



REDD ALERT

DINÁMICA DEL CARBONO ALMACENADO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN EL PERÚ



2016



DINÁMICA DEL CARBONO ALMACENADO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN EL PERÚ



Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo y asesoramiento de los investigadores líderes a nivel mundial del proyecto REDD Alert, financiado por la Unión Europea. Además por el esfuerzo y dedicación del equipo de profesionales, técnicos, obreros y tesisistas del Programa de Investigación Forestal del INIA que lograron replicar el modelo de investigación en costa, sierra y selva. La publicación ha sido financiada por el programa presupuestal PP0130 “Competitividad y aprovechamiento sostenible de los recursos forestales y de la fauna silvestre”.

DINÁMICA DEL CARBONO ALMACENADO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN EL PERÚ

**INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO**

Citación Correcta

Cuellar, J. y Salazar, E. 2016. Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. Lima Perú. 217 p.

© 2015, Instituto Nacional de Innovación Agraria
Av. La Molina N° 1981, Lima 12, Casilla N° 2791 – Lima 1
Central telefónica/ Fax 511 – 3492600
Correo electrónico: imagen@inia.gob.pe
<http://www.inia.gob.pe>

EDICIÓN

José Eloy, Cuellar Bautista
Evelin Judith, Salazar Hinostriza

EQUIPO TÉCNICO QUE PARTICIPÓ EN LA INVESTIGACIÓN

José Eloy, Cuellar Bautista
Katrin, Wolf
Johannes, Dietz
Oliver, van Straaten
Evelin Judith, Salazar Hinostriza
Karen Rosita, Fernández Ruíz
Walter, Mestanza Menor
Leví, Fasabi Tuanama
Haydeé Miriam, Ramos León
Rosario Zanabria Mallqui
Neptali Zelaya Ortíz
Araceli López León
Mayvelinne Shirley Fierro Hilario
Ysaías Zanabria Cáceres
Romelio Díaz Fuentes

HECHO EL DEPÓSITO LEGAL EN LA BIBLIOTECA NACIONAL DEL PERÚ N° 2016-17733
ISBN: 978-9972-44-028-1

Primera impresión
Tiraje: 1000 ejemplares

IMPRESO EN PERÚ - PRINTED IN PERU

Corporación Gráfica Andina SAC
Asoc. Vivienda Villa Municipal
Mz A lote 26 - Chorrillos

Todos los derechos reservados
Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización

CONTENIDO

Presentación	13
Agradecimientos	15
Introducción	17
Capítulo 1. LOS BOSQUES COMO SUMIDEROS DE CARBONO	19
Resumen ejecutivo	19
Objetivo	20
Los Bosques	20
El Carbono y su importancia	22
El Cambio Climático	24
Deforestación y Cambio Climático	24
Cambio de uso de la tierra	26
Depósitos o Reservorios de C en el ecosistema	31
Conclusiones	34
Revisión Bibliográfica	35
Capítulo 2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO REDD ALERT PARA LA ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA	39
Resumen ejecutivo	39
Objetivo	40
La Metodología	40
Desarrollo del Proceso Metodológico	41
Revisión Bibliográfica	58
Anexo	61
Capítulo 3. ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA DEL BOSQUE AMAZÓNICO	63
Resumen ejecutivo	63
Objetivo	64
La Cuenca del Aguaytía	64
Presentación de resultados	70
Discusiones	93
Conclusiones	101
Recomendaciones	102
Revisión Bibliográfica	103
Capítulo 4. ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA DEL BOSQUE ANDINO	105
Resumen ejecutivo	105
Objetivo	106
La Cuenca del Mantaro	106
Sistemas de uso de la tierra evaluados en la Cuenca	109
Presentación de resultados	114
Discusión	131
Conclusiones	139
Recomendaciones	140
Revisión Bibliográfica	141
Capítulo 5. ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA DEL BOSQUE COSTERO	145
Resumen Ejecutivo	145
Objetivo	146
La Cuenca de Chancay	146
Sistema de Uso de la Tierra Evaluado	151
Presentación de resultados	153
Discusiones	166
Conclusiones	173

	Recomendaciones	174
	Revisión Bibliográfica	175
Capítulo 6	ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS HUMEDALES COSTEROS	179
	Resumen Ejecutivo	179
	Objetivo	180
	Los humedales	180
	Descripción del Sistema de Uso de la Tierra Evaluado	182
	Presentación de resultados	186
	Discusión	191
	Conclusiones	192
	Recomendaciones	193
	Revisión Bibliográfica	194
Anexo	195

Índice de cuadros

Cuadro 1.	Distribución estimada de depósitos mundiales de Carbono	23
Cuadro 2.	Definición de bosque	25
Cuadro 3.	Importancia del bosque	26
Cuadro 4.	Estado actual de las pasturas en la Amazonia Peruana	28
Cuadro 5.	Matriz de Consistencia de la Investigación	41
Cuadro 6.	Ejemplo de formulario con identificación de muestras de suelo para orientar el análisis de laboratorio para determinar la densidad utilizando calicatas	45
Cuadro 7.	Ecuaciones alométricas para Árboles Tropicales	51
Cuadro 8.	Ecuaciones alométricas para Plantaciones Forestales	51
Cuadro 9.	Ecuaciones alométricas para Bosques Naturales y Barbechos	52
Cuadro 10.	Ecuaciones alométricas para diferentes tipos de Masas Boscosas	52
Cuadro 11.	Ecuaciones alométricas para Bosques Tropicales	53
Cuadro 12.	Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa en árboles aislados y dispersos	53
Cuadro 13.	Ecuaciones alométricas analizadas para estimar la biomasa aérea de Palma Aceitera ...	53
Cuadro 14.	Ecuaciones alométricas para Especies Agroforestales	54
Cuadro 15.	Usos de la tierra en la Cuenca de Aguaytía	67
Cuadro 16.	Distancias mínimas y máximas entre SUT de un Cluster	69
Cuadro 17.	Biomasa aérea total del Bosque Primario Remanente	70
Cuadro 18.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades en Bosques Primarios R.	72
Cuadro 19.	Biomasa aérea total de la Purma Alta	72
Cuadro 20.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades en Purma Alta	74
Cuadro 21.	Biomasa aérea total de las Purmas Bajas	74
Cuadro 22.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades en Purma Baja	76
Cuadro 23.	Biomasa aérea total en Palma Aceitera	76
Cuadro 24.	Biomasa de raíces finas en Palma Aceitera a diferentes profundidades (t/ha)	78
Cuadro 25.	Biomasa aérea total de los Pastizales	78
Cuadro 26.	Biomasa de raíces finas del Pastizal a diferentes profundidades (t/ha)	79
Cuadro 27.	Biomasa aérea total en Cultivos	80
Cuadro 28.	Biomasa de raíces finas en Cultivos a diferentes profundidades	81
Cuadro 29.	Carbono aéreo total del Bosque Primario Remanente	82
Cuadro 30.	Carbono en raíces finas del Bosque Primario Remanente a diferentes profundidades (tC/ha).	82
Cuadro 31.	Carbono en el suelo del Bosque Primario Remanente a diferentes profundidades (tC/ha) ..	83
Cuadro 32.	Carbono aéreo total de las Purmas Altas	83
Cuadro 33.	Carbono en raíces finas en Purma Alta a diferentes profundidades (tC/ha)	84
Cuadro 34.	Carbono en el suelo en Purma Alta (tC/ha)	84
Cuadro 35.	Carbono aéreo total de las Purmas Bajas	85
Cuadro 36.	Carbono en raíces finas en Purma Baja a diferentes profundidades (tC/ha)	85
Cuadro 37.	Purma Baja a diferentes profundidades (tC/ha)	86
Cuadro 38.	Carbono aéreo total en Palma Aceitera	86

Cuadro 39.	Carbono en raíces en Palma Aceitera a diferentes profundidades (tC/ha)	87
Cuadro 40.	Carbono en el suelo en Palma Aceitera a diferentes profundidades (tC/ha)	87
Cuadro 41.	Carbono aéreo total de los Pastizales	88
Cuadro 42.	Carbono en raíces finas en Pastizales a diferentes profundidades (tC/ha)	88
Cuadro 43.	Carbono en el suelo en Pastizales a diferentes profundidades (tC/ha)	89
Cuadro 44.	Carbono aéreo total en Cultivos	89
Cuadro 45.	Carbono en raíces finas de Cultivos a diferentes profundidades (tC/ha)	90
Cuadro 46.	Carbono en el suelo de Cultivos (tC/ha)	90
Cuadro 47.	Carbono almacenado a nivel de los cinco depósitos en (tC/ha)	91
Cuadro 48.	Carbono total en la evaluación 2001 y 2011	92
Cuadro 49.	Biomasa aérea total de la Plantación de Pino	114
Cuadro 50.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	114
Cuadro 51.	Biomasa aérea total de la Plantación de Eucalipto	115
Cuadro 52.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	115
Cuadro 53.	Biomasa aérea total del bosque nativo de Polylepis	116
Cuadro 54.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	116
Cuadro 55.	Biomasa aérea total del Bosque de Aliso	117
Cuadro 56.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	117
Cuadro 57.	Biomasa aérea total del SUT Pastizal	118
Cuadro 58.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	118
Cuadro 59.	Biomasa aérea total del SUT Cultivo	119
Cuadro 60.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	119
Cuadro 61.	Carbono aéreo total del SUT Pino	120
Cuadro 62.	Carbono en las raíces finas a diferentes profundidades (tC/ha)	120
Cuadro 63.	Carbono en el suelo del Pino a diferentes profundidades (tC/ha)	121
Cuadro 64.	Carbono aéreo total del SUT Eucalipto	121
Cuadro 65.	Carbono en raíces finas a diferentes profundidades (tC/ha)	122
Cuadro 66.	Carbono en el suelo del eucalipto a diferentes profundidades (tC/ha)	122
Cuadro 67.	Carbono aéreo total del Bosque de Queñua	123
Cuadro 68.	Carbono en raíces finas del Polylepis a diferentes profundidades	123
Cuadro 69.	Carbono en el suelo del Queñua a diferentes profundidades (tC/ha)	124
Cuadro 70.	Carbono aéreo total del bosque de Aliso	124
Cuadro 71.	Carbono en raíces finas del Bosque de Aliso a diferentes profundidades (tC/ha)	125
Cuadro 72.	Carbono en el suelo del Bosque de Aliso a diferentes profundidades (tC/ha)	125
Cuadro 73.	Carbono aéreo total del SUT Pastizal	126
Cuadro 74.	Carbono en raíces finas del SUT Pastizal a diferentes profundidades (tC/ha)	126
Cuadro 75.	Carbono en el suelo del SUT Pastizal a diferentes profundidades (tC/ha)	127
Cuadro 76.	Carbono aéreo total del SUT Cultivos	127
Cuadro 77.	Carbono en raíces finas del SUT Cultivos a diferentes profundidades (tC/ha)	128
Cuadro 78.	Carbono almacenado en el suelo de cultivos	128
Cuadro 79.	Carbono total almacenado en el bosque andino	129
Cuadro 80.	Biomasa aérea total del Bosque Primario Remanente	153
Cuadro 81.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	153
Cuadro 82.	Biomasa aérea total de la Plantación Frutal (PF)	154
Cuadro 83.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	154
Cuadro 84.	Biomasa aérea total del SUT Pastizal	155
Cuadro 85.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	155
Cuadro 86.	Biomasa aérea total del SUT Cultivos	156
Cuadro 87.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	156
Cuadro 88.	Carbono aéreo total del SUT Bosque Primario Remanente	157
Cuadro 89.	Carbono en las raíces finas del SUT Bosque Primario Remanente a diferentes profundidades (tC/ha)	157
Cuadro 90.	Carbono en el SUT Bosque Primario Remanente a diferentes profundidades (tC/ha)	158

Cuadro 91.	Carbono aéreo total del SUT Plantación Frutal	158
Cuadro 92.	Carbono en raíces finas del SUT Plantación Frutal a diferentes profundidades (tC/ha)	159
Cuadro 93.	Carbono en el suelo del SUT Plantación Frutal a diferentes profundidades (tC/ha)	159
Cuadro 94.	Carbono aéreo total del SUT Pastizal	160
Cuadro 95.	Carbono en raíces finas del SUT Pastizal a diferentes profundidades (tC/ha)	160
Cuadro 96.	Carbono en el suelo del SUT Pastizal a diferentes profundidades (tC/ha)	161
Cuadro 97.	Carbono aéreo total del Cultivo	161
Cuadro 98.	Carbono en raíces finas del SUT cultivos a diferentes profundidades (tC/ha)	162
Cuadro 99.	Carbono en el suelo del SUT Cultivo anual a diferentes profundidades (tC/ha)	162
Cuadro 100.	Carbono Total almacenado en el Bosque Costero	163
Cuadro 101.	Biomasa aérea total del SUT Humedal	186
Cuadro 102.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	186
Cuadro 103.	Carbono aérea total del SUT Humedal	187
Cuadro 104.	Carbono en las raíces finas y en el suelo	188
Cuadro 105.	Carbono total en el SUT Humedal	188

Índice de Figuras

Figura 1.	Bosque Primario Remanente en Selva Alta	20
Figura 2.	Bosque de Selva Baja	21
Figura 3.	El ciclo y almacenamiento de Carbono en el planeta	23
Figura 4.	Deforestación de bosques para instalar pasturas - Oxampampa, Pasco	25
Figura 5.	Patrón de cambios en el bosque tropical	26
Figura 6.	Agricultura migratoria	27
Figura 7.	Pastizal convencional - Neshuya, Ucayali	27
Figura 8.	Comparación de los métodos de diferencia entre reservas y ganancia pérdida	29
Figura 9.	Los bosques como reserva y como flujo de Carbono	30
Figura 10.	Depósitos de Carbono en el ecosistema	31
Figura 11.	Calicata de muestreo para medir Carbono en el suelo	33
Figura 12.	Flujograma de la metodología	40
Figura 13.	Nivel de precisión (+/-)%	42
Figura 14.	Diagrama de la parcela de muestreo tipo A para medición de Carbono	44
Figura 15.	Diagrama de la Parcela de muestreo tipo B para la medición de Carbono	44
Figura 16.	Medición del diámetro de los árboles DAP al 1,30m Pucallpa, Ucayali	46
Figura 17.	Reconocimiento de especies en la vegetación arbustiva-herbácea Pucallpa, Ucayali ..	46
Figura 18.	Muestreo de la vegetación arbustiva-herbácea y hojarasca Aguaytía, Ucayali	46
Figura 19.	Medición del diámetro y longitud de los troncos caídos muertos	47
Figura 20.	Medición del diámetro y altura de tocones	47
Figura 21.	Diseño de la parcela para muestrear carbono en el suelo	47
Figura 22.	Colección de muestras de suelo en SUT cacao - Tarapoto, San Martín	48
Figura 23.	Procesamiento de suelos para evaluación de carbono	48
Figura 24.	Diseño de calicata para muestrear raíces finas	48
Figura 25.	Muestras en crisoles y puestos en la Mufla para determinar el carbono	49
Figura 26.	Diseño de calicata para muestrear densidad aparente del suelo	49
Figura 27.	Raíces finas provenientes de diversos estratos	50
Figura 28.	La Palma Aceitera es una actividad económica importante	64
Figura 29.	Ubicación del área de evaluación dentro de la cuenca del Aguaytía	65
Figura 30.	Lovema de Barbechos en masas boscosas	66
Figura 31.	Apertura de Barbechos en masas boscosas	66
Figura 32.	Vista panorámica de un Bosque Primario Remanente	67
Figura 33.	Vista de un mosaico de Purma Alta	67
Figura 34.	Vista de árboles componentes de una Purma Baja	68
Figura 35.	Vista de plantas de Palma Aceitera	68
Figura 36.	Vista panorámica de Pastizales	68

