Suelo, el potencial oculto*.

- Fonseca, W., Alice, F. E., & Rey-Benayas, J. M. (2012). Carbon accumulation in aboveground and belowground biomass and soil of different age native forest plantations in the humid tropical lowlands of Costa Rica. *New Forests*, 43(2), 197–211. <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9273-9>
- Gárate, M., & Blanco, J. (2013). Importancia de la caracterización de la biomasa de raíces en la simulación de ecosistemas forestales. *Ecosistemas*, 22(3), 66–73.
- García, M. (2010). *Fijación de carbono en la biomasa arborea, la necromasa y el suelo de plantaciones de Eucalyptus grandis con diferentes manejos en vertisoles de la provincia de entre Ríos*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Giraldo, L., Zapata, M., & Montoya, E. (2006). Estimación de la captura de carbono en silvopastoreo, Colombia. *Pastos Y Forrajes*, 29(4), 421–435.
- Gómez, J., Etchevers, J., Monterrosos, A., Campo, J., & Tinoco, J. (2011a). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 17(2), 261–272. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.11.117>
- Gómez, J., Etchevers, J., Monterrosos, A., Campo, J., & Tinoco, J. (2011b). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 17(2), 261–272. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.11.117>
- Guerra, J., Gayoso, J., Schlatter, J., & Nespolo, R. (2005). Análisis de la biomasa de raíces en diferentes tipos de bosques. Avances en la evaluación de *Pinus radiata* en Chile. *Silvicultura*, 26(1), 5–21.
- Gutierrez, V., & Lopera, G. (2001). Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales. *Universidad Nacional de Colombia. Simposio Internacional Medición Y Monitoreo de La Captura de Carbono En Ecosistemas Forestales*, 1–18. Chile.
- Hayduk, D., & Vafadari, K. (2015). Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático. *Fao*, 4.
- Hofstede, R., Groenendijk, J., Coppus, R., Fehse, J., & Sevink, J. (2002). Impact of Pine Plantations on Soils and Vegetation in the Ecuadorian High Andes. *Mountain Research and Development*, 22(2), 159–167. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2002\)022\[0159:IOPPOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2002)022[0159:IOPPOS]2.0.CO;2)
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., ... Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arborea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua Carbon storage in soil and tree biomass in different land use systems in cattle-dominated landscapes in. *Agroforestería de Las Américas*, (45), 27–36. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ibrahim, M., & Mora, J. (2006). Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios. In *Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales*. Retrieved from <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/51746.pdf#page=28>

- IPCC. (1996). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero - versión revisada en 1996*. Paris.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra* (and T. K. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Ed.). Japon.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, .
- IPCC, F.-. (2009). FAO-IPCC EXPERT MEETING ON CLIMATE CHANGE, LAND USE AND FOOD SECURITY. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(9). <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900134>
- Isaza, G., Pérez, M., Laines, J., & Castañon, G. (2009). Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad Y Ciencia*, 25(3), 233–243. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000300005
- Jadán, O., Torres, B., & Günter, S. (2012). Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *Revista Amazónica: Ciencia Y Tecnología*, 1(3), 173–186.
- Jiménez, A. (2014). *La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana*. 56(4), 381–397.
- Jiménez, L. (2016). *El cultivo de la melina (Gmelina arborea Roxb) en el trópico* (Priemra ed). Sangolquí-Ecuador.
- Locatelli, B., & Sylvain, L. (2001). Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile). *Bois et Forêts Des Tropiques*, 267(1), 69–81.
- Lopez, G., & Zamora, A. (2016). *Diagnostico de la fertilidad del suelo en el área de investigacion, innovacion y desarrollo de la ESPAM-MFL*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.
- López, L., Domínguez, M., Martínez, P., Zavala, J., Gómez, A., & Posada, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera Bosques*, 22(3), 49–60.
- MacDicken, K. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. In *Forest Carbon Monitoring Program*, Winrock International Institute for Agricultural Development.
- MAE. *Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre*. , (2004).
- MAE. (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural (a)*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo Y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68–96. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Michela, J., Kees, S., & Skoko, J. (2015). Evaluación del crecimiento de plantaciones juveniles de algarrobo blanco (*prosopis alba* griseb) en el centro oeste del chaco argentino. *Temas Agrarios*, 20(1), 9–18. <https://doi.org/10.21897/rta.v20i1.744>
- Milagros, G., Rodríguez, M., Calero, B., Ponce, D., & Font, L. (2015). Carbono lábil como un indicador de cambios en dos suelos bajo diferentes usos. *Cultivos Tropicales*, 36(3), 64–70.
- Minitab. (2016). Getting Started with Minitab 17. Minitab. In *Reference manual* (p. 88). Retrieved from https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/Minitab17_GettingStarted-en.pdf
- Miranda, I. (2018). *Valoración económica del servicio de secuestro de carbono aportado por la vegetación existente en el centro ecoturístico de Seccsachaca, Huancavelica, Perú-2017*. Universidad Continental.
- Mogollón, J., Torres, D., & Martínez, A. (2010). Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*, 22(3), 217–222.
- Moreno, C., González, M., & Egido, J. (2015). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *ECUADOR ES CALIDAD - Revista Científica Ecuatoriana*, 2(1), 33–40. Retrieved from <http://www.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorescalidad/index.php/revista/article/view/4/6>
- Nieto, M., Guzmán, M., & Steinaker, D. (2014). Emisiones de gases de efecto invernadero: Simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 40(1), 92–101. <https://doi.org/http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84931068462&partnerID=tZOtx3y1>
- Paky, E., Moreno, F., & Álvarez, E. (2017). Contenido de carbono en un bosque de tierra firme del resguardo Nonuya-Villazul, Amazonia Colombiana. *COLOMBIA FORESTAL*, 20(2), 144–157.
- Pardos, J. (2010). Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. In *Instituto Nacional De Investigacion Y Tecnologia Agraria Y Alimentaria*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01879.x>
- Paz, F., Bazan, M., Cuevas, R., & Saynes, V. (2013). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012 (Serie Avan)*. México.
- Paz, F., & Wong, J. (2015). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nac (Texcoco)*. Mexico.
- Pizzurno, M. (2010). *Estimación Preliminar del stock de carbono en diferentes tipos de*

- bosques en el parque Nacional Caazapá, departamento Caazapá.* Universidad Nacional de Asunción.
- Ramos, S. (2018). *Stock de carbono en la biomasa aérea de las especies comerciales de un bosque de colina baja en la cuenca del río Cochiquinas, distrito de Pevas, Loreto, Perú, 2016* (Escuela de formación profesional de Ingeniería en Ecología de Bosques Tropicales). Retrieved from http://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4477/Ida_Tesis_Titulo_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Razo, R., Gordillo, A., Rodríguez, R., Maycotte, C., & Acevedo, O. (2013). Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo, México. *Madera Bosques*, 19(2), 73–86.
- Rodríguez, M., & Cargua, F. (2013). *Elaboración de un inventario forestal multipropósito con énfasis en el contenido de carbono de las diferentes clases de uso de tierra, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Rojas, F., Arias, D., Moya, R., Meza, A., Murillo, O., & Arguedas, M. (2004). *MANUAL PARA PRODUCTORES DE MELINA Gmelina arborea EN COSTA RICA.* Retrieved from [http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/MELINA/Manual para los productores de melina.pdf](http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Especies_plantaciones/MELINA/Manual_para_los_productores_de_melina.pdf)
- Romanyà, J., Rovira, P., & Vallejo, R. (2007). Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. *Ecosistemas*, 16(1), 50–57. <https://doi.org/10.7818/RE.2014.16-1.00>
- Rossi, A. M., & Rabenhorst, M. C. (2019). Organic carbon dynamics in soils of Mid-Atlantic barrier island landscapes. *Geoderma*, 337(July), 1278–1290. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.028>
- Rugnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. In *Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consorcio ...* (Centro Mun). Retrieved from http://scholar.google.es/scholar?q=Guía+para+la+determinación+de+carbono+en+pequeñas+propiedades+rurales&btnG=&hl=en&as_sdt=0%2C5#1
- Ruiz, M., García, C., & Sayer, J. A. (2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Ecosistemas*, 16(3), 81–90.
- Sainz, H., Echeverría, H., & Angelini, H. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana Argentina. *Ciencia Del Suelo*, 29(1), 29–37.
- Sánchez, R., Ramos, R., Geissen, V., Mendoza, J. D. D., Cruz, E. D. La, Salcedo, E., & Palma, D. J. (2011). Contenido de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 211–219.
- Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2000). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS MUESTREOS DE BIOMASA FORESTAL.* Retrieved from