Figura 37.	Cultivo anual de yuca en evaluación	68
Figura 38.	Establecimiento de clusters dentro del área de evaluación	69
Figura 39.	Biomasa aérea total en el SUT	70
Figura 40.	Abundancia de familias en la vegetación arbórea	71
Figura 41.	Abundancia de familias en la vegetación arbustiva – herbácea	71
Figura 42.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	72
Figura 43.	Abundancia de familias en la vegetación arbórea de las Purmas Altas	73
Figura 44.	Abundancia de familias en la vegetación arbustiva y herbácea	73
Figura 45.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	74
Figura 46.	Abundancia de familias en la vegetación arbórea de Purma Baja	75
Figura 47.	Abundancia de familias en la vegetación arbustiva – herbácea	75
Figura 48.	Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades	76
Figura 49.	Abundancia de familias en la vegetación arbustiva - herbácea en Palma Aceitera	77
Figura 50.	Abundancia de familias epífitas en Palma Aceitera	77
Figura 51.	Biomasa de raíces finas en Palma Aceitera a diferentes profundidades	78
Figura 52.	Abundancia de familias en la vegetación arbustiva – herbácea en Pastizales	79
Figura 53.	Biomasa de raíces finas del Pastizal a diferentes profundidades	79
Figura 54.	Abundancia de familias en la vegetación arbórea en Cultivos	80
Figura 55.	Abundancia de familias en la vegetación arbustiva – herbácea	81
Figura 56.	Biomasa de raíces finas en Cultivos a diferentes profundidades	81
Figura 57.	Carbono en raíces finas del Bosque Primario Remanente a diferentes profundidades ..	82
Figura 58.	Carbono en el suelo del Bosque Primario Remanente	83
Figura 59.	Carbono en raíces finas en Purma Alta a diferentes profundidades	84
Figura 60.	Carbono en el suelo en Purma Alta	84
Figura 61.	Carbono en raíces finas en Purma Baja a diferentes profundidades	85
Figura 62.	Carbono en el suelo en Purma Baja a diferentes profundidades	86
Figura 63.	Carbono en raíces finas en Palma Aceitera a diferentes profundidades	87
Figura 64.	Carbono en el suelo de Palma Aceitera a diferentes profundidades	87
Figura 65.	Carbono en raíces finas en Pastizales a diferentes profundidades	88
Figura 66.	Carbono en el suelo de Pastizales a diferentes profundidades	89
Figura 67.	Carbono en raíces finas de Cultivos a diferentes profundidades	90
Figura 68.	Carbono en el suelo de Cultivos a diferentes profundidades	90
Figura 69.	Patrón de cambios de almacenamiento de Carbono a nivel de depósitos y SUT	91
Figura 70.	Patrón de cambios del Carbono almacenado en las raíces de cinco SUT	92
Figura 71.	El valle del Mantaro	106
Figura 72.	En la agricultura se suele cultivar a favor de la pendiente, favoreciendo la pérdida de suelo..	107
Figura 73.	Plantaciones exóticas de eucalipto en cabezeras de cuenca Mantaro	108
Figura 74.	Ubicación del valle del Mantaro	109
Figura 75.	Plantación de Pino	110
Figura 76.	Plantación forestal de Eucalipto	110
Figura 77.	Bosque de Polylepis	111
Figura 78.	Plantación de Queñua	111
Figura 79.	Bosque natural de Aliso	112
Figura 80.	Cultivo anual de Habas	112
Figura 81.	Pastizales Naturales	112
Figura 82.	Biomasa de raíces en el SUT Plantación de Pino	114
Figura 83.	Biomasa de raíces en el SUT Plantación de Eucalipto	115
Figura 84.	Biomasa en las raíces en el SUT Bosque de Polylepis	116
Figura 85.	Biomasa de raíces en el SUT Bosque de Aliso	117
Figura 86.	Biomasa de raíces en el SUT Pastizal	118
Figura 87.	Biomasa de raíces en el SUT Cultivos	119
Figura 88.	Carbono en las raíces en el SUT Plantación de Pino	120
Figura 89.	Carbono en el suelo del SUT Plantación de Pino	121

Figura 90.	Carbono de raíces en el SUT Plantación de Eucalipto	122
Figura 91.	Carbono en el suelo del SUT Plantación de Eucalipto	122
Figura 92.	Carbono en las raíces en el SUT Bosque de Polylepis	123
Figura 93.	Carbono en el suelo del SUT Bosque de Polylepis	124
Figura 94.	Carbono en las raíces en el SUT Bosque de Aliso	125
Figura 95.	Carbono en el suelo del SUT Bosque de Aliso	125
Figura 96.	Carbono en las raíces en el SUT Pastizal	126
Figura 97.	Carbono en el suelo del SUT Pastizal	127
Figura 98.	Carbono en las raíces en el SUT Cultivos	128
Figura 99.	Carbono en el suelo del SUT Cultivos	128
Figura 100.	Carbono total Almacenado en el bosque andino	129
Figura 101.	Patrón de cambios del Carbono total almacenado en el bosque andino	130
Figura 102.	Sistemas de Uso de la Tierra-SUT	130
Figura 103.	Ubicación de los clusteres de estudio	146
Figura 104.	La Cuenca Chancay	146
Figura 105.	El Carbón de algarrobo es la actividad más importante	147
Figura 106.	Los bosques secos constantemente se cambian a otros usos	148
Figura 107.	Suelos predominantes de los bosques secos	149
Figura 108.	Bosques denso de algarrobo	149
Figura 109.	Bosque de algarrobo semi denso	149
Figura 110.	Una finca con frutales de exportación, bosques y plantaciones	151
Figura 111.	Plantación de un frutal de mango	151
Figura 112.	Conformación arbórea de un bosque seco semi denso	151
Figura 113.	Vista de un pastizal en la costa de Lambayeque	152
Figura 114.	Cultivo de maíz	152
Figura 115.	Biomasa de raíces en el SUT Bosque Primario Remanente	153
Figura 116.	Biomasa de raíces en el SUT Plantación Frutal	154
Figura 117.	Biomasa en las raíces en el SUT Pastizal	155
Figura 118.	Biomasa de raíces en el SUT Cultivo	156
Figura 119.	Carbono en las raíces en el SUT Bosque Primario Remanente	157
Figura 120.	Carbono en el suelo del SUT Bosque Primario Remanente	158
Figura 121.	Biomasa de raíces en el SUT Plantación Frutal	159
Figura 122.	Carbono en el suelo del SUT Plantación Frutal	159
Figura 123.	Carbono en las raíces en el SUT Pastizal	160
Figura 124.	Carbono en el suelo del SUT Pastizal	161
Figura 125.	Carbono en las raíces en el SUT Cultivo	162
Figura 126.	Carbono en el suelo del SUT Cultivo	162
Figura 127.	Carbono almacenado en el SUT suelo a diferentes profundidades	163
Figura 128.	Comparación del Almacenamiento sobre y bajo suelo	164
Figura 129.	Patrón de cambios del carbono almacenado en el Bosque costero	164
Figura 130.	Patrón de cambios del Carbono en el Depósito Suelo	165
Figura 131.	Humedales de Pantanos de Villa	180
Figura 132.	Ubicación del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa	182
Figura 133.	Vegetación en los Pantanos de Villa	183
Figura 134.	Evaluación de la biomasa de totora	185
Figura 135.	Evaluación de la biomasa del junco	185
Figura 136.	Biomasa de raíces en el SUT Humedal	186
Figura 137.	Biomasa de raíces en el SUT Humedal	187
Figura 138.	Carbono total sobre el suelo del humedal	187
Figura 139.	Carbono total en el suelo del humedal	188
Figura 140.	Carbono total en el SUT humedal	189
Figura 141.	Relación entre el Carbono aéreo y en el suelo a nivel de cada especie	189
Figura 142.	Relación entre el C aéreo y en el suelo a nivel de cada Depósito y Especie	190

PRESENTACIÓN

El presente documento trata de cerrar una brecha en la información sobre la dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú, ha sido posible debido al Proyecto “Reducción de las emisiones de la deforestación y degradación mediante alternativas del uso de las tierras en los bosques tropicales” - REDD ALERT”, el objetivo fue medir el efecto del cambio de uso del suelo en la biomasa y carbono almacenado, para ello se formaron clústeres con los principales tipos de uso de la tierra, simulando una sucesión a partir de un bosque primario remanente, se utilizó metodologías establecidas por el IPCC para la biomasa aérea y de la Universidad de Gottingen para evaluaciones bajo el suelo.

Ha sido posible debido al trabajo en redes ya que en un primer momento se hizo la capacitación con los especialistas internacionales y luego se trabajó una réplica con estudiantes de las universidades locales para hacer la evaluación a los bosques andinos y costeros. Este documento representa una gran contribución al conocimiento nacional pues es el primero que presenta resultados en los tres tipos de bosques a nivel nacional, en cuencas previamente seleccionadas de las tres regiones naturales como son: la cuenca del Aguaytía en la región Ucayali para el ecosistema amazónico, la cuenca del Mantaro en la región Junín para el ecosistema andino y la cuenca de Chancay – La Leche en la región Lambayeque para el ecosistema costero.

Esta investigación nos presenta evidencias de que con el actual uso que se le está dando al bosque peruano, estamos perdiendo la biomasa, la capacidad para regenerar y de volver a su estado fisiográfico natural, luego de intervenciones severas destruyéndose la diversidad biológica y favoreciendo al cambio climático, los resultados nos permitirán mejorar el conocimiento sobre la dinámica del carbono en el ecosistema, de tal manera que permitan crear bases para el manejo forestal sostenible y la política de pagos por servicios ambientales en el país. Sin embargo, esta es solo una contribución desde la investigación y para surtir el efecto deseado es necesario que los actores público, privado y sociedad involucrada con la conservación del bosque peruano tomen conciencia de la gravedad de la situación actual y se formulen medidas de gestión apropiadas.

Dante Alberto Maurer Fossa Ph.D.
Jefe del Instituto Nacional de
Innovación Agraria

AGRADECIMIENTOS

Al PhD Robin Mathews, de James Hutton Institute, líder general del proyecto REDD Alert, por sus aportes y apoyo para que se desarrolle el proyecto.

Al PhD Edzo Veldkamp, de Göttingen University, por su valioso aporte y conocimiento para plantear la investigación a nivel del suelo.

Al PhD Meine van Noordwijk, de ICRAF, por los importantes consejos y aportes durante el desarrollo de la presente investigación.

Al PhD Oliver van Straaten de Göttingen University, por su valioso aporte y asesoramiento en el diseño de la parcela experimental utilizada.

Al Ing. Cesar Priale, jefe del Laboratorio de Suelos de la EEA El Porvenir de INIA, quien nos apoyó en procesar las muestras, para determinar carbono en el suelo de la presente investigación.

Al Blgo. Daniel Valle, por haber brindado las facilidades para la investigación en el Refugio de vida Silvestre Pantanos de Villa.

A todos los profesionales, técnicos, tesistas y obreros de las brigadas de campo de las estaciones experimentales agrarias EEA de Pucallpa, Santa Ana y Vista Florida del INIA y del Refugio de vida Silvestre Pantanos de Villa que con su trabajo profesional lograron que se obtenga esta data científica tan importante.

A los docentes de las universidades: Universidad de Ucayali, UNU; Universidad Nacional Agraria de la Selva, UNAS; Universidad Nacional del Centro del Perú UNCP, y la Universidad Cesar Vallejo, UCV; que contribuyeron a que esta investigación se culmine mediante trabajos de tesis.

A la Unión Europea por el financiamiento al Proyecto REDD Alert que nos permitió diseñar y validar la metodología para desarrollar el trabajo de campo a nivel del país.

Al Programa Presupuestal 0130 “Competitividad y aprovechamiento Sostenible de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre” por haber financiado la sistematización y publicación.

INTRODUCCIÓN

Los bosques constituyen uno de los ecosistemas más valiosos del mundo. Contienen más del sesenta por ciento de la biodiversidad del planeta que, además de su valor intrínseco, tiene otros múltiples valores sociales y económicos: desde las importantes funciones ecológicas del bosque en términos de protección del suelo y de las cuencas, hasta el valor económico de los numerosos productos que pueden extraerse del bosque. El Perú posee una superficie total de bosques al 2011 de 79 942 865 ha (Ministerio del Ambiente MINAM, 2011; Gobierno Regional de Ucayali GOREU, 2012).

Entre las causas directas más importantes de la deforestación figuran; la tala, la conversión del bosque a la agricultura, la cría de ganado, la urbanización, la construcción de infraestructura, la minería, la explotación de petróleo, la lluvia ácida y los incendios. No obstante, ha habido una tendencia a hacer hincapié en los pequeños agricultores migratorios o en la “pobreza” como causa principal de la pérdida de bosques. La tendencia general de estos agricultores es la de asentarse a lo largo de caminos que atraviesen el bosque, talar una parcela de tierra y utilizarla para la plantación de cultivos de subsistencia o de cultivos comerciales. En los bosques tropicales, ese tipo de prácticas terminan por provocar una rápida degradación del suelo ya que en gran medida es demasiado pobre como para resistir las prácticas agrícolas. Por consiguiente, a los pocos años el agricultor se ve forzado a talar otra parcela del bosque. La tierra agrícola degradada a menudo es utilizada algunos años más para la cría de ganado, lo cual equivale a acelerar su proceso de degradación ya que el ganado elimina los últimos rastros de fertilidad que podían quedar. El resultado es una parcela de tierra totalmente degradada que durante muchos años no podrá recuperar su biomasa original. Es un gran error creer que tales prácticas agrícolas insustentables sólo ocurren en los países tropicales. Muchas partes de América del Norte y Europa Occidental se han deforestado debido a la agricultura insustentable, provocando una severa degradación del suelo y en muchos casos el abandono de la zona por los agricultores.

El Perú viene jugando un rol cada vez más importante en las discusiones técnicas y políticas internacionales en torno a mecanismos de adaptación y mitigación al cambio climático. El surgimiento de la estrategia de reducción de emisiones derivadas de la deforestación y degradación de bosques REDD y sus posteriores evoluciones conceptuales, como parte del protocolo sucesor al de Kyoto, abre las puertas al país para acceder a recursos a través de la “deforestación evitada” en su territorio nacional, entonces con esta propuesta no solo contribuirá a combatir el cambio climático, sino además podría generar una amplia gama de beneficios concomitantes, tales como la conservación de la biodiversidad, servicios ambientales y elevar el bienestar de comunidades que habitan dentro o dependen de los bosques para impulsar el desarrollo rural en la amazonia (Organización de Estudios Tropicales OET, 2011).

Es importante conocer el stock de carbono (C) que se puede almacenar en los diferentes tipos de asociaciones vegetales a nivel nacional, por dos razones; para saber cuál es el potencial de captura de carbono de una determinada asociación que nos permita realizar proyectos en el mercado de carbono y además para conocer el patrón de cambios por la pérdida del carbono almacenado en el ecosistema conforme se le va cambiando de uso al bosque con ello podemos medir el carbono que se va hacia la atmósfera formando los gases de efecto invernadero y para planificar sistemas de producción que sean altamente eficientes en captura y almacenamiento de carbono de acuerdo con la vocación de cada territorio o área.