https://www.uach.cl/procarbono/pdf/manuales/guia_destructivo.pdf

- Segura, M. A. (2018). Captura de Carbono en Biomasa en Plantaciones Forestales y Sistemas Agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de Investigacion Agraria Y Ambiental*, 9(2), 121–133.
- Tercero, H. (2015). *Evaluación de los métodos manual y químico para el control de malezas en el crecimiento inicial de melina (Gmelina arborea Roxb) en la hacienda “Pizará” cantón Pedro Vicente Maldonado provincia de Pichincha* (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Retrieved from [http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3886/1/33T0138 .pdf](http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3886/1/33T0138.pdf)
- Trivedi, P., Singh, B., & Singh, B. (2018). Soil Carbon: Introduction Importance, Status, Threat and Mitigation. In *Soil Carbon Storage*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812766-7.00001-9>
- Vasquez, W. (2019). *Almacenamiento de carbono de la biomasa aérea de un bosque de colina baja de la cuenca del rio Oroza, Loreto, Perú 2016* (Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Ecología de Bosques Tropicales). Retrieved from http://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4477/Ida_Tesis_Titulo_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Watson, R., Gitay, H., Griggs, D., Halsnaes, K., Houghton, J., House, J., ... Zhou, D. (2001). *Cambio climático 2001 : Informe de síntesis*.
- Yerena, J., Jiménez, J., Aguirre, O., & Treviño, E. (2012). Contenido de carbono total en los componentes de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México. *Bosque*, 33(2), 7–8. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002012000200004>

ANEXOS

Anexo 1. Certificado del análisis del Sistema Urkund

Quevedo, 25 de junio de 2019

Sr. Ingeniero

Roque Vivas Moreira

DIRECTOR DE POSGRADO-UTEQ

Presente.-

De mis consideraciones

El suscrito, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el proyecto de investigación titulado “**Dinámica de Almacenamiento de Carbono en Plantaciones Forestales de Melina (*Gmelina arborea* Roxb), cantón Pedro Vicente Maldonado, periodo 2012 – 2018**”, del estudiante del Programa de Maestría en Manejo Forestal Sostenible **Santiago Manuel Almeida Collaguazo**, fue subida al sistema URKUND y presentó el 4% de similitud; dicho porcentaje de similitud está dentro del rango aceptable según el Reglamento e Instructivos de graduación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

URKUND	
Documento	Proyecto Santiago Almeida-Urkund.docx (D53963618)
Presentado	2019-06-18 22:33 (-05:00)
Presentado por	José Pedro Suatunce Cunuhay (jsuatunce@uteq.edu.ec)
Recibido	jsuatunce.uteq@analysis.orkund.com
Mensaje	ANALISIS URKUND RPOYECTO SANTIAGO ALMEIDA Mostrar el mensaje completo
4% de estas 38 páginas, se componen de texto presente en 9 fuentes.	



Ing. For. Pedro Suatunce Cunuhay, M. Sc

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Anexo 2. Implementación de la PPM, en la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Establecimiento de la PPM.



2. Levantamiento de datos en la PPM.



3. Trazado e instalación de la PPM.



4. Medición de DAP.



5. Medición de altura total.



6. Registro de datos (Inventario Forestal)

Anexo 3. Método destructivo de la plantación de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Corte del árbol.



2. Medición de altura total del árbol.



3. Medición de la copa del árbol.



4. Desrame y trozado.



5. Recolección de biomasa de hojas.



6. Pesado de biomasa de hojas.



7. Recolección de biomasa de ramas.



8. Pesado de biomasa de ramas.



9. Corte de fuste comercial en secciones.



10. Pesado de fuste comercial.



11. Pesado de submuestras.



12. Rotulado de submuestras de fuste.



13. Identificación del área y remoción del suelo para extracción de raíces.



14. Limpieza de raíz.



15. Instalación del sistema de tracción (trípode y tecla).



16. Extracción de la raíz.



17. Limpieza de la raíz.



18. Medición de la raíz.



19. Pesado de la raíz.



20. Extracción de muestras de la raíz.



21. Pesado de submuestras de la raíz.



22. Rotulado de submuestras de la raíz.

Anexo 4. Medición de SOTB, en la plantación de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Trazado de la subparcela para SOTB.



2. Recolección de muestras de SOTB.



3. Pesado de SOTB *insitu*.



4. Submuestras de SOTB, para análisis en laboratorio.

Anexo 5. Medición de DNV, en la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Trazado de la subparcela para medición de DNV.



2. Recolección de muestras de DNV.



3. Pesado de DNV *insitu*.



4. Submuestras de DNV, para análisis en laboratorio.

Anexo 6. Recolección de muestras de suelo en la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Excavación de la calicata.



2. Profundidad de la calicata.



3. Medición de perfil de suelo.



4. Recolección de muestra de suelo.



5. Extracción de cilindros para determinación de DAP.



6. Etiquetado de muestras de suelo.

Anexo 7. Análisis de muestras en laboratorio

- a. Determinación de biomasa de SOTB, de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Preparación de muestras de biomasa de SOTB.
2. Etiquetado de muestras de biomasa de SOTB.



3. Secado en la estufa (65°C/24h00).
4. Determinación del peso seco de muestras de biomasa de SOTB.

- b. Determinación de biomasa de DNV, de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Etiquetado de muestras de biomasa de DNV.
2. Pesado de muestras húmedas de biomasa de DNV.



3. Secado en la estufa (65°C/24h00).



4. Determinación del peso seco de muestras de biomasa de DNV.

c. Determinación de la DAP del suelo de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Determinación de la DAP del suelo.



2. Secado en la estufa (105°C/24h00).



3. Determinación del peso seco del suelo para análisis de DAP.



4. Registro de datos.

- d. Determinación de pH del suelo, de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Secado de muestra de suelo al aire.