Si bien es cierto, con la presente publicación se está contribuyendo para mejorar el conocimiento de la dinámica del carbono almacenado en los ecosistemas a partir del cambio de uso del bosque, es

necesario mencionar que dada la enorme diversidad del territorio nacional, es importante continuar con otras evaluaciones que permitan generar una data transversal y que luego podemos enriquecerlas con evaluaciones longitudinales, todo esto con la finalidad de identificar opciones técnicas y políticas que permitan asegurar la permanencia de los ecosistemas a pesar de todos los cambios que se producen en el ecosistema.

Si bien es cierto se conoce sobre el efecto del cambio de uso del suelo sobre el carbono almacenado, sin embargo no cuentan con estudios que permitan responder con conocimientos científicos la dinámica del carbono almacenado en el bosque. Para ello es importante fortalecer las capacidades para la investigación, de tal manera que el grupo humano formado en el proyecto, debería continuar con el efecto multiplicador y desarrollar actividades que favorezcan la formación de redes de investigación, de tal manera que se forme una masa crítica importante que permita respuestas más sólidas a los problemas ocasionados por el cambio climático.

El presente documento, ha realizado evaluaciones siguiendo la misma metodología, a tres grandes unidades ó paisajes de bosques en el territorio nacional ubicados en la selva (bosque amazónico), la sierra (bosque andino) y la costa (bosque costero seco y un humedal). Con respecto al bosque amazónico se determinó como unidad de evaluación la cuenca del Aguaytía, que tiene una historia de deforestación de casi 70 años, iniciándose con la llegada de los primeros colonizadores en los años cercanos a 1940 (Instituto de investigaciones de la Amazonia Peruana IIAP, 2003). Es una zona de referencia nacional e internacional ya que posee una gran cantidad de suelos y formaciones vegetales representativas de selva baja y selva alta, cuenta con una data histórica de estudios desarrollados sobre aspectos biofísicos y socioeconómicos por casi cuatro décadas. Con respecto al bosque andino se determinó trabajar en la Cuenca del Mantaro, basándonos a la zona circundante al valle del Mantaro, debido a que es una zona en donde se ha dado cambios constantes en el paisaje durante varios siglos y que está documentado. Con respecto al bosque costero seco, se determinó evaluar la cuenca del Chancay en Lambayeque, ya que cuenta con documentación de investigación previa, básicamente por el proyecto "Algarrobo", también se tuvo en consideración la importancia ambiental y socioeconómica de los humedales para el ecosistema costero, motivo por el cual se ha evaluado los "Pantanos de Villa", por su ubicación y además porque posee data previa de investigación.



CAPITULO 1

LOS BOSQUES COMO SUMIDEROS DE CARBONO

Por: José Eloy Cuellar Bautista

Resumen Ejecutivo

Los bosques son complejos ecosistemas de seres vivos que se influyen mutuamente, como sistema tienen una organización muy dependiente entre sí, ya que si falla una parte afecta al conjunto y viceversa. Nos brindan seguridad alimentaria, salud, abrigo y distracción a millones de personas en el planeta, es muy importante mencionar que el 52% de los bosques se encuentran en los trópicos, es preocupante que en los últimos años el área mundial este disminuyendo a un ritmo de 10 a 12 millones de hectáreas por año y de ello el 80% este sucediendo en los trópicos, siendo Sudamérica responsable del 20% de estas pérdidas. Entre los efectos más visibles para la humanidad como consecuencia del cambio de uso y la degradación de los bosques, es la pérdida de la diversidad biológica, la seguridad alimentaria y principalmente la liberación de gases de efecto invernadero (GEI), favoreciendo el incremento del cambio climático global, situación que fuera advertida desde el año 2007 por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). El Carbono es un elemento químico fundamental circula por los océanos, suelo, sub suelo y atmósfera; las plantas a través de la fotosíntesis constituyen el medio de captura y almacenamiento. En ese sentido los bosques constituyen un sistema inmenso de reservorios para retener que el Carbono se desplace a la atmósfera y de esta manera reducir el efecto invernadero o calentamiento global. Para ello es importante desarrollar estudios biofísicos y socioeconómicos que nos permitan mejorar la comprensión sobre la dinámica del Carbono en el planeta y los actores en el proceso con ello planificar lineamientos de política global para mejorar el ecosistema en el planeta.



Objetivo

Conocer la teoría y definiciones más importantes sobre el bosque, Carbono (C) y el cambio climático. Comprender el proceso por el cual se fija C y como se distribuye entre los depósitos del ecosistema, para mejorar la comprensión sobre la dinámica del C forestal.

Los Bosques

Son complejos ecosistemas de seres vivos que incluyen micro organismos, vegetales y animales que se influyen mutuamente y se subordinan al ambiente dominante de unos árboles que se extienden en áreas mayores a media hectárea, superan (o pueden superar) los dos metros de altura y tienen una cubierta de más del 10% del área que ocupan (MINAM, 2011). Además los bosques tropicales brindan a millones de personas, materia prima en forma de alimentos, combustible, madera, materiales de construcción y suministran servicios ecosistémicos que son vitales para todos los habitantes del planeta, tales como la regulación hídrica, el agua dulce, control de la erosión, la protección del suelo, fijación de C y la regulación del clima, además son hábitats importantes para la vida silvestre y suministran variados insumos para la seguridad alimentaria de la humanidad (Kaeslin & Williamson, 2010).



Figura 1. Bosque Primario Remanente en Selva Alta.

El área total de los bosques del mundo es de aproximadamente 3,4 billones de hectáreas; representando un tercio de la superficie

terrestre. El 52% de los bosques se encuentran en los trópicos, 30% en las latitudes altas y 18% en las latitudes medias. En los últimos años, el área mundial de bosques está disminuyendo a un ritmo entre 12 a 15 millones de hectáreas anuales, de ello casi el 80% está ocurriendo en el trópico, siendo América del Sur responsable del 20% de las emisiones de C (Asner *et al.*, 2005; Kanninen, 2007; FAO, 2009). Sin embargo, en los últimos años debido a diversas actividades antrópicas que encuentran sus raíces en un complejo de realidades ambientales, sociales, políticas e institucionales (Forner *et al.*, 2006), se está produciendo un proceso acelerado de deforestación, ocasionando el cambio de uso y la degradación de los bosques, que amenaza la diversidad biológica y libera gases de efecto invernadero (GEI), favoreciendo el incremento del cambio climático global (Lanly, 2003; White *et al.*, 2005), esta situación fue advertida en el cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), que presentó pruebas incontrovertibles en el sentido que el clima mundial está cambiando debido principalmente a las actividades humanas.

Ante la gravedad de esta situación, se han generado a nivel mundial diversas iniciativas y estrategias; como la adaptación y la mitigación al cambio climático. Inicialmente, el protocolo de Kyoto motivó el interés para determinar el stock de C en los bosques, pero su alcance se limitó a evaluaciones de las plantaciones forestales (Locatelli, 2005). Por esa razón en la decimotercera sesión de la conferencia de las partes (COP 13) de la CMNUCC¹, se reconoció la importancia de evaluar la deforestación y degradación a nivel de los bosques, incorporándola al mecanismo propuesto para reducir las emisiones globales derivadas de la deforestación. De hecho, hoy en día es ampliamente reconocido que para la mitigación del cambio climático, es crítico reducir las emisiones de C producto de la deforestación

1. Convención Mundial de las Naciones Unidas por el Cambio climático.



y degradación de los bosques (Angelsen *et al.*, 2009; Van Noordwijk, *et al.*, 2011).

El Perú, es el segundo país con mayor extensión de bosques en Latinoamérica y el noveno en el mundo (FAO, 2001). El MINAM (2011), elaboró con imágenes del satélite LANSAT el Mapa del Patrimonio Forestal Nacional, que comprende bosques amazónicos, andinos y costeros. De acuerdo al mapa, la superficie de bosque al 2011 es 73 294 958 ha que es el patrimonio forestal. De los cuales 53 432 618 ha se encuentran en Bosques de Selva Baja, 15 736 030 ha en Selva Alta, 3 235 012 ha en Bosques Secos del Norte, 385 005 ha en Bosques Andinos, 372 915 ha en Bosques Secos del Marañón y 133 378 ha en Bosques Montanos Occidentales del Perú. El bosque tropical peruano tiene capacidad de almacenar más de 17 giga toneladas (Gt) de C, que en formato de dióxido de C equivaldrían a 62,4Gt de CO₂ equivalente a la emisión global anual de gases con efecto invernadero del año 2004 (Armas *et al.*, 2009). La riqueza forestal del Perú, al igual que muchas otras partes del mundo, tiene un profundo desfase cuando se compara su valor ecológico con su aporte a la economía y esto se evidencia cuando se hace una revisión de la manera como se administró el recurso en las últimas cuatro décadas y que han llevado a crear desconfianza en la población rural que vive del recurso.

Cuando analizamos la situación del patrimonio forestal, podremos mencionar que existieron varios intentos por ordenarlo, un primer intento fue con la publicación del Decreto Ley DL 21147, y sus reglamentos respectivos, sin embargo el carácter de esta ley fue tergiversado en su aplicación y se gestionó en base a una interpretación sesgada, lo que al final trajo fue una atomización de la propiedad, incentivado detrás por un grupo de personas que utilizando a terceros como testaferros se hacían en la práctica de grandes extensiones forestales. Otra característica de esta norma es que regulaba la extracción mediante el pago de un impuesto para la reforestación, el mismo que según el carácter

de la norma debió ser cumplido estrictamente, pero en la práctica no tuvo el fin que se pretendía. De tal manera que luego de años de trabajo no tenemos una efectiva reposición del recurso en campo, pero si cifras de reforestación que solo quedan en el papel de las estadísticas agrarias.



Figura 2. Bosque de Selva Baja.

En el año 2000, se promulgó la Ley 27308, regulado mediante el D.S. N° 014-2001-AG, trató de corregir el error de atomizar la propiedad y apostó por áreas concentradas de manejo bajo la modalidad de concesión forestal, cada unidad tenía 5 000 ha y se podía acceder mediante concurso público, ofertar un monto fijo de soles/ha/año además, se tenía que proponer un plan de manejo, controlar el movimiento forestal, desde su manejo y esta información debería ser reportada a la autoridad antes de la aprobación de su nuevo plan de operaciones anual POA. Esta norma tuvo aciertos y también desaciertos, sin embargo presentó avances en la concepción del manejo forestal, fue en la parte de la implementación que no tuvo una buena estrategia para la acción, de tal manera que muchas de las cosas que se decían en la Ley y su reglamento no estaban dadas en el campo.

Consecuencia de estos conflictos, y ante los compromisos asumidos por el estado, en especial el Tratado de Libre Comercio TLC con los Estados Unidos de America USA, se elaboró un nuevo documento; DL 1090, el cual fue publicado en el año 2009, con un mínimo de socialización, y que fue motivo para múltiples manifestaciones y protestas de comunidades indígenas y que finalmente ocasionaron los sucesos de violencia



conocidos como el “Baguazo”. Posteriormente, el estado volvió a poner en debate la nueva versión de la Ley Forestal, y se publicó la Ley 29763, que tiene la visión de promover la conservación, la protección, el incremento y el uso sostenible del patrimonio forestal y de fauna silvestre dentro del territorio nacional, apostando por una serie de cambios en el arreglo institucional, se encuentra el “enfoque de los bosques como fuente de bienes y servicios y no solo como espacio de extracción”.

El Carbono y su importancia

El C es la unidad principal de la vida en este planeta y su ciclo es fundamental para el desarrollo de todos los organismos, es el elemento básico en la formación de las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleídos, todas las moléculas orgánicas están formadas por cadenas de C enlazados entre sí. Se acumula en compartimientos llamados depósitos y circula activamente entre ellos, de estos depósitos, los océanos almacenan 38 000Gt, el suelo 15 000Gt, la atmósfera 750Gt y las plantas 560Gt (FAO, 2004). La atmósfera y la hidrosfera son las reservas fundamentales de C (en moléculas de CO_2) disponibles para los seres vivos (IPCC, 2000; IPCC, 2007).

Los océanos almacenan la mayor cantidad de C, uno de los grandes depósitos lo conforman “Las praderas marinas”, estos ecosistemas ocupan solo el 0,2% de la superficie terrestre. Estas praderas marinas son áreas sub marinas cubiertas por pastos adaptados a ambientes salinos con las especies *Thalassius* y *Posidonias*, generalmente se encuentran en zonas con poca profundidad, recibiendo luz para realizar fotosíntesis, de esta manera capturan y almacenan el C de forma más rápida y eficiente en sus raíces profundas y vegetación aérea.

El C es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, circula por los océanos, la atmósfera, el suelo y subsuelo (reservorios naturales). El C pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos.

El C cumple un papel fundamental en los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de C. Los procesos de captura y emisión de C son parte de un sistema de reservorios de C, con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes que están estrechamente interrelacionados. La atmósfera es el menor y el más dinámico de los reservorios del ciclo del C. Mientras tanto, todos los cambios que ocurren en este reservorio tienen una estrecha relación con los cambios del ciclo global de C y del clima. Gran parte del C presente en la atmósfera ocurre en la forma de dióxido de carbono CO_2 . En menor proporción, el C atmosférico se presenta en la forma de metano (CH_4), Perfluorocarbonos (PFCs) e Hidrofluorocarbonos (HFC). Todos son considerados Gases del Efecto de Invernadero (GEI), que contribuyen con el equilibrio térmico de la tierra. En ese sentido, cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique la cantidad de biomasa en la vegetación y en el suelo, tienen el potencial de alterar la cantidad de C almacenado y emitido hacia la atmósfera, lo que influye directamente en la dinámica del clima de la tierra.

El almacenamiento de C en los depósitos fósiles supone en la práctica una rebaja en los niveles atmosféricos de CO_2 ; si estos se liberan, como se viene haciendo con el aprovechamiento del petróleo y gas natural. El ciclo se desplaza hacia un nuevo desequilibrio en el que la cantidad de CO_2 atmosférico es mayor, más aún si las posibilidades de reciclado del mismo se reducen al disminuir la masa boscosa. Por medio de este proceso las plantas fijan el C en la biomasa de la vegetación, y consecuentemente constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca), un stock natural de C. El proceso inverso ocurre con la emisión de C por medio de la respiración de las plantas, animales y por la descomposición orgánica (forma de respiración de las bacterias y hongos). A ésta se suman las emisiones de GEI debido a la deforestación, incendios, gases industriales y quema de combustibles siendo acciones antropogénicas que contribuyen con el desequilibrio global en el ciclo del C.