2. Tamizado de muestras de suelo (tamiz 2 mm).



3. Pesado de suelo (10 g).



4. Agregación de 25 ml de agua destilada.

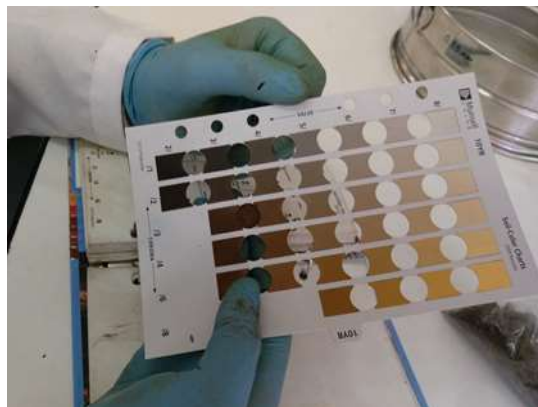
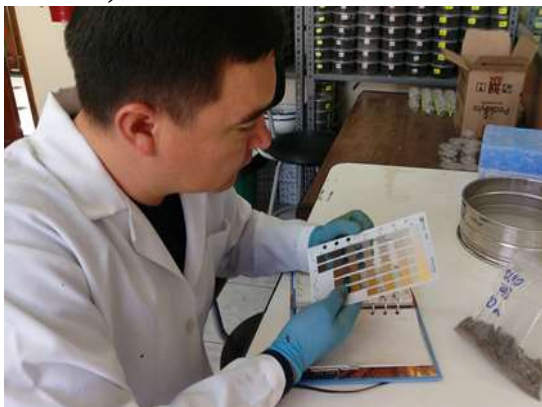


5. Agitación del suelo (30 minutos).



6. Medición de pH del suelo.

- e. Determinación del color del suelo, de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Observación del color del suelo en la tabla Munsell.
2. Registro del color del suelo.

- f. Determinación de la textura del suelo, de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Observación de la textura del suelo.
2. Registro de la textura del suelo.

- g. Determinación de la estructura del suelo, de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Observación de la estructura del suelo.
2. Registro de la estructura del suelo.

- h. Determinación de materia orgánica del suelo, de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb)



1. Triturado y tamizado de muestras de suelo (tamiz de 150 μ m).



2. Secado en la estufa (105°C/24h00).



3. Peso del crisol.



4. Peso del suelo seco (5 g).



5. Eliminación de la materia orgánica (LOI).



6. Determinación del peso del suelo después de la ignición.

Anexo 8. Base de datos

a. Inventario forestal realizado en rodal DA28 con plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb).

Identificación de la parcela																		
Clase de Uso de la Tierra: 10			Rodal: DA28			Parcela: P7				Edad: 72 meses					Año: 2018			
Ubicación	Identificación		DAP (cm)	Altura total (m)	Densidad (árboles)	DAP (m)	Área Basal (m2)	Área Basal (cm2)	Factor forma	Volumen total (m3)	Densidad (g/cm3)	Biomasa (m3)	Factor de expansión (fuste c + copa)	Biomasa aérea	Factor de expansión (raíz)	Biomasa subterránea	Biomasa Total/árbol	Carbono/árbol
Código árbol	Nombre común	Nombre científico																
1	Melina	Gmelina arborea	28.5	18.5	1	0.29	0.06	637.94	0.7	0.826	0.54	0.45	2.8	1.25	0.27	0.34	1.59	0.79
2	Melina	Gmelina arborea	25.0	25.0	1	0.25	0.05	490.87	0.7	0.859	0.54	0.46	2.8	1.30	0.27	0.35	1.65	0.82
3	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
4	Melina	Gmelina arborea	29.2	22.0	1	0.29	0.07	669.66	0.7	1.031	0.54	0.56	2.8	1.56	0.27	0.42	1.98	0.99
5	Melina	Gmelina arborea	27.0	21.0	1	0.27	0.06	572.56	0.7	0.842	0.54	0.45	2.8	1.27	0.27	0.34	1.62	0.81
6	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
7	Melina	Gmelina arborea	22.5	23.0	1	0.23	0.04	397.61	0.7	0.640	0.54	0.35	2.8	0.97	0.27	0.26	1.23	0.61
8	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
9	Melina	Gmelina arborea	27.2	26.0	1	0.27	0.06	581.07	0.7	1.058	0.54	0.57	2.8	1.60	0.27	0.43	2.03	1.02
10	Melina	Gmelina arborea	25.6	22.0	1	0.26	0.05	514.72	0.7	0.793	0.54	0.43	2.8	1.20	0.27	0.32	1.52	0.76
11	Melina	Gmelina arborea	22.7	22.5	1	0.23	0.04	404.71	0.7	0.637	0.54	0.34	2.8	0.96	0.27	0.26	1.22	0.61
12	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
13	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
14	Melina	Gmelina arborea	21.8	19.5	1	0.22	0.04	373.25	0.7	0.509	0.54	0.28	2.8	0.77	0.27	0.21	0.98	0.49
15	Melina	Gmelina arborea	26.3	21.0	1	0.26	0.05	543.25	0.7	0.799	0.54	0.43	2.8	1.21	0.27	0.33	1.53	0.77
16	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
17	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
18	Melina	Gmelina arborea	27.8	24.0	1	0.28	0.06	606.99	0.7	1.020	0.54	0.55	2.8	1.54	0.27	0.42	1.96	0.98
19	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
20	Melina	Gmelina arborea	30.0	23.0	1	0.30	0.07	706.86	0.7	1.138	0.54	0.61	2.8	1.72	0.27	0.46	2.19	1.09
21	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
22	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
23	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
24	Melina	Gmelina arborea	24.0	25.0	1	0.24	0.05	452.39	0.7	0.792	0.54	0.43	2.8	1.20	0.27	0.32	1.52	0.76
25	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
26	Melina	Gmelina arborea	30.5	25.0	1	0.31	0.07	730.62	0.7	1.279	0.54	0.69	2.8	1.93	0.27	0.52	2.46	1.23
27	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
28	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00

29	Melina	Gmelina arborea	25.2	24.5	1	0.25	0.05	498.76	0.7	0.855	0.54	0.46	2.8	1.29	0.27	0.35	1.64	0.82	
30	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
31	Melina	Gmelina arborea	23.3	24.0	1	0.23	0.04	426.38	0.7	0.716	0.54	0.39	2.8	1.08	0.27	0.29	1.38	0.69	
32	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
33	Melina	Gmelina arborea	30.8	26.0	1	0.31	0.07	745.06	0.7	1.356	0.54	0.73	2.8	2.05	0.27	0.55	2.60	1.30	
34	Melina	Gmelina arborea	32.0	22.5	1	0.32	0.08	804.25	0.7	1.267	0.54	0.68	2.8	1.92	0.27	0.52	2.43	1.22	
35	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
36	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
37	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
38	Melina	Gmelina arborea	30.0	27.0	1	0.30	0.07	706.86	0.7	1.336	0.54	0.72	2.8	2.02	0.27	0.55	2.57	1.28	
39	Melina	Gmelina arborea	20.7	24.5	1	0.21	0.03	336.54	0.7	0.577	0.54	0.31	2.8	0.87	0.27	0.24	1.11	0.55	
40	Melina	Gmelina arborea	20.0	24.8	1	0.20	0.03	314.16	0.7	0.545	0.54	0.29	2.8	0.82	0.27	0.22	1.05	0.52	
41	Melina	Gmelina arborea	22.2	25.0	1	0.22	0.04	387.08	0.7	0.677	0.54	0.37	2.8	1.02	0.27	0.28	1.30	0.65	
42	Melina	Gmelina arborea	35.6	26.0	1	0.36	0.10	995.38	0.7	1.812	0.54	0.98	2.8	2.74	0.27	0.74	3.48	1.74	
43	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
44	Melina	Gmelina arborea	23.0	21.0	1	0.23	0.04	415.48	0.7	0.611	0.54	0.33	2.8	0.92	0.27	0.25	1.17	0.59	
45	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
46	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
47	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
48	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
49	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
50	Melina	Gmelina arborea	27.8	23.0	1	0.28	0.06	606.99	0.7	0.977	0.54	0.53	2.8	1.48	0.27	0.40	1.88	0.94	
51	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
52	Melina	Gmelina arborea	18.7	20.0	1	0.19	0.03	274.65	0.7	0.385	0.54	0.21	2.8	0.58	0.27	0.16	0.74	0.37	
53	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
54	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
55	Melina	Gmelina arborea	34.2	24.0	1	0.34	0.09	918.63	0.7	1.543	0.54	0.83	2.8	2.33	0.27	0.63	2.96	1.48	
56	Melina	Gmelina arborea	27.9	23.5	1	0.28	0.06	611.36	0.7	1.006	0.54	0.54	2.8	1.52	0.27	0.41	1.93	0.97	
57	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
58	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
59	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	
60	Melina	Gmelina arborea	22.9	24.0	1	0.23	0.04	411.87	0.7	0.692	0.54	0.37	2.8	1.05	0.27	0.28	1.33	0.66	
			12.71	23.36	29	0.26	1.61			26.58	Biomasa aérea			40.18	Biomasa subterránea	10.85	51.03	25.52	
												Carbono			20.09	Carbono	5.42	25.52	255.17
												C/Mgha			200.92	C/Mgha	54.25	255.17	255.17