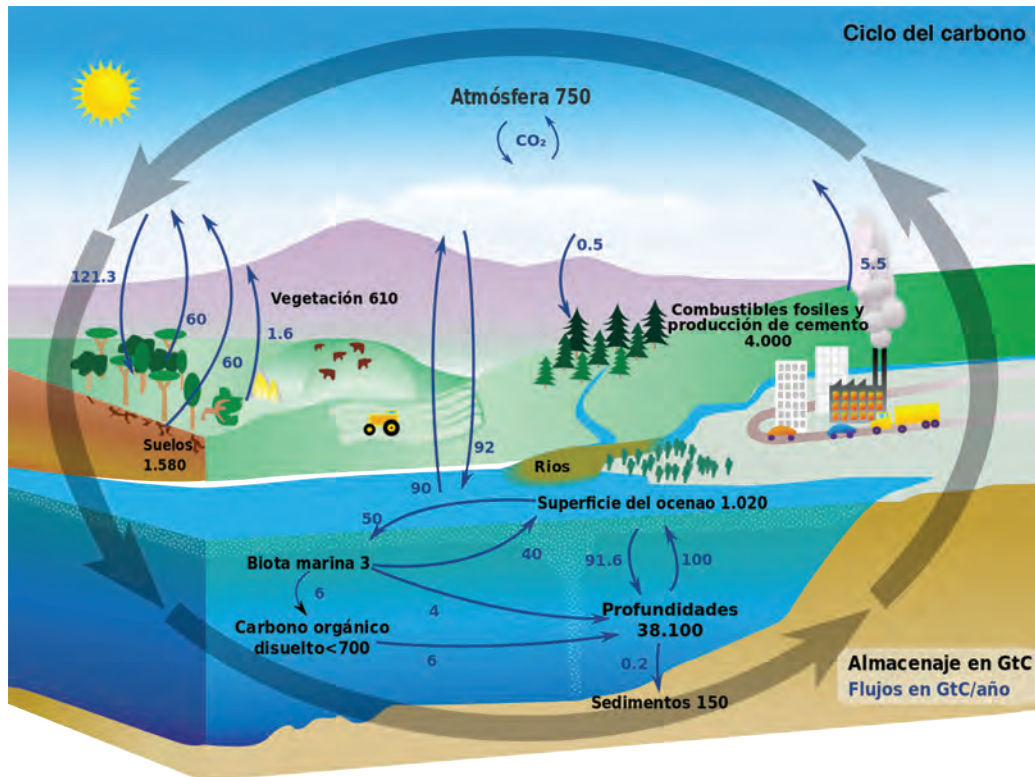


Figura 3. El ciclo y almacenamiento de Carbono en el planeta.
Fuente: Janzen, 2004.

El intercambio de C entre el reservorio terrestre y el atmosférico se produce como resultado de procesos naturales; la fotosíntesis, respiración y la emisión de gases causada por la acción humana. La captura de C por medio

de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de C (azúcares como la glucosa), que sirven de base para su crecimiento.

Cuadro 1. Distribución estimada de depósitos mundiales de Carbono

Componente	GtC
Océanos	38 000
Reservas fósiles de Carbono	6 000
Carbono orgánico	1 200
Carbonato de calcio	720
Atmósfera	720
Biomasa vegetal	560
TOTAL	47 220

Fuente: Sombroek et al., 1993.

Todas las formas anteriores del C son de forma molecular, ya sea unidas con Hidrógeno, con Oxígeno o sino combinados. También podemos encontrar C en el suelo, conformando la estructura de los minerales como por ejemplo el carbonato de calcio, la hulla, la antracita, el lignito, la turba, el lignito, el petróleo, el gas natural y los diamantes

El C en forma mineral es inaccesible para los seres vivos y solo luego de oxidarse con el oxígeno es que el C mineral puede hallarse accesible a los seres vivos. Entonces podemos concluir que el Carbono podrá encontrarse en tres grandes zonas; la vida, la atmósfera y el agua (García, 2013).



El Cambio Climático

Es la variación estadísticamente significativa, ya sea de condiciones climáticas medias o su variabilidad en una zona determinada y que se mantiene durante un período prolongado de tiempo (30 años). En la práctica, se está convirtiendo en una amenaza cada vez más visible y palpable, ya que influye directamente sobre la variabilidad climática local, aumentando o disminuyendo su manifestación. También indirectamente sobre la disponibilidad de los recursos naturales y lo más preocupante; se enfatiza en la pobreza (Panel intergubernamental sobre cambio climático IPCC, 2001; IPCC, 2007).

El cambio climático es una variable que forma parte de la historia de la tierra, anteriormente fue gradual y permitió a las especies generar mecanismos de adaptación para sobrevivir. Sin embargo, en los últimos 150 años el clima está sufriendo una serie de alteraciones, debido principalmente a la alta concentración de los gases que provocan el efecto invernadero en la atmósfera; CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC y SF_6 , ocasionando cambios en el régimen climático; calentamiento global y aumento de la variabilidad climática con graves consecuencias para el equilibrio del planeta (IPCC, 2007).

El IPCC (2007) concluyó que el cambio climático actual se debe estrictamente a actividades antrópicas, es decir, atribuidas directamente al hombre. Para el bosque, es una consecuencia de la deforestación y degradación forestal, que están mermando su capacidad para contribuir a la seguridad alimentaria y otros servicios como el secuestro y almacenamiento de C.

Hasta la fecha, no se conoce completamente las implicancias de la pérdida o del deterioro de los bosques tropicales para la humanidad y para otras formas de vida. Lo que se sabe, no obstante, es que la pérdida de los recursos forestales puede hacer que disminuya la capacidad de las poblaciones dependientes de los bosques para generar ingresos y producir alimentos (Locatelli, 2005).

Entre las estrategias para mitigar los efectos del cambio climático, se busca retener y/o acumular el CO_2 en la biomasa vegetal, la primera es aumentar la fijación de C a través de la fotosíntesis al crear o mejorar los sumideros y almacenarlo el mayor tiempo posible en la biomasa y en el suelo por medio de la acumulación de materia orgánica. La segunda es prevenir o reducir la tasa de liberación del C ya fijado en sumideros existentes. En ese sentido, los bosques y plantaciones tropicales, las prácticas agroforestales, la conservación de bosques en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques y en general aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, pueden cumplir la función de sumideros de C (IPCC, 2003; Karsenty, 2008; Hidalgo, 2009).

El C en el suelo está ampliamente relacionado al proceso de descomposición de la biomasa por las actividades bacterianas. Parte del C presente en el suelo regresa a la atmósfera a través del proceso de mineralización del C orgánico, otra parte del C orgánico es llevado por los ríos hasta llegar a los océanos, donde se deposita en forma de carbonatos CO_3 . Este proceso también puede ser acentuado por la acción humana.

Deforestación y Cambio Climático

Se estima que las emisiones producidas por la deforestación y degradación del bosque en los países en desarrollo son responsables de casi el 20% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero anuales (Asner *et al.*, 2005). Estos cambios tienen marcada influencia sobre la economía local de los países de la región sudamericana, se ha estimado que un aumento de 2°C en la temperatura representaría una pérdida del 1,3% del Producto Bruto Interno (PBI) del sector productivo (Mendelsohn, 2007). Sin embargo, esta cifra sería mayor si se incluye en el cálculo, el impacto del cambio climático y de los eventos extremos sobre los sectores no productivos. Entonces el cambio climático constituye una amenaza contra los elementos básicos de la vida humana en distintas partes



del mundo: acceso al suministro de agua, producción de alimentos, salud, uso de las tierras y medio ambiente (Stern, 2007).

A menudo suele confundirse los términos deforestación con degradación, a continuación se definirán ambos términos. La deforestación se define como la conversión directa, de tierras forestales (bosques) a tierras no forestales que es provocado generalmente por la acción humana en el que se destruye la superficie forestal, principalmente debido a la tala o quema realizada para la obtención de suelo



Figura 4. Deforestación de bosques para instalar pasturas - Oxampampa, Pasco.

para la agricultura, minería, la ganadería y la industria maderera (FAO, 2011).

Mientras que la degradación es la pérdida inducida directamente por el hombre (persistiendo por “X” años), de al menos “Y”% de los reservorios de C forestales y otros beneficios del bosque (IPCC, 2003a). Alcanzar un acuerdo sobre la degradación forestal ha sido muy problemático (Penman, 2008). Se debe a que es muy difícil definir “X” (la pérdida inducida directamente por el hombre) “Y” (el porcentaje de los reservorios de C), y el área mínima a ser medido (Angelsen *et al.*, 2009).

Para hablar sobre deforestación, causas y consecuencias es necesario comprender la percepción y conocimiento del poblador local sobre el bosque, para ello se está tomando los datos publicados por la Sociedad Peruana de Ecodesarrollo SPDE (2005), sobre la línea base de la Tala Ilegal en la cuenca del Aguaytía, encuesta realizada a la sociedad en general.

Cuadro 2. Definición de bosque

Pregunta: ¿qué es un bosque?	% de población
El bosque es el monte o áreas verdes donde existen árboles, animales y aves	83,8%
Es el medio ambiente o ecosistema natural donde existen los recursos naturales que mantienen el clima y purifica el aire	5,4%
Es el lugar donde hay cantidades y todo tipo de madera	3,4%
Es el monte alto donde nadie ha entrado hacer chacras	1,5%
Es el monte o montañas de árboles sin tumar	1,0%
Es lo máspreciado que Dios nos ha dado	1,0%
No define	3,9%
Total	100,0%

Fuente: Encuesta Población Línea de Base Tala Ilegal (SPDE, 2005).

En el Cuadro 2. Se observa que un alto porcentaje de la población define al bosque como un área verde donde existen árboles animales y aves; el resto de las definiciones están en fracciones pequeñas y solamente un 3,9% no define lo que es un bosque, por las respuestas dadas se puede decir que el nivel de definición del bosque es bueno, que a su propio juicio definen al bosque

como una fuente de existencia de recursos naturales renovables y que en pequeña fracción 5,4% considera que el bosque es proveedora de servicios ambientales. Es importante analizar el conocimiento y la valoración local sobre el bosque, otra pregunta nos permite reflexionar la importancia que da la población al bosque en su conjunto.



Cuadro 3. Importancia del bosque

Pregunta: ¿qué importancia tiene para usted el bosque?	% de la población
Brinda muchos beneficios y bondades para vivir tales como trabajo, alimentos, recreación	30,4%
El bosque es importante porque brinda aire puro, oxígeno, agua y sombra	24,0%
Es importante porque del bosque se obtiene la madera.	15,7%
Se conserva los recursos naturales y preserva el medio ambiente contribuyendo al equilibrio ecológico.	15,7%
Permite hacer chacras, sembrar cultivos y realizar plantaciones.	3,9%
El bosque es importante porque genera recursos e ingresos para las familias	4,4%
No contesta	5,9%
Total	100,0%

Fuente: Encuesta Población Línea de Base Tala Ilegal, SPDE, 2005.

En el Cuadro 3. Se observa que la población local reconoce que el bosque es importante porque es una fuente de beneficios para la sobrevivencia porque nos brinda beneficios directos e indirectos, así el 30,4 % de la población encuestada le otorga importancia al bosque por que le brinda muchos beneficios y bondades para vivir tales como trabajo, alimentos y recreación, sumándose a este un 15,7% que considera importante porque del bosque obtienen madera, así mismo un 24% y 15,7% considera de importante al bosque porque en ella se conservan los recursos naturales y tiene la función de mantener el equilibrio ecológico brindando aire puro y agua. En resumen se podría decir que la población le otorga un alto valor de importancia al bosque porque es una fuente de servicios ambientales y generadora de ingresos económicos.

Cambio de uso de la tierra

Se refiere a la modificación no planificada del paisaje, entre las principales causas del cambio de uso del suelo en la zona podemos citar; invasión de tierras por traficantes, actividades de colonos cocaleros, madereros ilegales e incremento de ganaderos, superposición de concesiones forestales por solicitudes de ampliación, conflictos por limites, invasión de nuevos colonos para hacer agricultura, alquiler de comunidades para agricultura, ingreso de empresas petroleras, falta de títulos de propiedad, permisos forestales falsos, minería ilegal, entre otras (USAID, 2012). La degradación de los suelos debido al cambio de uso de la tierra y la sobre utilización del suelo por la agricultura y ganadería, es un proceso permanente en la región, que tiene una secuencia como se detalla en la Figura 5.

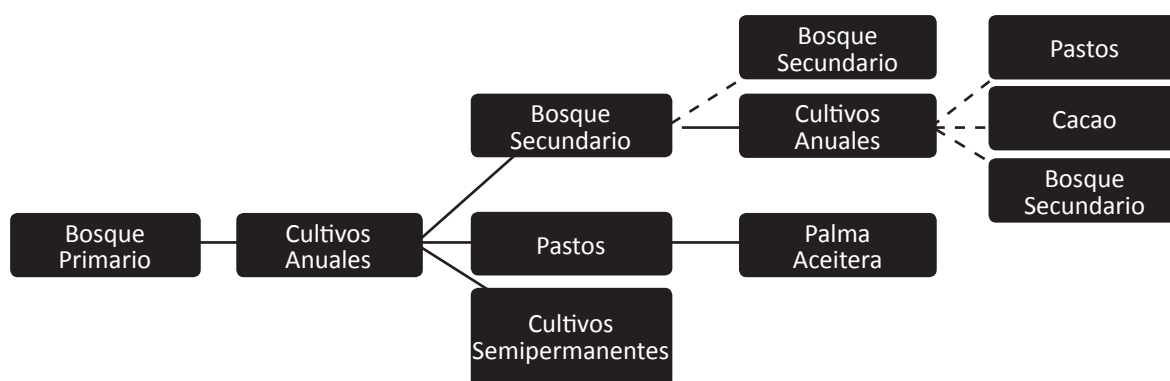


Figura 5. Patrón de cambios en el bosque tropical.

Tiene múltiples causas, está relacionado con la economía de subsistencia, las políticas públicas, el mercado internacional de consumo ilícito de

la coca, la tala ilegal, agricultura migratoria de tumba y quema y los procesos migratorios de la población, tanto como los grandes proyectos



ganaderos y agrícolas de monocultivo (palma aceitera), producción de carbón vegetal e incendios del sotobosque (FAO, 2009). A nivel nacional existen múltiples causas para deforestación y degradación de los bosques, se reporta una tasa constante y creciente de deforestación, concentrada principalmente en los ejes carreteros y fluviales, la cual es el producto de acciones ligadas al hombre y la búsqueda de nuevos espacios para su desarrollo. A continuación enumeramos algunos procesos:

a. La agricultura migratoria

La mayor parte de los bosques secundarios o purmas del bosque tropical peruano como en cualquier otra región del trópico húmedo, son la consecuencia de la agricultura migratoria, que son un conjunto de técnicas que utilizan los agricultores, cuya finalidad esencial es producir alimentos de autoconsumo y para venta. Esta práctica disminuye la fertilidad de los suelos y en consecuencia deben someterse a descansos de duración relativamente larga. Si bien la baja fertilidad de los suelos es la razón principal del barbecho forestal, éste también puede deberse a otras causas; la más común es la aparición de mala hierba con una agresividad tan grande que el agricultor considera más ventajoso abandonar su campo y abrir uno nuevo (Dourojeanni, 1987 mencionado por MINAM, 2000).



Figura 6. Agricultura migratoria.