b. Inventario forestal realizado en rodal DB32 con plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb).

Identificación de la parcela																		
Clase de Uso de la Tierra: 10			Rodal: DB32			Parcela: P4					Edad: 72 meses					Año: 2018		
Ubicación	Identificación		DAP (cm)	Altura total (m)	Densidad (árboles)	DAP (m)	Área Basal (m2)	Área Basal (cm2)	Factor forma	Volumen total (m3)	Densidad (g/cm3)	Biomasa (m3)	Factor de expansión (fuste c + copa)	Biomasa aérea	Factor de expansión (raíz)	Biomasa subterránea	Biomasa Total/árbol	Carbono/árbol
Código árbol	Nombre común	Nombre científico																
1	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	28.5	27	1	0.29	0.064	637.94	0.7	1.206	0.54	0.65	2.8	1.823	0.27	0.492	2.315	1.158
2	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	23.2	23	1	0.23	0.042	422.73	0.7	0.681	0.54	0.37	2.8	1.029	0.27	0.278	1.307	0.653
3	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
4	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	25.4	24.5	1	0.25	0.051	506.71	0.7	0.869	0.54	0.47	2.8	1.314	0.27	0.355	1.669	0.834
5	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	27.6	24	1	0.28	0.060	598.28	0.7	1.005	0.54	0.54	2.8	1.520	0.27	0.410	1.930	0.965
6	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
7	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
8	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
9	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	29	29	1	0.29	0.066	660.52	0.7	1.341	0.54	0.72	2.8	2.027	0.27	0.547	2.575	1.287
10	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
11	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	32.5	24.5	1	0.33	0.083	829.58	0.7	1.423	0.54	0.77	2.8	2.151	0.27	0.581	2.732	1.366
12	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
13	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
14	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
15	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	30	24	1	0.30	0.071	706.86	0.7	1.188	0.54	0.64	2.8	1.796	0.27	0.485	2.280	1.140
16	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
17	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
18	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	33.5	28.5	1	0.34	0.088	881.41	0.7	1.758	0.54	0.95	2.8	2.659	0.27	0.718	3.377	1.688
19	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	20.6	23	1	0.21	0.033	333.29	0.7	0.537	0.54	0.29	2.8	0.811	0.27	0.219	1.030	0.515
20	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
21	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
22	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	20.1	23	1	0.20	0.032	317.31	0.7	0.511	0.54	0.28	2.8	0.772	0.27	0.209	0.981	0.490
23	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
24	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	21.6	22.5	1	0.22	0.037	366.44	0.7	0.577	0.54	0.31	2.8	0.873	0.27	0.236	1.108	0.554
25	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	27	27	1	0.27	0.057	572.56	0.7	1.082	0.54	0.58	2.8	1.636	0.27	0.442	2.078	1.039
26	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
27	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	32	24.5	1	0.32	0.080	804.25	0.7	1.379	0.54	0.74	2.8	2.085	0.27	0.563	2.649	1.324
28	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	27.4	27	1	0.27	0.059	589.65	0.7	1.114	0.54	0.60	2.8	1.685	0.27	0.455	2.140	1.070
29	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
30	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	28.9	23.5	1	0.29	0.066	655.97	0.7	1.079	0.54	0.58	2.8	1.632	0.27	0.441	2.072	1.036
31	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
32	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000

33	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
34	Melina	Gmelina arborea	26.2	25	1	0.26	0.054	539.13	0.7	0.943	0.54	0.51	2.8	1.427	0.27	0.385	1.812	0.906	
35	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
36	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
37	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
38	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
39	Melina	Gmelina arborea	26.6	27.5	1	0.27	0.056	555.72	0.7	1.070	0.54	0.58	2.8	1.617	0.27	0.437	2.054	1.027	
40	Melina	Gmelina arborea	28.7	27	1	0.29	0.065	646.92	0.7	1.223	0.54	0.66	2.8	1.849	0.27	0.499	2.348	1.174	
41	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
42	Melina	Gmelina arborea	22.5	25	1	0.23	0.040	397.61	0.7	0.696	0.54	0.38	2.8	1.052	0.27	0.284	1.336	0.668	
43	Melina	Gmelina arborea	24.4	22	1	0.24	0.047	467.59	0.7	0.720	0.54	0.39	2.8	1.089	0.27	0.294	1.383	0.691	
44	Melina	Gmelina arborea	25.5	23	1	0.26	0.051	510.71	0.7	0.822	0.54	0.44	2.8	1.243	0.27	0.336	1.579	0.789	
45	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
46	Melina	Gmelina arborea	27	28	1	0.27	0.057	572.56	0.7	1.122	0.54	0.61	2.8	1.697	0.27	0.458	2.155	1.077	
47	Melina	Gmelina arborea	29.9	27.5	1	0.30	0.070	702.15	0.7	1.352	0.54	0.73	2.8	2.044	0.27	0.552	2.595	1.298	
48	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
49	Melina	Gmelina arborea	29.5	27.5	1	0.30	0.068	683.49	0.7	1.316	0.54	0.71	2.8	1.989	0.27	0.537	2.527	1.263	
50	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
51	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
52	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
53	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
54	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
55	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
56	Melina	Gmelina arborea	26.7	27	1	0.27	0.056	559.90	0.7	1.058	0.54	0.57	2.8	1.600	0.27	0.432	2.032	1.016	
57	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
58	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
59	Melina	Gmelina arborea	29.8	27.5	1	0.30	0.070	697.46	0.7	1.343	0.54	0.73	2.8	2.030	0.27	0.548	2.578	1.289	
60	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
61	Melina	Gmelina arborea	29	28.5	1	0.29	0.066	660.52	0.7	1.318	0.54	0.71	2.8	1.992	0.27	0.538	2.530	1.265	
62	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
63	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
64	Melina	Gmelina arborea	34	27.5	1	0.34	0.091	907.92	0.7	1.748	0.54	0.94	2.8	2.643	0.27	0.714	3.356	1.678	
			12.0	25.64	28	0.27	1.68			30.48	Biomasa aérea			46.08	Biomasa subterránea		12.44	58.53	29.26
										Carbono				23.04	Carbono		6.22	29.26	292.64
										C/Mgha				230.42	C/Mgha		62.21	292.64	292.64

c. Inventario forestal realizado en rodal DC40 con plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb).

Identificación de la parcela																		
Clase de Uso de la Tierra: 10			Rodal: DC40			Parcela: P4					Edad: 72 meses					Año: 2018		
Ubicación	Identificación		DAP (cm)	Altura total (m)	Densidad (árboles)	DAP (m)	Área Basal (m2)	Área Basal (cm2)	Factor forma	Volumen total (m3)	Densidad (g/cm3)	Biomasa (m3)	Factor de expansión (fuste c + copa)	Biomasa aérea	Factor de expansión (raíz)	Biomasa subterránea	Biomasa Total/árbol	Carbono/árbol
Código árbol	Nombre común	Nombre científico																
1	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	29.1	24	1	0.29	0.067	665.08	0.7	1.117	0.54	0.60	2.8	1.689	0.27	0.456	2.146	1.073
2	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
3	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	22.4	27	1	0.22	0.039	394.08	0.7	0.745	0.54	0.40	2.8	1.126	0.27	0.304	1.430	0.715
4	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
5	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
6	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
7	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	32.2	26.5	1	0.32	0.081	814.33	0.7	1.511	0.54	0.82	2.8	2.284	0.27	0.617	2.901	1.450
8	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
9	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	23.4	25	1	0.23	0.043	430.05	0.7	0.753	0.54	0.41	2.8	1.138	0.27	0.307	1.445	0.723
10	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
11	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	22.7	23	1	0.23	0.040	404.71	0.7	0.652	0.54	0.35	2.8	0.985	0.27	0.266	1.251	0.626
12	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
13	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
14	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
15	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
16	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
17	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	23.6	21	1	0.24	0.044	437.44	0.7	0.643	0.54	0.35	2.8	0.972	0.27	0.263	1.235	0.617
18	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	27.3	27.5	1	0.27	0.059	585.35	0.7	1.127	0.54	0.61	2.8	1.704	0.27	0.460	2.164	1.082
19	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	28.7	27	1	0.29	0.065	646.92	0.7	1.223	0.54	0.66	2.8	1.849	0.27	0.499	2.348	1.174
20	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
21	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	22	20	1	0.22	0.038	380.13	0.7	0.532	0.54	0.29	2.8	0.805	0.27	0.217	1.022	0.511
22	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	20.9	25	1	0.21	0.034	343.07	0.7	0.600	0.54	0.32	2.8	0.908	0.27	0.245	1.153	0.576
23	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
24	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
25	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	29.9	29	1	0.30	0.070	702.15	0.7	1.425	0.54	0.77	2.8	2.155	0.27	0.582	2.737	1.369
26	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
27	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
28	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	28.3	21	1	0.28	0.063	629.02	0.7	0.925	0.54	0.50	2.8	1.398	0.27	0.377	1.776	0.888
29	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
30	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	29.8	27.5	1	0.30	0.070	697.46	0.7	1.343	0.54	0.73	2.8	2.030	0.27	0.548	2.578	1.289
31	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
32	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	24.6	19.5	1	0.25	0.048	475.29	0.7	0.649	0.54	0.35	2.8	0.981	0.27	0.265	1.246	0.623
33	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000
34	Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000

35	Melina	Gmelina arborea	38.4	30	1	0.38	0.116	1158.12	0.7	2.432	0.54	1.31	2.8	3.677	0.27	0.993	4.670	2.335	
36	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
37	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
38	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
39	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
40	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
41	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
42	Melina	Gmelina arborea	27.2	27	1	0.27	0.058	581.07	0.7	1.098	0.54	0.59	2.8	1.661	0.27	0.448	2.109	1.054	
43	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
44	Melina	Gmelina arborea	21.8	24	1	0.22	0.037	373.25	0.7	0.627	0.54	0.34	2.8	0.948	0.27	0.256	1.204	0.602	
45	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
46	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
47	Melina	Gmelina arborea	20.5	21	1	0.21	0.033	330.06	0.7	0.485	0.54	0.26	2.8	0.734	0.27	0.198	0.932	0.466	
48	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
49	Melina	Gmelina arborea	39.6	31	1	0.40	0.123	1231.63	0.7	2.673	0.54	1.44	2.8	4.041	0.27	1.091	5.132	2.566	
50	Melina	Gmelina arborea	20.7	23.5	1	0.21	0.034	336.54	0.7	0.554	0.54	0.30	2.8	0.837	0.27	0.226	1.063	0.532	
51	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
52	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
53	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
54	Melina	Gmelina arborea	24.7	24	1	0.25	0.048	479.16	0.7	0.805	0.54	0.43	2.8	1.217	0.27	0.329	1.546	0.773	
55	Melina	Gmelina arborea	27.5	26.3	1	0.28	0.059	593.96	0.7	1.093	0.54	0.59	2.8	1.653	0.27	0.446	2.100	1.050	
56	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
57	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
58	Melina	Gmelina arborea	24.8	24	1	0.25	0.048	483.05	0.7	0.812	0.54	0.44	2.8	1.227	0.27	0.331	1.558	0.779	
59	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
60	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
61	Melina	Gmelina arborea	26.8	26.5	1	0.27	0.056	564.10	0.7	1.046	0.54	0.57	2.8	1.582	0.27	0.427	2.009	1.005	
62	Melina	Gmelina arborea	35.5	26	1	0.36	0.099	989.80	0.7	1.801	0.54	0.97	2.8	2.724	0.27	0.735	3.459	1.730	
63	Melina	Gmelina arborea	18.7	23	1	0.19	0.027	274.65	0.7	0.442	0.54	0.24	2.8	0.669	0.27	0.181	0.849	0.425	
64	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
65	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
66	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
67	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
68	Melina	Gmelina arborea	31.4	28	1	0.31	0.077	774.37	0.7	1.518	0.54	0.82	2.8	2.295	0.27	0.620	2.914	1.457	
69	Melina	Gmelina arborea	20	25	1	0.20	0.031	314.16	0.7	0.550	0.54	0.30	2.8	0.831	0.27	0.224	1.056	0.528	
70	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
71	Melina	Gmelina arborea	0.0	0.0		0.00	0.000	0.00	0.7	0.000	0.54	0.00	2.8	0.000	0.27	0.000	0.000	0.000	
			10.5	25.08	28	0.27	1.61			29.18	Biomasa aérea			44.12	Biomasa subterránea Carbono C/Mgha		11.91	56.03	28.02
												22.06		5.96		28.02	280.16		
												220.60		59.56		280.16	280.16		

d. Determinación del stock de carbono en SOTB, en la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb).