En el Perú, el agricultor se introduce en el bosque y primero elimina la vegetación del sotobosque; luego tala los árboles, dejando sólo los más grandes, deja secar por una o dos semanas,

luego origina una combustión que suele ser sólo parcial, luego establece cultivos anuales durante dos o tres años, casi sin preparar el suelo. Al disminuir el volumen de la cosecha abandona el campo, que se recubre de vegetación herbácea arbustiva y finalmente arbórea en una sucesión vegetal que es interrumpida nuevamente por un rozo y quema cuando el mismo u otro agricultor considera que la fertilidad se ha restaurado a nivel suficiente como para hacer un nuevo período de cultivo. El lapso de barbecho puede variar de 5 hasta 20 años o más, dependiendo de la calidad de la tierra y, en especial, de la presión de los agricultores sobre ella (Yanggen, 1999; FAO, 2007).

b. Producción de Pasturas

En el trópico latinoamericano, ocupan el 77% del territorio, representa el cambio más importante en el uso del suelo de los últimos 50 años, son la fuente fundamental de alimentos de los bovinos de la región; aportan el 90% de los nutrientes que consume el animal. Los pastos están ubicados principalmente en suelos de baja fertilidad y explotados generalmente con ganado para carne en forma extensiva o animales de doble propósito con un bajo nivel tecnológico y donde se obtienen bajos niveles productivos (FAO, 2002; Ibrahim *et al.*, 2007).



Figura 7. Pastizal convencional - Neshuya, Ucayali.

Con respecto a los pastizales en el Perú, en el Cuadro 4, se nos muestra el cambio de uso del bosque a pasturas, se evidencia que Ucayali tiene una predominancia de pasturas con respecto a las demás regiones amazónicas.



Cuadro 4. Estado actual de las pasturas en la Amazonia Peruana

Región	Hectáreas
Ucayali	82 670
San Martín	66 136
Madre de Dios	31 000
Loreto	26 869
Total	206 675

Fuente: INIA, 2010.

c. Expansión de cultivos permanentes

Son principalmente papaya, piña, guaba, mango, arroz, fréjol, plátano, cacao, palma aceitera, entre otros, para establecer estos cultivos la vegetación sufre sucesivas cortas y quemadas, convirtiéndose en principales fuentes de emisión de CO₂ (GOREU, 2012).

d. Narcotráfico y cultivos ilícitos

La crisis de la Reforma Agraria y el fracaso de las políticas de colonización llevaron al campesino a la búsqueda de medios de subsistencia a partir de las plantaciones de coca. Se calcula que un 20% de la población de la selva está de alguna manera ligada al comercio y la producción de la coca, es justamente un producto de alta rentabilidad y los campesinos la cultivan porque les trae mejores ganancias en tierras degradadas que el café o el cacao y además no está sujeta a cambios de precios, como los productos exportables legales.

e. Apertura de carreteras

La construcción de nuevas carreteras implica directamente el asentamiento de nuevos pueblos cuya población va a ejercer una fuerte presión sobre los recursos naturales del bosque, convirtiéndolas al poco tiempo en áreas de cultivos agropecuarios, es una causa directa de la deforestación, pues debido a la facilidad que se produce por una vía de comunicación, muchos colonos migrantes y traficantes de tierras, van en búsqueda de esas áreas para convertirlas en zonas de cultivos con la finalidad de lograr ingresos económicos. La actual red de caminos forestales que se vienen construyendo anualmente en las áreas de las concesiones forestales, esta

impactando fuertemente en la zona, al tratar de conectarlos legalmente o ilegalmente. Estos caminos, son puertas de entrada a la colonización de las tierras para la actividad agropecuaria.

f. Inadecuadas políticas de Gobierno

El Estado no está cumpliendo con controlar, de forma efectiva, la tala indiscriminada de árboles de forma ilegal, lo cual contribuye a su depredación. Cabe resaltar que esta tiene fines de lucro, ya que esta actividad es producida por la comercialización y exportación de madera. Con el propósito de garantizar plenamente el derecho de propiedad y de promover las inversiones en el medio rural, el Proyecto Especial de Titulación de Tierras (PETT) del Ministerio de Agricultura fue un gran impulsor en los últimos tiempos del proceso de titulación y de inscripción registral de los predios rurales a nivel nacional.

g. La tala ilegal

La tala ilegal, se ha convertido en un problema importante, ocurre tanto en áreas establecidas para la extracción de madera como en áreas no autorizadas (áreas protegidas). Esta práctica involucra a diferentes usuarios del bosque y ha traído como consecuencia la apertura de áreas de bosque para el incremento de los cultivos de coca, además de una migración no planificada. Esta práctica se ha incrementado debido al control débil del manejo del bosque por la autoridad respectiva y a la presión ejercida por extractores sin predios.

El secuestro de C en el bosque

Es el proceso de fijación de C en forma continua en cualquier sistema de uso de



la tierra SUT. Las cantidades fijadas de C se expresan en (tC/ha/año). Se pueden medir en diferentes SUT, cuyos antecedentes (tiempo de uso principalmente) sean conocidos por los agricultores. Estos SUT pueden ser el bosque primario, áreas quemadas para cultivos anuales o plantaciones perennes, bosques secundarios de diferentes edades, pasturas, sistemas agroforestales, barbechos mejorados, cultivos

perennes, temporales, fruticultura, sistemas silvo pastoriles etc. (Arévalo *et al.*, 2003; Taiz y Zeiger, 1998). Para explicar el proceso de almacenamiento de C en los bosques, es preciso comprender que se efectúa como resultado del intercambio de C con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, en depósitos como la biomasa y el suelo (Taiz y Zeiger, 1998 mencionados por Herrera, 2010).

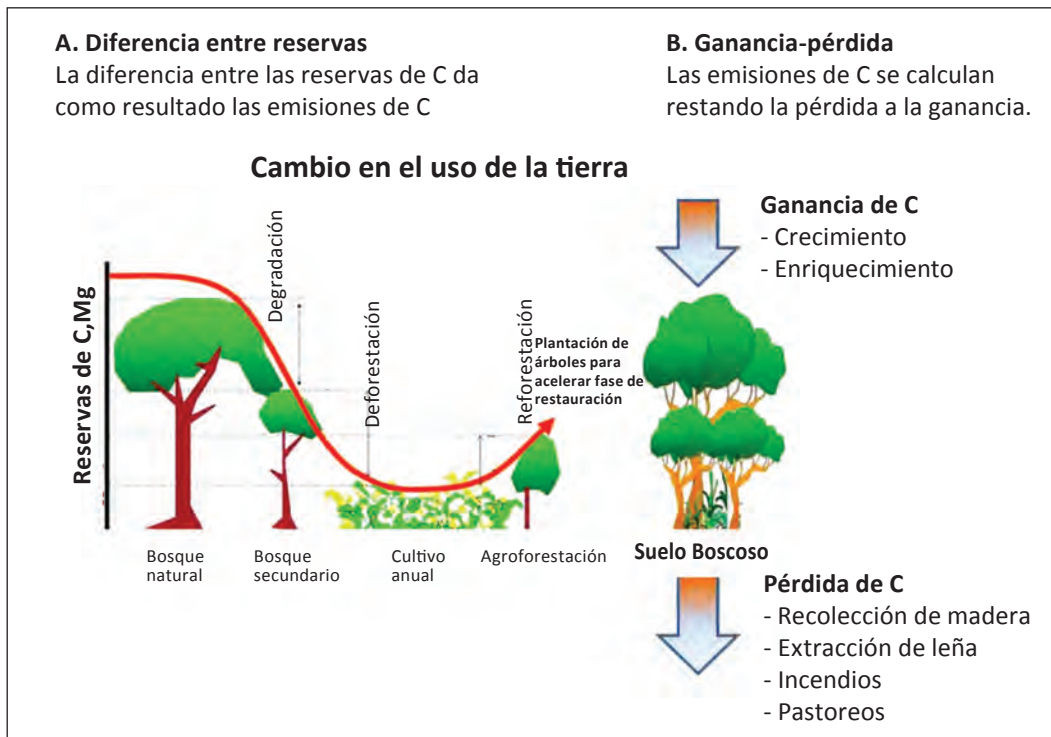


Figura 8. Comparación de los métodos de diferencia entre reservas y ganancia pérdida.
Fuente: CIFOR, 2009.

Durante la fotosíntesis, la vegetación consume agua, luz, CO₂ y despidе oxígeno. Por ello, los bosques en expansión son calificados como “sumideros de Carbono”, debido al volumen de biomasa de los bosques tropicales, que contienen entre 155 y 187 tC/ha, treinta y cuatro veces más en promedio, que las tierras dedicadas a la agricultura (Brown, 1988 citado por Casanova *et al.*, 2011). La cantidad de C almacenado en el bosque estará en función con la capacidad para mantener la biomasa por hectárea. Se considera que el C se encuentra almacenado en el sistema cuando está constituyendo alguna estructura permanente del árbol y/o de la planta lo que denominamos como la biomasa vegetal (Ordóñez, 1999; Arévalo *et al.*, 2003).

La Biomasa vegetal

Es un parámetro referido a la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo, está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema (Brown, 1997; Eamus *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2009). Según el IPCC (2007), se suele considerar como biomasa muerta al material vegetal muerto recientemente. La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies y asociaciones en diferentes sitios, además críticos para las estimaciones de fijación de C (Brown, 1997; Malhi y Grace 2000;



Aceñolaza *et al.*, 2007). Los bosques almacenan grandes cantidades de C en su biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico), principalmente de raíces muertas, en suelos de la Amazonia las raíces finas constituyen más que el 50% del C total encontrado en los primeros 10cm del suelo. Aunque las raíces están concentradas en

la superficie se ha encontrado raíces de hasta 15m en Bosques de Amazonia de Brasil. En ese sentido, cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique la biomasa vegetal del ecosistema, también va a alterar la cantidad de C almacenado dando lugar a menores existencias que en el bosque original (Phillips, 1998, citado por Aceñolaza *et al.*, 2007; Trumbore, 2006).

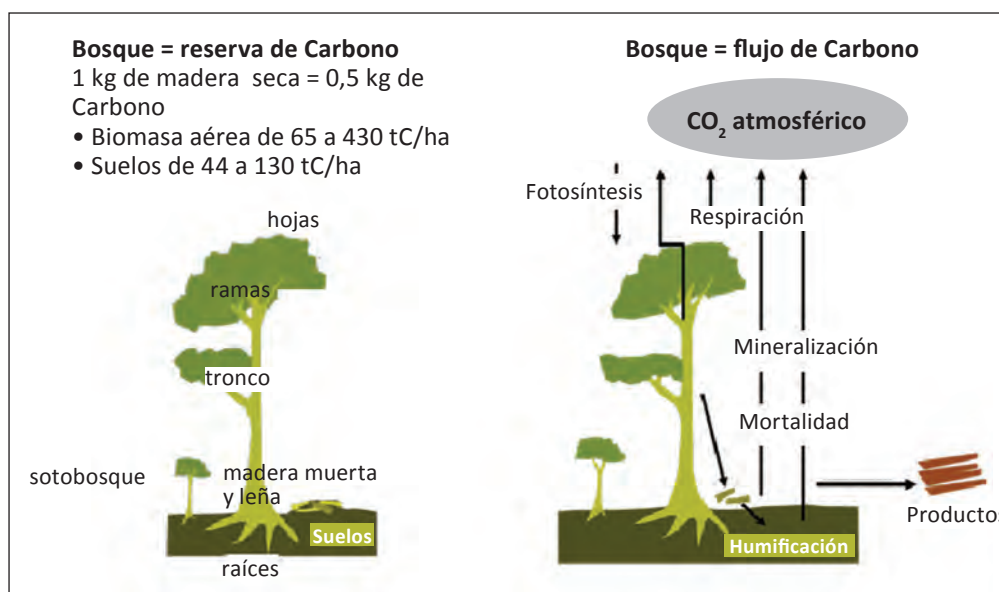


Figura 9. Los bosques como reserva y como flujo de Carbono.
Fuente: CIFOR, 2009.

La biomasa aérea, está compuesta por las partes de la vegetación que se desarrollan sobre el suelo, para estimarla se usan diferentes tipos de modelos de regresión y combinación de variables. El diámetro a la altura del pecho (DAP) es la variable que mejor se correlaciona y predice la biomasa a nivel arbóreo. Además, el DAP es una variable fácil de medir y se registra en la mayoría de los inventarios forestales. Otra variable muy importante es la densidad de la madera, ya que informa sobre la cantidad de C que la planta contiene en su constitución (Chave *et al.*, 2005). Los modelos para estimar biomasa han aumentado en los últimos años y posiblemente están más desarrollados para árboles individuales que para otros tipos de bosque, vegetación, arbustiva y herbácea, siendo mejor para estos, cuantificar la biomasa a partir de evaluaciones destructivas. En Costa Rica se tienen valores entre 150 a 382 t/ha, en Brasil 315 t/ha, en Ecuador, en Perú y Bolivia 182 t/ha, 210 t/ha y 230 t/ha, respectivamente

(Brown, 1997; Loguercio, 2005; Sierra *et al.*, 2001; Segura *et al.*, 2006 mencionado por Chacón *et al.*, 2007; Dauber *et al.*, 2008).

La biomasa de las raíces, comprende los componentes subterráneos de una vegetación, constituye el soporte de todo el crecimiento aéreo y juegan un rol vital en el abastecimiento y almacenamiento de agua y de nutrientes. Ha sido poco estudiada, en parte por la dificultad y lo costoso de la extracción de los sistemas radiculares completos. Investigaciones referidas al tema señalan que existe gran variabilidad en la producción de raíces finas y gruesas, según el tipo de clima, especie, estado de desarrollo y/o edad de los individuos.

Los factores del suelo son determinantes para explicar las diferencias en productividad, especialmente aquellos que afectan la elongación de las raíces, el abastecimiento de agua, la



aireación y la composición química de la solución del suelo. Factores como la textura y estructura del suelo condicionan las características de porosidad y drenaje interno, las cuales son importantes al momento de evaluar la fertilidad del suelo para la producción de biomasa subterránea. En sitios pobres se desarrolla mayor biomasa de raíces vs sitios de mejor calidad. Creighton *et al.*, (2007) señalan que la proporción de la biomasa de raíces es mayor cuando existen restricciones de humedad y nutrientes.

La proporción de raíces finas es ligeramente mayor en sitios pobres y/o que presentan ciertas restricciones para el crecimiento y la penetración de las raíces. Las secciones aéreas y subterráneas dependen una de la otra para la producción de biomasa, las raíces requieren de los carbohidratos producidos en la sección aérea por fotosíntesis, mientras que la sección aérea requiere nutrientes y agua captados por las raíces. Debido a esto, se acepta que la producción de raíces por los árboles sigue la tendencia del crecimiento aéreo, aunque no siempre es el caso, alcanzando el máximo del incremento antes de la ocupación del sitio que, generalmente comienza a ocurrir con el cierre de copas (Ibrahim *et al.*, 2007; Canadell *et al.*, 1986 citado por Olupet *et al.*, 2010).

Depósitos o Reservorios de C en el ecosistema

El IPCC (2003), ha definido cinco reservorios de

C en el ecosistema, biomasa arbórea, arbustiva y herbácea, hojarasca y madera muerta, raíces y carbono orgánico del suelo. Siendo más común el método de medir la biomasa sobre el suelo, pero es un dato que genera muchos vacíos. De acuerdo a Wooster *et al.*, (1998) el bosque tropical amazónico, es el ecosistema que contiene la mayor cantidad de C (305 tC/ha, de las cuales el 28% se encuentra en el suelo). En bosques maduros de la Amazonia, el incremento de la biomasa es equivalente a una captación neta de $0,62 \pm 0,37$ t/ha/año. En Guatemala se registraron valores entre 176 y 199 tC/ha en bosques tropicales remanentes (Brown, 1997; Casanova *et al.*, 2011). En Perú, en Nanay se evaluaron bosques sin intervenir y se reportaron valores de 208,32 t/ha en varillales y 452,38 t/ha en aguajales, para biomasa sobre la superficie (IIAP, 2003). El C esta almacenado como parte de la materia orgánica y representa más de 1 400Gt ($1Gt = 10^{15}g$), casi el doble del que hay en la atmósfera (Post *et al.*, 1982).