Rodal	Parcela	Muestra	Área muestreo (m2)	Muestra	P. Húmedo Campo (g)	P. Húmedo Laboratorio (g)	P. Seco Laboratorio (g)	C. Humedad (%)	Relación PS/PH	Peso seco kg/4 m2	Peso seco Mg/ha	Carbono Mg/ha	
DA28	P1	SOTB	4.0	R1	2434.00	51.230	11.450	77.65	0.22	0.54	1.36	0.68	
			4.0	R2	2434.00	49.364	9.677	80.40	0.20	0.48	1.19	0.60	
			4.0	R3	2434.00	54.219	10.946	79.81	0.20	0.49	1.23	0.61	
										1.51	3.78	1.89	
	P2	SOTB	4.0	R1	3273.00	38.102	9.083	76.16	0.24	0.78	1.95	0.98	
			4.0	R2	3273.00	43.480	10.129	76.70	0.23	0.76	1.91	0.95	
			4.0	R3	3273.00	46.396	11.032	76.22	0.24	0.78	1.95	0.97	
										2.32	5.80	2.90	
	P3	SOTB	4.0	R1	2139.00	40.103	9.328	76.74	0.23	0.50	1.24	0.62	
			4.0	R2	2139.00	49.905	11.072	77.81	0.22	0.47	1.19	0.59	
			4.0	R3	2139.00	37.154	9.282	75.02	0.25	0.53	1.34	0.67	
										1.51	3.77	1.88	
	P4	SOTB	4.0	R1	3533.00	52.609	11.491	78.16	0.22	0.77	1.93	0.96	
			4.0	R2	3533.00	59.525	11.220	81.15	0.19	0.67	1.66	0.83	
			4.0	R3	3533.00	48.288	10.977	77.27	0.23	0.80	2.01	1.00	
										2.24	5.60	2.80	
	P5	SOTB	4.0	R1	3401.00	48.733	10.223	79.02	0.21	0.71	1.78	0.89	
			4.0	R2	3401.00	45.864	9.704	78.84	0.21	0.72	1.80	0.90	
			4.0	R3	3401.00	44.586	8.945	79.94	0.20	0.68	1.71	0.85	
										2.12	5.29	2.64	
	P6		4.0	R1	2700.00	31.879	7.855	75.36	0.25	0.67	1.66	0.83	
			4.0	R2	2700.00	38.443	8.355	78.27	0.22	0.59	1.47	0.73	
			4.0	R3	2700.00	43.599	10.176	76.66	0.23	0.63	1.58	0.79	
										1.88	4.71	2.35	
	P7	SOTB	4.0	R1	3359.00	51.296	12.533	75.57	0.24	0.82	2.05	1.03	
			4.0	R2	3359.00	46.615	11.225	75.92	0.24	0.81	2.02	1.01	
			4.0	R3	3359.00	47.592	11.831	75.14	0.25	0.84	2.09	1.04	
										2.46	6.16	3.08	
	Rodal DA28			12.0								14.04	11.70
DB32	P1	SOTB	4.0	R1	3043.00	49.185	7.984	83.77	0.16	0.49	1.23	0.62	

			4.0	R2	3043.00	55.059	7.268	86.80	0.13	0.40	1.00	0.50
			4.0	R3	3043.00	48.916	7.612	84.44	0.16	0.47	1.18	0.59
										1.37	3.42	1.71
	P2	SOTB	4.0	R1	3324.00	45.211	6.941	84.65	0.15	0.51	1.28	0.64
			4.0	R2	3324.00	50.776	8.112	84.02	0.16	0.53	1.33	0.66
			4.0	R3	3324.00	40.915	8.977	78.06	0.22	0.73	1.82	0.91
										1.77	4.43	2.21
	P3	SOTB	4.0	R1	3836.00	44.688	7.622	82.94	0.17	0.65	1.64	0.82
			4.0	R2	3836.00	46.125	7.938	82.79	0.17	0.66	1.65	0.83
			4.0	R3	3836.00	50.377	9.671	80.80	0.19	0.74	1.84	0.92
										2.05	5.13	2.56
	P4	SOTB	4.0	R1	3035.00	53.953	10.938	79.73	0.20	0.62	1.54	0.77
			4.0	R2	3035.00	56.664	11.037	80.52	0.19	0.59	1.48	0.74
			4.0	R3	3035.00	52.177	9.808	81.20	0.19	0.57	1.43	0.71
										1.78	4.44	2.22
	Rodal DB32		12.0								6.97	5.81
DC40	P1	SOTB	4.0	R1	3033.00	28.449	9.560	66.40	0.34	1.02	2.55	1.27
			4.0	R2	3033.00	30.560	11.096	63.69	0.36	1.10	2.75	1.38
			4.0	R3	3033.00	28.852	10.224	64.56	0.35	1.07	2.69	1.34
										3.20	7.99	3.99
	P2	SOTB	4.0	R1	1931.00	27.541	10.296	62.62	0.37	0.72	1.80	0.90
			4.0	R2	1931.00	32.839	11.368	65.38	0.35	0.67	1.67	0.84
			4.0	R3	1931.00	36.531	10.376	71.60	0.28	0.55	1.37	0.69
										1.94	4.85	2.42
	P3	SOTB	4.0	R1	1883.00	33.308	10.064	69.79	0.30	0.57	1.42	0.71
			4.0	R2	1883.00	38.178	10.964	71.28	0.29	0.54	1.35	0.68
			4.0	R3	1883.00	45.123	11.250	75.07	0.25	0.47	1.17	0.59
										1.58	3.95	1.97
	P4	SOTB	4.0	R1	2207.00	52.326	10.467	80.00	0.20	0.44	1.10	0.55
			4.0	R2	2207.00	52.770	10.490	80.12	0.20	0.44	1.10	0.55
			4.0	R3	2207.00	45.202	10.015	77.84	0.22	0.49	1.22	0.61
										1.37	3.42	1.71
	Rodal DC40		12.0								8.08	6.74

e. Determinación del stock de carbono en DNV, en la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb).

Rodal	Parcela	Muestra	Área muestreo (m2)	Muestra	P. Húmedo DNV Campo (g)	P. Húmedo Laboratorio (g)	P. Seco Laboratorio (g)	C. Humedad DNV (%)	Relación DNV PS/PH	Peso seco kg/0,5 m2	Peso seco Mg/ha	Carbono Mg/ha	
DA28	P1	DNV	0.5	R1	654.55	40.041	16.558	58.65	0.41	0.27	5.41	2.71	
			0.5	R2	654.55	40.067	20.894	47.85	0.52	0.34	6.83	3.41	
			0.5	R3	654.55	40.034	17.353	56.65	0.43	0.28	5.67	2.84	
			Promedio								0.30	5.97	2.99
	P2	DNV	0.5	R1	822.73	40.191	13.584	66.20	0.34	0.28	5.56	2.78	
			0.5	R2	822.73	40.215	13.896	65.45	0.35	0.28	5.69	2.84	
			0.5	R3	822.73	40.103	13.585	66.12	0.34	0.28	5.57	2.79	
			Promedio								0.28	5.61	2.80
	P3	DNV	0.5	R1	509.09	40.242	17.542	56.41	0.44	0.22	4.44	2.22	
			0.5	R2	509.09	40.281	18.672	53.65	0.46	0.24	4.72	2.36	
			0.5	R3	509.09	40.008	13.712	65.73	0.34	0.17	3.49	1.74	
			Promedio								0.21	4.22	2.11
	P4	DNV	0.5	R1	540.91	40.123	15.787	60.65	0.39	0.21	4.26	2.13	
			0.5	R2	540.91	40.585	16.030	60.50	0.39	0.21	4.27	2.14	
			0.5	R3	540.91	40.010	16.799	58.01	0.42	0.23	4.54	2.27	
			Promedio								0.22	4.36	2.18
	P5	DNV	0.5	R1	854.55	40.156	12.260	69.47	0.31	0.26	5.22	2.61	
			0.5	R2	854.55	40.017	14.618	63.47	0.37	0.31	6.24	3.12	
			0.5	R3	854.55	40.024	13.182	67.06	0.33	0.28	5.63	2.81	
			Promedio								0.28	5.70	2.85
	P6	DNV	0.5	R1	709.091	40.026	14.535	63.69	0.36	0.26	5.15	2.57	
			0.5	R2	709.091	40.472	13.939	65.56	0.34	0.24	4.88	2.44	
			0.5	R3	709.091	40.518	13.836	65.85	0.34	0.24	4.84	2.42	
			Promedio								0.25	4.96	2.48
	P7	DNV	0.5	R1	1136.364	40.050	11.221	71.98	0.28	0.32	6.37	3.18	
			0.5	R2	1136.364	40.184	12.535	68.81	0.31	0.35	7.09	3.54	
			0.5	R3	1136.364	40.140	11.721	70.80	0.29	0.33	6.64	3.32	
			Promedio								0.33	6.70	3.35
	Rodal DA28		10.5								1.88	1.79	0.89
DB32	P1	DNV	0.5	R1	740.909	40.258	17.740	55.93	0.44	0.33	6.53	3.26	
			0.5	R2	740.909	40.391	15.021	62.81	0.37	0.28	5.51	2.76	
			0.5	R3	740.909	40.200	15.604	61.18	0.39	0.29	5.75	2.88	
			Promedio								0.30	5.93	2.97