En la figura 10 se puede apreciar los cinco depósitos de C en el ecosistema distribuidos en dos componentes:

- a) el depósito aéreo que contiene a la biomasa arborea, arbustiva herbácea, madera muerta y hojarasca
- b) el depósito subterráneo que contiene a la biomasa radicular y el carbono orgánico en el suelo.

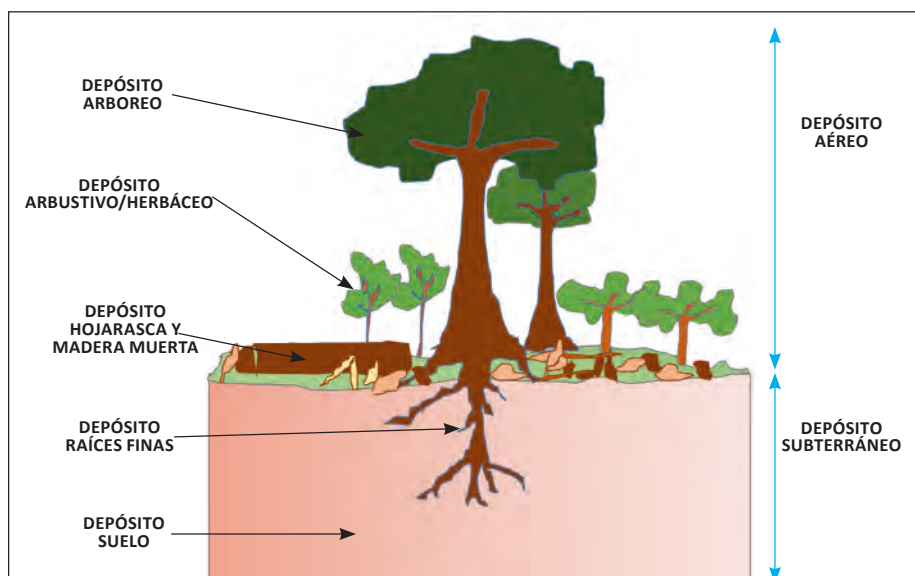


Figura 10. Depósitos de Carbono en el ecosistema.



Captura de C en la biomasa aérea

La biomasa aérea comprende el tronco, hojas, ramas y follaje (Masera, 1995). De acuerdo al IPCC la biomasa aérea esta representada en tres depósitos: la biomasa arbórea, la biomasa arbustiva herbácea y la biomasa muerta y/o hojarasca y se expresan en toneladas de Carbono por hectárea tC/ha.

Captura de C en las raíces

Las raíces son parte importante en el ciclo del C, a causa de que estas transfieren grandes cantidades de C al suelo, donde se queda almacenado por largos periodos de tiempo, siempre y cuando no ocurra una alteración del mismo. Parte del C es usado para incrementar su biomasa, sin embargo este C es perdido a través de la respiración, exudación y descomposición (Jackson *et al.*, 1996).

Las pasturas con base en gramíneas mejoradas secuestran más C en las partes profundas del perfil del suelo, generalmente debajo de la capa arable (10-15cm). Esta característica hace que este C quede menos expuesto a los procesos de oxidación y por tanto su pérdida como gas invernadero (Fisher *et al.*, 1994). Estudios realizados demuestran que el cambio de uso de la tierra de pasturas hacia sistemas silvopastoriles contribuyen a mejorar la calidad de los suelos, la productividad de las fincas y al medio ambiente. En evaluaciones a una profundidad de 0,5m y con una cobertura de pasto Guinea *Panicum maximum*, el C orgánico del suelo fue de 233 tC/ha, mientras que en suelo ligeramente menos fértil con *Panicum maximum* y *Cordia alliodora*, de menos de 10 años de edad, se almacenaron entre 180 y 200 tC/ha. Las raíces profundas de *Brachiaria humidicola* y *Andropogon gayanus*, pueden capturar desde la atmósfera un aproximado de 2 mil millones de toneladas de CO₂ por año (las plantas verdes utilizan la luz solar y el CO₂, para producir materia orgánica); este almacenamiento de materia orgánica no se había observado antes porque la materia orgánica se deposita en las extensas raíces de estas gramíneas a profundidades hasta

de un metro en el suelo de sabana (Ibrahim *et al.*, 2007).

Captura de C en el depósito arbustivo herbáceo

Esta biomasa arbustiva (Bab) y herbácea (Bhb) está compuesta de biomasa epígea fresca de arbustos menores de 2,5cm de diámetro; gramíneas y otras hierbas. Conocido también como el dosel inferior o soto bosque.

Captura de C en el depósito madera muerta y hojarasca

Es el C contenido en la materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición; es originada cuando las estructuras vegetales como hojas, ramas, troncos, que luego son depositadas en el suelo. La capa de hojarasca y los microorganismos tienen una función importante en la mantención de la productividad de un ecosistema, la cantidad y composición de la materia depositada en el suelo y su posterior descomposición son factores importantes en la eficiencia del ciclo de nutrientes, el suelo recibe la entrada directa de C proveniente de las partes muertas de los árboles y plantas, las cuales se encuentran en un intercambio activo con la atmósfera y al integrarse totalmente al suelo fijan y acumulan el C (Masera, 1995).

Captura de C en el suelo

El C en el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica; el C inorgánico es capturado en formas más estables tales como el carbonato de calcio, motivo por el cual no es considerado al momento de hacer el inventario de C en el ecosistema (Kanninen, 2007; Casanova *et al.*, 2011). El C orgánico presente en los suelos naturales viene a ser un balance dinámico entre la absorción de material vegetal y la pérdida por descomposición (mineralización).

En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del C que ingresa al mismo es lábil y solo una pequeña fracción (1%) del que ingresa se acumula en la fracción húmica estable. Los diferentes reservorios de C que existen en el suelo tienen distintos tiempos de residencia,



dependiendo de su composición bioquímica. por ejemplo, la lignina es más estable que la celulosa y su tiempo de residencia son desde décadas a más de 1 000 años (FAO, 2000; FAO, 2002; Casanova *et al.*, 2011; Oades, 1988 mencionado por Krull *et al.*, 2003).



Figura 11. Calicata de muestreo para medir Carbono en el suelo.

De acuerdo al IPCC (1996) el suelo necesita ser medido en el sitio del proyecto hasta una profundidad de 30cm, ya que el cambio de uso de la tierra tiene un mayor efecto en los estratos superiores. Los contenidos de C en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra (López, 1998). En informes de FAO (2002), se han analizado la distribución del total de las existencias de C del suelo entre las zonas ecológicas. Se muestran grandes diferencias en el almacenamiento del C orgánico sobre todo en relación con temperatura y lluvia. Las existencias de C en el suelo hasta un metro de profundidad varían entre 4k/m² en zonas áridas de 21-24k/m² en regiones polares o boreales y con valores de 8 a 10k/m² en zonas tropicales.

El C contenido en las capas que conforman el suelo forestal, suelo que es originado por fragmentación de la roca madre expuesta, donde se establece un organismo vegetal, que a lo largo del tiempo va formando capas de depósito de materiales, las que al irse acumulando y compactando, almacenan una cierta cantidad

de C, la misma que se incrementará por la continuidad del proceso de formación del suelo (Masera, 1995). Las entradas al suelo provenientes de la producción primaria neta, se clasifican en dos principales clases: el detritus y el sistema radicular, especialmente las raíces finas. Estas entradas son contrarrestadas por la descomposición de la materia orgánica del suelo en CO₂. La emisión de este es la vía principal por la cual pierde C, sin embargo, hay otros flujos que también entran y salen del suelo (erosión, precipitación, escorrentía y lixiviación) pero en menor grado y su influencia en el total de la reserva de C en el suelo es relativamente bajo (Raich y Nadelhoffer, 1989).

Captura de C en la biomasa arbórea

Si bien se asume generalmente el valor de la fracción de C en materia seca en un 50% del peso seco sin diferenciar especies (Brown y Lugo, 1984; IPCC, 1996). No obstante, diferentes estudios denotan la variabilidad del contenido de C según especie y tejido del árbol (Soares y Oliveira, 2002; Francis, 2000; Gifford, 2000). La densidad o gravedad específica (peso seco del volumen de material establecido) varía entre las especies y las condiciones de los lugares (Valenzuela, 2001). Para proyectos de captura de C, Gayoso *et al.*, (2002) destacan la importancia de contar con la cuantificación de C con base en información diferenciada por especie y componentes del árbol, ya que es un dato biológico que refleja y determina un porcentaje representativo de la cantidad de C secuestrada.

Relación Biomasa - C - CO₂

Una tonelada de C equivale a 3,67 toneladas (t) de CO₂. Para saber la cantidad de CO₂ emitido o almacenado a partir de la cantidad de C de un determinado depósito, se debe multiplicar ésta por 3,67.

A su vez, una tonelada de biomasa forestal posee aproximadamente 0,5 toneladas de C. Resumiendo:

1 t biomasa +/- 0,5 t C; 1 t C 3,67 t de CO ₂
--



Conclusiones

- El desarrollo socioeconómico y el proceso de deforestación en las formaciones vegetales del Perú, se caracteriza por periodos marcados de intensa transformación del paisaje cuyas causas han sido principalmente las políticas orientadas hacia la explotación de recursos naturales.
- Las actividades antrópicas, tales como, actividad agropecuaria y minera, entre otras, están ocasionando cada año la pérdida de grandes superficies de bosques, no sólo constituyen la pérdida de biomasa vegetal en sus diferentes formas de vida (árboles, arbustos, herbáceas, cañas, epífitas, trepadoras, suculentas, palmeras, etc.), sino que ponen en peligro a la biodiversidad y refugios de la fauna silvestre, así como, de servicios ambientales del bosque.
- La construcción de nuevas carreteras implica directamente el asentamiento de nuevos pueblos cuya población va a ejercer una fuerte presión sobre los recursos naturales del bosque, convirtiéndolas al poco tiempo en áreas de cultivos agropecuarios.
- La mayor responsabilidad en la deforestación recae en la mala aplicación de políticas; en otros casos o han sido mal diseñados, ocasionando una serie de secuelas que se pudieron prevenir y trae a colación que es un problema estructural.
- Es necesario diseñar alternativas de uso sostenible para evitar mayor deforestación en la actividad agropecuaria; minera y forestal que se traduzca en una buena rentabilidad y sostenibilidad ambiental para la población que habita en la zona.
- Mas del 90% de la superficie deforestada se encuentra cubierta por pastizales cultivados y el resto por cultivos agrícolas y vegetación secundaria.



Revisión Bibliográfica

- Aceñolaza, P.; Zamboni, L. y Gallardo, J. 2007. Estimación de carbono en tres bosques de la llanura aluvial del bajo Parana (R. Argentina). En Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca – España. 120 p.
- Angelsen, A.; Brockhaus, M.; Kanninen, M.; Sills, E.; Sunderlin, D.; WertzKanounnikoff, S. 2009. Realising REDD+: national strategy and policy options. CIFOR, Bogor, Indonesia. 390 p.
- Arévalo, L.; Alegre, J. y Palm, CH. 2003. Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Ministerio de agricultura. Pucallpa, Perú. 24 p.
- Armas, A.; Borner, J.; Rugnitz, M.; Díaz, L.; Tapia, S.; Wunder, S.; Reymond, L. y Nascimento, N. 2009. Pagos por servicios ambientales para la conservación de bosques en la Amazonia peruana: un análisis de viabilidad. SERNANP, Lima-Perú. 92 p.
- Asner, P.; Knapp, E.; Broadbent, N.; Oliveira, C.; Keller, M. y Silva, N. 2005. Selective Logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310 (5747): 480-482.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Department of Natural Resources and Environmental Sciences University of Illinois. Illinois USA. 100 p.
- Brown, S. & Lugo, A. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumens. *Science* 223: 1290-1293 p.
- Casanova, F.; Petit, J. y Solorio, J. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de Carbono en el trópico Mexicano. En *Revista Chapingo*. Vol. 17 No 1. Universidad Autónoma de Chapingo. Revista on line. 180 p.
- CIFOR. 2009. La implementación de REDD+ Estrategia Nacional y Opciones de política. www.cifor.org.
- Chacon, P.; Leblanc, H. y Russo, R. 2007. Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. Universidad EARTH. Las Mercedes de Guácimo, Costa Rica. 11 p.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, A.; Chambaers, Q.; Emaus, D.; Fölster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, P.; Nelson, W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Rié Ra, B.; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbón stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology*. No. 145:87-99.
- Creighton, S.; Stachel, T.; McLean, H.; Muehlenbachs, K.; Simonetti, A.; Eichenberg, D. y Luth, R. 2007. Diamondiferous perodititic microxenoliths from the Diavik Diamond Mine, NT. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 155, 541–554.
- Dauber; E.; Terán, J. y Guzmán, R. 2008. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* 1(1):1-10. Consultado 20 nov. 2010. Disponible en <http://www.revforiberoamericana.ula.ve/archivos/DOC2.pdf>
- Eamus, D.; Hutley, L. y Grady, A. 2001. Daily and seasonal patterns of carbon and water fluxes above a north Australian savanna. *En tree Physiology* 21. Heron Publishing-Victoria, Canada. 990 p.



- Francis, J. 2000. Estimating Biomass and Carbon Content of Saplings in Puerto Rican Secondary Forests. *Caribbean Journal of Science*. 36(3): 346-350
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. La gestión de los bosques ante el cambio climático. Roma Italia. 20 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2009. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 158 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2007. Perspectivas alimentarias. Análisis de los mercados mundiales. Semillas oleaginosas, aceites y harinas oleaginosas. Sistema Mundial de Información y Alerta sobre la Agricultura y la alimentación (SIMIA).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2004. National forest resources assessment WP 94. Rome. 22abr2012: <http://www.fao.org/docrep/008/ae578e/AE578E00.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2002. Captura de Carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos naturales mundiales de suelos – 96. Roma. 76 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2001. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 167 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2000. Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂. *World Soil Resources Reports* 88. Rome. 98 p.
- Fisher, J.; Rao, I.; Ayarza, M.; Lascano, C.; Sanz, J.; Thomas, R. y Vera, R. 1994. Carbon storage by introduced deeprooted grasses in the South American savannas. *Nature* 371:236-238.
- Forner, C.; Blaser, J.; Jotzo, F. y Robledo, C. 2006. Keeping the forest for the climate's sake: Avoiding deforestation in developing countries under the UNFCCC. *Climate Policy* 6(3): p 275-294.
- García, O. 2013. Forest Stands as Dynamical Systems: An Introduction. *Modern Applied Science* 7:32-38.
- Gayoso, J.; Guerra, J. y Alarcón, D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 154 p.
- Gifford, R., 2000. Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees. Canberra: Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System, 2000, Technical Report No. 22, 17 p.
- Gobierno Regional de Ucayali (GOREU). 2012. Plan de desarrollo concertado 2011 – 2021. 12 May 2012: <http://www.regionucayali.gob.pe/>.
- Herrera, J. 2010. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao *Theobroma cacao* L. de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado. Tesis. Tingo María, Perú. UNAS. 93 p.
- Hidalgo, P. 2009. Determinación de las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal de la selva alta de Tingo María”, Tesis PhD. Lima, Perú. UNFV. 174 p.
- Ibrahim, M.; Chacón, M.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Ponce, G.; Vega, P. y Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en biomasa arbórea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. En *Agroforestería de las Américas* N° 45. p 27 – 36.
- Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP). 2003. Zonificación ecológica económica de la cuenca del río Aguaytía, Pucallpa.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). 2010. Recuperación de ecosistemas degradados mediante sistemas agroforestales.
- Jackson, B.; Canadell, R.; Ehleringer, R.; Mooney, A.; Sala, E. & Schulze, D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108: 389–411.
- Janzen, H. 2004. Carbon cycling in earth systems - a soil science perspective. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104 (3): 399-417. doi:10.1016/j.agee.2004.01.040
- Kaeslin, E. y Williamson, D. 2010. Los bosques, las personas y la vida silvestre: retos para un futuro común. En *Unasylva* 236. ONU. Vol. 61 Num. 3.