	P2	DNV	0.5	R1	709.091	40.164	15.893	60.43	0.40	0.28	5.61	2.81	
			0.5	R2	709.091	40.028	13.454	66.39	0.34	0.24	4.77	2.38	
			0.5	R3	709.091	40.098	13.744	65.72	0.34	0.24	4.86	2.43	
			Promedio							0.25	5.08	2.54	
	P3	DNV	0.5	R1	881.818	40.164	13.906	65.38	0.35	0.31	6.11	3.05	
			0.5	R2	881.818	40.540	12.762	68.52	0.31	0.28	5.55	2.78	
			0.5	R3	881.818	40.164	12.022	70.07	0.30	0.26	5.28	2.64	
			Promedio							0.28	5.65	2.82	
	P4	DNV	0.5	R1	768.182	40.421	13.389	66.88	0.33	0.25	5.09	2.54	
			0.5	R2	768.182	40.589	14.666	63.87	0.36	0.28	5.55	2.78	
			0.5	R3	768.182	40.073	17.196	57.09	0.43	0.33	6.59	3.30	
				Promedio							0.29	5.74	2.87
	Rodal DB32		6.0								1.12	1.87	0.93
	DC40	P1	DNV	0.5	R1	795.46	40.486	11.669	71.18	0.29	0.23	4.59	2.29
				0.5	R2	795.46	40.714	12.047	70.41	0.30	0.24	4.71	2.35
				0.5	R3	795.46	40.379	12.840	68.20	0.32	0.25	5.06	2.53
				Promedio							0.24	4.78	2.39
		P2	DNV	0.5	R1	654.55	40.062	13.165	67.14	0.33	0.22	4.30	2.15
				0.5	R2	654.55	40.104	16.483	58.90	0.41	0.27	5.38	2.69
0.5				R3	654.55	40.590	19.660	51.56	0.48	0.32	6.34	3.17	
Promedio							0.27	5.34	2.67				
P3		DNV	0.5	R1	1222.73	40.384	13.160	67.41	0.33	0.40	7.97	3.98	
			0.5	R2	1222.73	40.388	12.322	69.49	0.31	0.37	7.46	3.73	
			0.5	R3	1222.73	40.496	10.032	75.23	0.25	0.30	6.06	3.03	
			Promedio							0.36	7.16	3.58	
P4		DNV	0.5	R1	2277.27	40.223	14.925	62.89	0.37	0.84	16.90	8.45	
			0.5	R2	2277.27	40.094	14.323	64.28	0.36	0.81	16.27	8.14	
			0.5	R3	2277.27	40.385	15.382	61.91	0.38	0.87	17.35	8.67	
			Promedio							0.84	16.84	8.42	
Rodal DC40		6.0								1.71	2.84	1.42	

f. Determinación del stock de carbono en el suelo, de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea* Roxb).

Rodal	Parcela	Prof. Muestra (cm)	W Vaso de Precipitación (g)	W. Suelo Húmedo (g)	W Vaso + Suelo Seco 105 °C (g)	W. Suelo Seco 105 °C (g)	V. Cilindro (cm3)	Humedad (%)	D A P (g/cm3)	Repetición	W Crisol (g)	W. Suelo Seco 105 °C (g)	W Crisol + Muestra Seca (g)	W. Crisol + Suelo Seco Desp. Igñi. (g)	W. Suelo Seco Desp. Igñi. (g)	M. Orgánica (%)	Carbono (%)	Carbono (Mg/ha-1)
DA28	P1	0 - 30	103.662	133.177	172.253	68.591	56.000	48.496	1.225	R1	38.800	5.002	43.802	43.193	4.393	12.175	7.062	259.500
										R2	38.928	5.001	43.929	43.332	4.404	11.938	6.924	254.437
								48.496	1.225				Promedio			12.056	6.993	256.968
		30 - 60	100.937	134.792	173.133	72.196	56.000	86.703	1.289	R1	37.680	5.003	42.683	42.170	4.490	10.254	5.948	230.036
										R2	39.103	5.006	44.109	43.595	4.492	10.268	5.956	230.346
								86.703	1.289				Promedio			10.261	5.952	230.191
	P2												Total parcela					487.160
		0 - 30	108.792	132.056	176.953	68.161	56.000	48.385	1.217	R1	38.194	5.002	43.196	42.644	4.450	11.036	6.401	233.737
										R2	40.719	5.002	45.721	45.175	4.456	10.916	6.332	231.196
								48.385	1.217				Promedio			10.976	6.366	232.467
		30 - 60	102.022	141.093	181.340	79.318	56.000	43.783	1.416	R1	38.516	5.004	43.520	43.112	4.596	8.153	4.729	200.960
										R2	40.720	5.001	45.721	45.318	4.598	8.058	4.674	198.617
	P3							43.783	1.416				Promedio			8.106	4.702	199.789
													Total parcela					432.255
		0 - 30	100.754	136.473	171.410	70.656	56.000	48.227	1.262	R1	36.395	5.005	41.400	40.912	4.517	9.750	5.656	214.072
										R2	38.515	5.004	43.519	43.021	4.506	9.952	5.773	218.503
								48.227	1.262				Promedio			9.851	5.714	216.288
		30 - 60	108.848	140.395	194.597	85.749	56.000	38.923	1.531	R1	37.681	5.005	42.686	42.324	4.643	7.233	4.195	192.721
	P4									R2	36.398	5.004	41.402	41.048	4.650	7.074	4.103	188.500
								38.923	1.531				Promedio			7.154	4.149	190.611
													Total parcela					406.898
		0 - 30	104.459	131.552	170.740	66.281	56.000	49.616	1.184	R1	35.741	5.000	40.741	40.075	4.334	13.320	7.726	274.340
										R2	39.940	5.002	44.942	44.274	4.334	13.355	7.746	275.054
								49.616	1.184				Promedio			13.337	7.736	274.697
	P5	30 - 60	110.449	131.671	179.216	68.767	56.000	47.774	1.228	R1	38.931	5.006	43.937	43.456	4.525	9.608	5.573	205.320
										R2	34.928	5.002	39.930	39.452	4.524	9.556	5.543	204.202
													Promedio			9.582	5.558	204.761
								47.774	1.228				Total parcela					479.458
		0 - 30	104.469	109.962	147.336	42.867	56.000	61.017	0.765	R1	38.335	5.001	43.336	42.237	3.902	21.976	12.747	292.725
										R2	38.056	5.001	43.057	42.034	3.978	20.456	11.865	272.482
	P6							61.017	0.765				Promedio			21.216	12.306	282.604
		30 - 60	102.477	118.365	157.860	55.383	56.000	53.210	0.989	R1	38.800	5.004	43.804	43.212	4.412	11.831	6.862	203.600
										R2	40.227	5.000	45.227	44.637	4.410	11.800	6.845	203.074
													Promedio			11.815	6.853	203.337
								53.210	0.989				Total parcela					485.940
		0 - 30	105.072	125.423	165.986	60.914	56.000	51.433	1.088	R1	36.447	5.001	41.448	40.732	4.285	14.317	8.305	271.000
	P7									R2	40.085	5.003	45.088	44.368	4.283	14.391	8.348	272.405
								51.433	1.088				Promedio			14.354	8.326	271.702
		30 - 60	102.717	125.928	167.185	64.468	56.000	48.806	1.151	R1	40.577	5.002	45.579	45.056	4.479	10.456	6.065	209.459
										R2	39.889	5.003	44.892	44.373	4.484	10.374	6.017	207.815
													Promedio			10.415	6.041	208.637
								48.806	1.151				Total parcela					480.339
	P8	0 - 30	100.277	128.746	163.812	63.535	56.000	50.651	1.135	R1	39.940	5.005	44.945	44.335	4.395	12.188	7.069	240.622
										R2	38.337	5.000	43.337	42.730	4.393	12.140	7.042	239.678
								50.651	1.135				Promedio			12.164	7.056	240.150
		30 - 60	104.786	139.691	182.049	77.263	56.000	44.690	1.380	R1	37.056	5.003	42.059	41.428	4.372	12.612	7.316	302.807
										R2	38.802	5.003	43.805	43.177	4.375	12.552	7.281	301.368
													Promedio			12.582	7.298	302.088
	P9							44.690	1.380				Total parcela					542.237
													Total DERODAL					3314.288
DB32	P1	0 - 30	103.291	130.605	169.017	65.726	56.000	49.676	1.174	R1	39.338	5.003	44.341	43.715	4.377	12.512	7.258	255.551