- Kanninen, M. 2007. Crecen los árboles sobre el dinero? En perspectivas forestales 4. CIFOR. Bogor, Indonesia. 61 p.
- Karsenty, A. 2008. Pagos por secuestro de carbono. En Actualidad Forestal Tropical. Vol 17 Num 2. p 25-27.
- Krull, S.; Baldock, A. & Skjemstad, O. 2003. Importance of mechanisms and processes of the stabilisation of soil organic matter for modelling carbon turnover. *Functional Plant Biology* 30, 207-222.
- Lanly, P. 2003. Los factores de la deforestación y degradación de los bosques. Paper especial en el XII Congreso Forestal Mundial. En Quebec Canadá. 12Jun2012: <http://www.fao.org/docrep/articlewfc/XII/ms12a-s.htm>.
- Locatelli, B. 2005. LULUCF: El papel de los bosques y las plantaciones en el cambio climático. VI Curso Internacional "Cambio Climático y Diseño de Proyectos MDL en los Sectores Forestal y Bio-energía" CATIE, Turrialba, Octubre 2005.
- Loguercio, G. 2005. Cambio Climático: El rol de los bosques como sumideros de carbono. CIEFAP. (www.ciefap.org.ar/novedades/notas/nota1/default.html, documentos, 14 May. 2012).
- López, A. 1998. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 50 p.
- Malhi, Y. y Grace, J. 2000. Tropical Forest and Atmospheric Carbon Dioxide. En *Perspectives* Vol. 15 Nro 8. p 332 – 337.
- Masera, O. 1995. Carbon mitigation scenarios for Mexican forests: Methodological considerations and results. *Interciencia* 20: 388-395.
- Mendelsohn, R. 2007. Chapter 60 Past Climate Change Impacts on Agriculture, Agricultural Development: Farmers, Farm Production and Farm Markets, Elsevier, p. 3009-3031.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2011. Plan nacional de acción ambiental PLANAA – Perú 2011-2021. 80 p.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2000. Mapa de la Deforestación de la Amazonia Peruana. 165 p.
- Olupet, G.; Heiko, D.; Lockwood, P.; Mchenry, M.; Mcleod, M. y Kristiansen, P. 2010. Impact of landuse on profile distribution of fine root biomass in NSW, In *Food Security from Sustainable Agriculture* Edited by H. Dove and R. A. Culvenor Proceedings of 15th Agronomy Conference 2010, 15-18 November 2010, Lincoln, New Zealand. Australia.
- Ordoñez, A. 1999. Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México DF. 72 p.
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). 2007. Cambio climático. 30may2010: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). 2003. Guía de buenas prácticas del uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (GBP UTCUTS). Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del protocolo de kyoto. Capítulo 4. 132 p. 26may2010: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf-languages.html>.
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). 2003a. Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human-induced degradation of forest and devegetation of other vegetation types. Penman, J.; Gytarsky, M.; krug, D.; Pippati, R.; Buendía, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. y Wagner, F. (eds) IPCC – IGES, Kanagawa.
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). 2000. Uso de la tierra, cambio del uso de la tierra. Informe especial. Montreal, Canadá. 24 p.
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). 2001. Cambio climático y biodiversidad. 30may2010: <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodeversity-sp.pdf>
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook and Reference Manual Revised Version 1996. UNEP, WMO. Module 1, 4, 5.



- Penman, J. 2008. An exploration by the EU on methodological issues relating to reducing emissions from forest degradation in developing countries. UNFCCC Informal Meeting of Experts. Bonn 20-21 October 2008. http://unfccc.int/methods_science/redd/items/4579.php. (25nov2010).
- Post, M.; Emmanuel, R.; Zinke, J. y Stangenberger, G. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298: 156-159.
- Raich, W. y Nadelhoffer, J. 1989. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global Trends. *Ecology* 70(5), 1989. p 1346-1354.
- Rodríguez, R.; Jiménez, J.; Aguirre, O.; Trevino, J. y Razo, R. 2009. Estimación de Carbono Almacenado en el bosque de Pino – Encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. En Ra Ximhai. Volumen 5 Numero 3. Universidad Autónoma Indígena de México. p 317 -327.
- Sierra, C.; Del Valle, J. y Orrego, S. 2001. Ecuaciones de biomasa de raíces y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales y maduros tropicales en Colombia. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 18 al 20 de octubre del 2001. 16 p.
- Soares, P. y Oliveira, R. 2002. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em viçosa, Minas Gerais. *Árvore* 26(5): 533-539.
- Sociedad de Peruana de Ecodesarrollo (SPDE). 2005. Estudio sobre percepción de la población de la provincia de Padre Abad sobre la tala ilegal.
- Sombroek, G.; Nachtergaele, O. & Hebel, A. 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbón in tropical and subtropical soils. *Ambio* 22: 417-426.
- Stern, N. 2007. La economía del Cambio Climático. Universidad de Cambridge. En <http://calentamientoglobalclima.org/2007/02/21/informe-stern-resumen-en-castellano/>
- Taiz, L. y Zeiger, E. 1998. *Plant physiology*. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc., Publishers.
- Trumbore, S. 2006. Carbon respired by terrestrial ecosystems-recent progress and challenges. En *Global Change Biology*. Volumen 12. p 141-153. Febrero 2006.
- USAID. 2012. Climate Change and Development Strategy 2012-2016. Pdf.usaid.gov/pdf-docs/Pdacs780pdf.
- Van Noordwijk, M.; Galudra, G.; Akiefnawati, R.; Villamor, G. y Purnomo, H. 2011. Local perspectives on REDD in comparasion with those at the international negotiation tables and their representation in quantitative scenario model. Project Report. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre – ICRAF, SEA Regional Office 93 p.
- Valenzuela, T. 2001. Estimación de secuestro de carbono en bosques naturales de Oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Distrito Federal. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. De México. 127 p.
- White, D.; Velarde, J.; Alegre, C.; Tomich, P. 2005. Alternatives to slash-and-burn (ASB) in Peru, summary report and synthesis of phase II. Alternatives to slash-and-burn Program, Nairobi, Kenya.
- Woomer, L.; Palm, A.; Qureshi, N. y Kotto-Same, J. 1998. Carbon sequestration and organic resource management in African smallholder agriculture. In: Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart, B.A. eds. *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton, FL. p. 153-173.
- Yanggen, R. 1999. Deforestación en la Selva Peruana. Lambayeque: Solidaridad, 100 p.



CAPITULO 2

METODOLOGÍA DEL PROYECTO REDD ALERT PARA LA ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA

*Por: José Eloy Cuellar Bautista
Evelin Judith Salazar Hinostraza*

Resumen Ejecutivo

La metodología que se presenta, fue planificada, diseñada y desarrollada por el proyecto REDD Alert, se fundamenta en una serie de pasos bien organizados, en base a una serie de pruebas destructivas y no destructivas, que se establecen para facilitar la toma de datos de campo, el procesamiento de muestras en el laboratorio, así como el procesamiento de resultados; cumple con todas las especificaciones del Panel Intergubernamental de cambio climático IPCC, el modelo consiste en conformar un sistema de clústeres o racimos, en base a parcelas organizadas a partir de algún remanente de bosque, de tal manera que nos permita generar una recreación del bosque o ecosistema a estudiar, así como los sistemas actuales de uso de la tierra, para formar estos clústeres se han establecido una serie de criterios de inclusión y exclusión que permite robustecer el valor estadístico, la parcela tiene un área de 2 000m², forma rectangular con dimensiones variables de 40x50m y 20x100m que se establecerá de acuerdo a las características del área de evaluación y/o campo. Dentro de la parcela veremos que está dividida en diversas sub parcelas para facilitar la toma de datos facilitando la colecta de datos relativos a los cinco depósitos descritos por el IPCC en el manual de buenas prácticas, siendo estas; la biomasa aérea que se compone de biomasa arbórea, vegetación arbustiva herbácea, hojarasca y madera muerta y árboles muertos en pie. Además de los depósitos del suelo; como medición del carbono orgánico en el suelo y biomasa en las raíces. Esta metodología tiene practicidad ha sido validada en evaluaciones de Costa, Sierra y Selva, el costo de instalación es reducido, lo cual representa una ventaja para realizar inventarios de carbono, se ajusta a los diversos ecosistemas del país y la consistencia de la data generada permite generar resultados robustos de investigación.



Objetivo

Establecer una metodología adecuada para medición del C en todos los ecosistemas del Perú, que utilice un área de terreno mínimo, en el cual se pueda evaluar los principales parámetros y que también represente menores costos.

La Metodología

Si revisamos literatura sobre los inventarios de C, nos daremos cuenta que en el mercado existen una serie de metodologías, algunas utilizando evaluaciones destructivas y otras no destructivas, también encontramos aquellas que han sido validadas por el IPCC y otras que están en proceso, por ello es muy importante fijarse en la realidad local y/o regional para que la propuesta metodológica elegida sea factible de ser utilizada en el campo.

En el país, en estos últimos veinte años, se han desarrollado una serie de trabajos de investigación basados en metodologías conocidas y otras que parten de diferentes marcos conceptuales para explicar un mismo proceso, por este motivo adquiere mucha importancia que se establezca una metodología que pueda ser aplicada al territorio nacional y que genere riqueza en su información.

La metodología que se propone utilizar en este tipo de investigaciones se diseña básicamente mediante una recreación ó simulación de diferentes escenarios y/o sistemas de uso de la tierra, a partir de una masa pura que es el bosque primario remanente, para ello se utiliza el diseño descriptivo siendo muy importante la selección de los escenarios, así como el establecimiento de parcelas que se da mediante el establecimiento de clústeres alrededor de una porción del bosque primario remanente, luego los diferentes sistemas en los cuales se ha realizado el cambio de uso de la tierra. Es una metodología basada en la combinación de metodologías destructivas y no destructivas que han sido aceptadas por el IPCC.

Es importante mencionar que en este proceso, se tuvo el asesoramiento directo de la Dra. Katrin

Wolf y del Dr. Oliver van Straaten (ambos de la Universidad de Gottingen), profesionales con experiencia de haber realizado evaluaciones en diferentes tipos de bosques, utilizando esta metodología.

- **Tipo de investigación**

Se trata de una investigación descriptiva.

- **Diseño de Investigación**

Este tipo de investigación se encuentra configurada como descriptiva explicativa, cuantitativa y transversal.

- **Definición de las variables a estudiar**

Para este tipo de evaluaciones, se medirán variables que tienen la siguiente clasificación:

Por su naturaleza: **Son cuantitativas continuas.**

Por su importancia:

Variable: Carbono almacenado en los Sistemas de Uso de la Tierra.

- **Instrumento y técnica de investigación**

El instrumento de investigación será la observación y la técnica de investigación está representada en las fichas de investigación que se presentan en el anexo.

El proceso metodológico

Consiste en una serie de pasos que se establecen para organizar la toma de datos de campo así mismo el proceso de cuantificación del C almacenado en cada uno de los cinco depósitos del ecosistema, de tal manera que se garantice la generación de datos de calidad en un plazo prudencial.

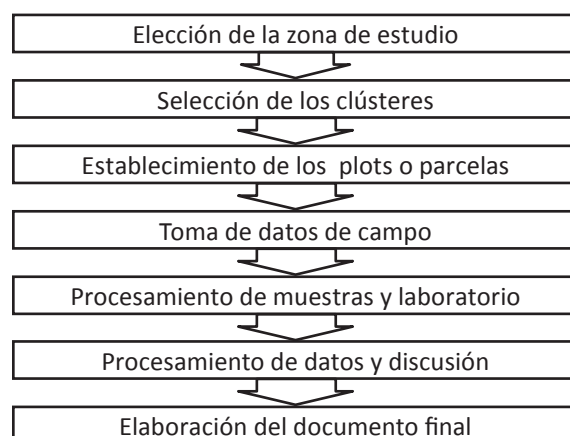


Figura 12. Flujograma de la metodología.
Fuente: Cuellar, 2014.



Cuadro 5. Matriz de Consistencia de la Investigación

Problema General	Objetivo general	Hipótesis general	Indicadores
Cuál es el patrón de cambios que se produce en el stock y flujo de carbono, en los diferentes estadios del ecosistema forestal, producto de la deforestación y degradación.	Determinar el patrón de cambios en la biomasa y carbono que se produce por el cambio de uso del bosque mediante evaluaciones destructivas y no destructivas para comprender la dinámica del carbono en el ecosistema.	El patrón de cambios en la biomasa y carbono que se produce por el cambio de uso del bosque genera una degradación en el paisaje difícil de recuperar prontamente.	a.- Biomasa arbórea almacenada en t/ha para cada SUT. b.-Biomasa de arbustivas y herbáceas almacenada en t/ha para cada SUT. c.-Biomasa de la madera muerta y hojarasca almacenada en t/ha para cada SUT.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos	
¿Cuánto es la biomasa contenida en los seis tipos de uso de la tierra?	Estimar la biomasa en los seis tipos de uso de la tierra, mediante evaluaciones destructivas y no destructivas, con la finalidad de medir el cambio real en la biomasa.	La biomasa contenida en los seis tipos de uso de la tierra, presenta diferencias muy significativas entre el SUT bosque y el SUT cultivo.	d.- Biomasa de raíces finas almacenada en t/ha para cada SUT. e.- Cuantificar la materia orgánica del suelo almacenada en t/ha para cada SUT.
¿Cuánto es el stock de carbono contenido en los cinco depósitos de carbono de los seis tipos de uso de la tierra?	Estimar el stock de carbono en los cinco depósitos de carbono de los seis tipos de uso de la tierra utilizando metodologías establecidas por el IPCC.	El stock de carbono almacenado en los cinco depósitos de los seis tipos de uso de la tierra presenta diferencias significativas.	f.- Cuantificar el stock de Carbono en cada sistema de uso de la tierra en tC/ha.
¿Cómo se dan los cambios en el stock del carbono contenido en los cinco depósitos de carbono de los seis tipos de uso de la tierra?	Evaluar el patrón de cambios en el stock del carbono, mediante comparaciones, que nos permita mejorar la comprensión sobre la dinámica del carbono.	El patrón de cambios en el stock de carbono almacenado presenta diferencias significativas entre cada depósito y SUT evaluado.	

Fuente: Cuellar, 2014.