DC40	P1	0 - 30	51.538	133.638	120.472	68.934	56.000	48.417	1.231	R1	40.581	5.000	45.581	44.938	4.357	12.860	7.459	275.468
		Total						48.417	1.231	R2	38.194	5.004	43.198	42.556	4.362	12.830	7.442	274.819
		30 - 60	98.870	128.279	170.314	71.444	56.000	44.306	1.276	R1	38.051	5.003	43.054	42.562	4.511	9.834	5.704	218.321
		Total						44.306	1.276	R2	35.740	5.004	40.744	40.256	4.516	9.752	5.657	216.503
	P2	0 - 30	50.864	120.684	103.210	52.346	56.000	56.626	0.935	Promedio						9.793	5.680	217.412
		Total						56.626	0.935	Total parcela								492.556
		30 - 60	106.366	127.682	165.768	59.402	56.000	53.477	1.061	R1	39.341	5.004	44.345	43.519	4.178	16.507	9.575	268.499
		Total						53.477	1.061	R2	41.100	5.005	46.105	45.267	4.167	16.743	9.712	272.345
	P3	0 - 30	51.079	108.106	94.179	43.100	56.000	60.132	0.770	Promedio						16.625	9.643	270.422
		Total						60.132	0.770	Total parcela								554.727
		30 - 60	100.277	114.730	150.809	50.532	56.000	55.956	0.902	R1	40.654	5.002	45.656	44.705	4.051	19.012	11.028	254.630
		Total						55.956	0.902	R2	39.113	5.001	44.114	43.201	4.088	18.256	10.590	244.505
	P4	0 - 30	104.888	139.430	180.775	75.887	56.000	45.573	1.355	Promedio						18.634	10.809	249.567
		Total						45.573	1.355	Total parcela								467.113
		30 - 60	105.138	140.189	191.533	86.395	56.000	38.372	1.543	R1	36.480	5.000	41.480	40.794	4.314	13.720	7.958	215.435
		Total						38.372	1.543	R2	42.740	5.004	47.744	47.044	4.304	13.989	8.114	219.656
	TOTAL DEL RODAL										Total parcela							
TOTAL DEL RODAL																		1930.895

- g. Determinación de parámetros físico químicos del suelo a una profundidad de 0-30 cm de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea Roxb*).

Rodal	Parcela	Profundidad Muestra (cm)	pH	Color		Textura	Estructura	Pedregosidad
				Seco	Húmedo			
DA 28	P1	0 - 30	5.814	10 YR 4/4	10 YR 3/4	FY	Granular	< a 5 %
	P2	0 - 30	5.760	11 YR 4/4	11 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P3	0 - 30	5.736	13 YR 4/4	13 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P4	0 - 30	6.056	15 YR 4/4	15 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P5	0 - 30	5.761	17 YR 4/6	16 YR 4/4	FY	Granular	< a 5 %
	P6	0 - 30	6.020	19 YR 4/4	19 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P7	0 - 30	5.860	21 YR 4/4	21 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
DB 32	P1	0 - 30	6.020	23 YR 4/4	23 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P2	0 - 30	6.159	25 YR 4/4	25 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P3	0 - 30	6.062	27 YR 4/4	27 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P4	0 - 30	5.940	29 YR 4/3	29 YR 4/2	FY	Granular	< a 5 %
DC 40	P1	0 - 30	4.969	31 YR 4/4	31 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P2	0 - 30	5.988	33 YR 4/4	33 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P3	0 - 30	5.968	35 YR 4/4	35 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P4	0 - 30	5.912	37 YR 4/3	37 YR 4/2	FY	Granular	< a 5 %

- h. Determinación de parámetros físico químicos del suelo a una profundidad de 30-60 cm de la plantación forestal de melina (*Gmelina arborea Roxb*).

Rodal	Parcela	Profundidad Muestra (cm)	pH	Color		Textura	Estructura	Pedregosidad
				Seco	Húmedo			
DA 28	P1	30 - 60	5.908	10 YR 4/3	10 YR 4/2	FY	Granular	< a 5 %
	P2	30 - 60	5.830	12 YR 4/4	12 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P3	30 - 60	5.810	14 YR 4/4	14 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P4	30 - 60	6.112	16 YR 4/4	16 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P5	30 - 60	5.860	18 YR 4/6	17 YR 4/4	FY	Granular	< a 5 %
	P6	30 - 60	6.120	20 YR 4/3	20 YR 4/2	FY	Granular	< a 5 %
	P7	30 - 60	5.971	22 YR 4/3	22 YR 4/2	FY	Granular	< a 5 %
DB 32	P1	30 - 60	6.128	24 YR 4/4	24 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P2	30 - 60	6.080	26 YR 4/4	26 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P3	30 - 60	5.610	28 YR 4/4	28 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P4	30 - 60	5.923	30 YR 4/3	30 YR 4/2	FY	Granular	< a 5 %
DC 40	P1	30 - 60	5.140	32 YR 4/6	32 YR 4/4	FY	Granular	< a 5 %
	P2	30 - 60	6.007	34 YR 4/4	34 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P3	30 - 60	6.011	36 YR 4/4	36 YR 4/3	FY	Granular	< a 5 %
	P4	30 - 60	5.972	38 YR 4/3	38 YR 4/2	FY	Granular	< a 5 %