Desarrollo del Proceso Metodológico

Consiste en seguir una serie de pasos debidamente estructurados con la finalidad de cuantificar adecuadamente el C almacenado en el ecosistema y/o sistema de uso de la tierra.

1. Elección de la zona de Estudio

De preferencia se ubica una microcuenca o porción de ésta, en base a los parámetros o sistemas de uso de la tierra SUTs que se quieran estudiar o evaluar. Tomando como núcleo la presencia de bosques primarios (remanentes) Para ello se debe tomar en cuenta la representatividad del área o cuenca.

2. Selección de los clústeres de muestreo

Primero debemos proveernos de mapas, básicamente de:

- Capacidad de Uso Mayor de Suelos
- Tipos de bosque
- Imágenes de Satelitales

Se debe tener en cuenta los siguientes criterios de selección.

a. Vegetación homogénea para cada SUT elegido; es decir si una purma tiene dominancia de Asteraceas y Malvaceas, las repeticiones deben tener las mismas características de antecedentes de uso del suelo conocidos y homogéneos para cada SUT, en cada repetición.



3. Establecimiento de Plots o parcelas

3.1. Selección de plots ó parcelas

Se delimitan las parcelas de los clústeres a estudiar, en base al diseño de clusteres establecidos en el paso anterior, para ello es necesario múltiples visitas de campo utilizando un GPS, mapas y un barreno de suelos.

Dentro de cada clúster se va a seleccionar los plots o parcelas, de acuerdo a las siguientes restricciones:

- Sitios parecidos en cuanto a las propiedades físicas del suelo
- Sitios localizados en posiciones topográficas e inclinaciones similares
- Usos de la tierra bien establecidos (≥ 10 años)
- Repeticiones para cada uso de la tierra
- Las edades de las plantas a evaluar deben ser iguales para todos los plots

3.1.1. Determinación del número de parcelas

Paso 1. Seleccionar el nivel de precisión deseado

La selección del nivel de precisión está casi siempre relacionada con los recursos disponibles y con la exigencia del comprador (mercado). El nivel de precisión exigido tendrá un efecto directo sobre los costos del inventario. Usualmente, para proyectos forestales se utiliza un nivel de precisión (error de muestreo) de +/-10% del valor promedio de C a un nivel de confianza de 95%¹. Sin embargo, proyectos del tipo MDL forestal en pequeña escala pueden utilizar un nivel de precisión de hasta +/- 20% (Emmer, 2007).

Relación entre el número de parcelas y el grado de precisión

La Figura 13 ilustra la relación entre el número de parcelas y el nivel (grado) de precisión (+/- % del C total almacenado en la biomasa viva y muerta, con 95% de confianza) para cuatro tipos de depósitos combinados (biomasa sobre el suelo, subterránea, hojarasca y materia orgánica del suelo) presentes en seis categorías de vegetación de un bosque

tropical en Bolivia (Proyecto Piloto Noel Kempff) Winrock International (1999). De acuerdo a la figura 13, se observa que para alcanzar un nivel de precisión de 5% serían necesarias 452 parcelas; en donde solamente 81 parcelas darían un nivel de precisión de 10%. Este ejemplo evidencia las implicaciones (costo-beneficio) de las exigencias de un mayor o menor nivel de precisión.

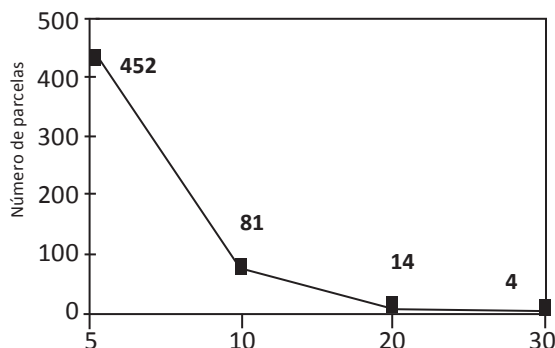


Figura 13. Nivel de precisión (+/-) %
Fuente: IPCC, 2003.

Paso 2. Selección del área para la toma de datos preliminares

Antes de determinar el número de parcelas requeridas para la medición y monitoreo de C con determinado nivel de confianza, se debe obtener primero un estimado de la variancia existente para cada tipo de depósito (ejm: C en el suelo) en cada estrato. Dependiendo de la ocurrencia de un mismo estrato en el área del proyecto, cada estrato deberá tener muestras de más de un área (repetición), para que los resultados tengan validez estadística. Se recomienda inicialmente establecer de cuatro a ocho repeticiones para cada estrato.

Paso 3. Estimar el promedio, la desviación estándar y variancia del stock de C sobre datos preliminares

$$\text{Promedio } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\text{Varianza } s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$\text{Desviación estándar } s = \sqrt{s^2}$$

1. Cuando el valor identificado es 80 t de C/ha, significa que para 95% de las situaciones en el universo muestreado, la cantidad de Carbono almacenado estará entre 72 t (-10%) y 88 t (+10%).



Paso 4. Cálculo del número de parcelas requeridas

Una vez conocida la varianza estimada en cada estrato, la superficie de cada estrato, el nivel de precisión deseado y el error del estimado (referenciado en el nivel de confianza seleccionado), se puede calcular el número de parcelas necesarias. La fórmula genérica para el cálculo del número de parcelas se presenta a continuación:

$$\text{Fórmula para un único estrato} \quad n = \frac{(N * s)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + N * s^2}$$

$$\text{Fórmula para más de un estrato} \quad n = \frac{(\sum_{h=1}^L N_h * s_h)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + (\sum_{h=1}^L N_h * s_h^2)}$$

Donde:

n = Número de parcelas

E = Error permitido (promedio x nivel de precisión seleccionado). Como fue visto en el paso anterior, el nivel de precisión recomendado es de ±10 % (0,1) del promedio, pero puede llegar a ±20 % (0,2)

t = Muestra estadística de la distribución t para un nivel de 95% de confianza (generalmente se utiliza 2 como número de muestra)

N = Número de parcelas en el área del estrato (área del estrato dividido por el tamaño de la parcela en ha)

s = Desviación estándar del estrato h

Ejemplo de cálculo del número de parcelas requeridas

Por medio de muestreos preliminares de biomasa arbórea aérea utilizando parcelas de 20x20m, se determinaron los siguientes valores:

- Área de estudio = 10 000 ha
- Área de la parcela = 0,04 ha (20x20m)
- Promedio de stock de carbono = 120,3 tC/ha
- Desviación estándar del estrato (s) = 18,1 tC/ha
- Muestra estadística de la distribución (t) = 2
- Nivel de precisión seleccionado = 10% (0,1)

Con esta información se puede calcular el área del estrato (N) y el error permitido (E):

Área del estrato (N) (área del estrato x tamaño de la parcela en ha = 10 000/0,04) = 250 000

Error permitido (E) (promedio por nivel de precisión seleccionado): 120,3 x 0,1 = 12,3

Finalmente se calcula el número de parcelas requeridas para muestra del estrato:

$$n = \frac{(N * s)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + N * s^2}$$

$$n = \frac{(250.000 * 18,1)^2}{\frac{250.000^2 * 12,3^2}{2} + 250.000 * 18,1^2} = 28 \text{ parcelas}$$

Fuente: Adaptado de Pearson et al., 2005.

La guía UTCUTS² recomienda establecer 10% a más de parcelas que la cantidad determinada (calculada), como precaución contra imprevistos futuros que puedan impedir la localización de alguna de las parcelas.

3.2. Establecimiento de parcelas

Una vez que se ha identificado en el terreno el área seleccionada, se procede a establecer la parcela, para ello vamos a tener los siguientes considerandos:

- El área de la parcela es 2 000m²
- El tamaño de la parcela es 20x100m ó 50x40m
- El tamaño de parcela para la muestra de suelo es 20x20m

Ubicamos el punto central de la zona intocable, se ubica junto a la calicata (Z) y con la ayuda de una brújula ubicamos el norte magnético y avanzamos 90° para obtener el rumbo, con una cinta métrica y jalones señalizados se establecen cuatro parcelas experimentales, Se delimita los primeros 10m de la línea base de la misma forma lo hacemos para el otro extremo, completando así los 20m. Cerramos la parcela de (20x100)m², dentro de esta, delimitamos la subparcela de 20x20m², separamos la subparcela de 10x20m² y la sub parcela de 5x5m². De forma aleatoria se ubican los 3 cuadrantes de 1x1m² (c), finalmente se delimita el transecto de 5x40m².

2. Cuando el valor identificado es 80 t de C/ha, significa que para 95% de las situaciones en el universo muestreado.

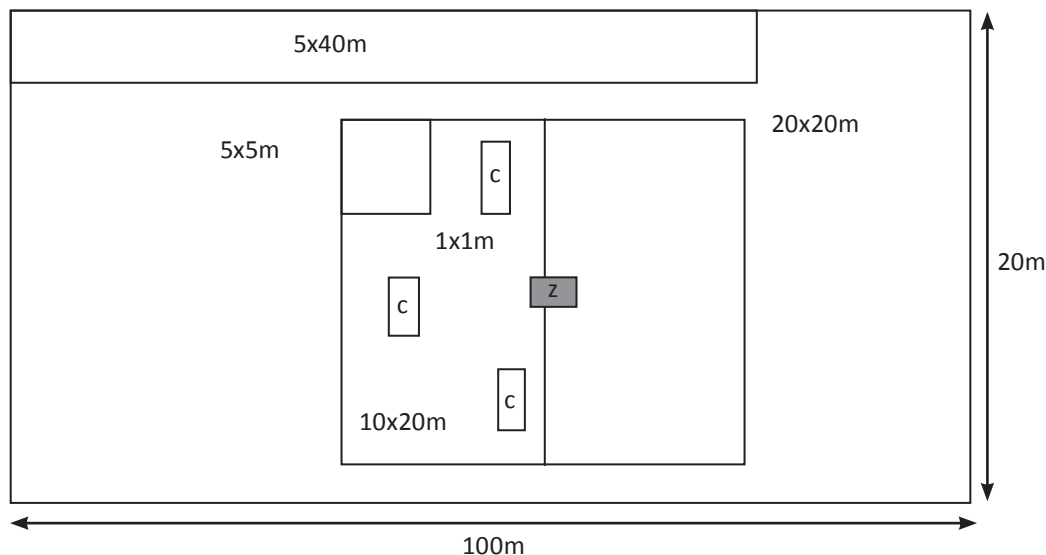


Figura 14. Diagrama de la parcela de muestreo tipo A para medición de Carbono.
Fuente: Cuellar et al., 2015.

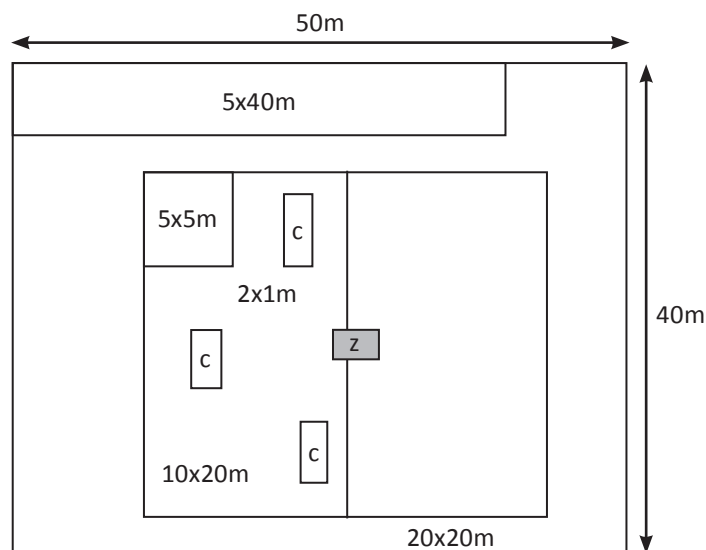


Figura 15. Diagrama de la Parcela de muestreo tipo B para la medición de Carbono.
Fuente: Cuellar et al., 2015.

4. Toma de datos de campo

Luego de seleccionar cada SUT así como los depósitos de C a evaluar: El siguiente paso es evaluar la biomasa, siendo importante iniciar por el sistema de codificación de muestras.

4.1. Sistema de codificación de las muestras

Cada muestra retirada debe ser colocada en un saco adecuadamente etiquetado (codificado). La etiqueta debe poseer un número específico para cada muestra. A su vez, esta identificación debe coincidir con los datos de origen de la muestra y describir el tipo de análisis a realizar. Esta información es registrada en un formulario

de campo, y luego será enviado junto con las muestras al laboratorio. La codificación debe contener las siguientes informaciones:

- Número correlativo de la etiqueta del saco.
- Nombre o código de la propiedad.
- Tipo de muestra (ejm. hojarasca; densidad aparente del suelo, raíces, etc).
- Profundidad de la muestra (solo para el caso de raíces y suelo).
- Código del tipo de estrato.
- Número de la repetición.
- Código del tipo de la parcela.
- Lugar de colecta.
- Fecha de colecta.



Cuadro 6. Ejemplo de formulario con identificación de muestras de suelo para orientar el análisis de laboratorio para determinar la densidad utilizando calicatas

# Etiqueta del saco	Tipo de análisis	Profundidad	# Calicata	Repetición	Estrato	Propietario	Código parcela
900	Densidad	0 – 10	1	3	Bosque	Willian Madrigal	309
901	Densidad	10 – 20	1	3	Bosque	Willian Madrigal	309
902	Químico	0 – 10	1	3	Bosque	Willian Madrigal	309
903	Químico	10 – 20	1	3	Bosque	Willian Madrigal	309

Fuente: Rognitz et al., 2009.

4.2. Precauciones a ser tomadas antes y durante la etapa de campo

- El proceso de mediciones en campo solamente debe ocurrir cuando estuvieran bien definidos los objetivos y los aspectos administrativos y logísticos del proyecto y cuando su ejecución es requerida por razones técnicas o normativas.
- Establecer un cronograma de campo adecuado a la etapa de análisis de datos, evitando almacenar muestras de suelo, raíces y hojarasca por mucho tiempo antes de enviar al laboratorio.
- Utilizar programas como el Excel y/o Access para componer la base de datos, complementariamente se puede utilizar otros programas como SPSS o minitab.
- Entrenar debidamente al equipo de campo, tanto para recoger la información como para manipular las muestras, teniendo pleno conocimiento de todos los procedimientos necesarios, y principalmente, tener en cuenta la importancia de coleccionar datos con la mayor precisión posible.
- Instalar parcelas de calibración (pre-prueba) midiendo todos los componentes seleccionados.
- Evitar el cambio continuo de los miembros o integrantes del equipo técnico, principalmente los responsables del recojo o levantamiento de información especializada, como es el caso de la medición de la altura de las especies forestales.
- Evitar tomar muestras en distintos periodos

del año, reduciendo así variaciones estacionales esto tiene influencia a nivel de arbustivas, herbáceas y cultivos.

- Tener en consideración que los mapas del área y el uso de GPS son indispensables.

4.3. Medición de la biomasa aérea

En cada parcela se realiza un inventario de las especies arbóreas, midiendo el diámetro a la altura del pecho (DAP a 1,3m) y altura total (HT) (Figura 16).

- Árboles maduros (con DAP mayor a 30cm) medidos en la parcela de 20x100m ó 40x50m = 2,000m².
- Fustales (con DAP de 10 a 29,9cm) medidos en la parcela de 20x20m - 400m².
- Latizales altos (de 5 a 9,9cm de DAP) medidos en la subparcela de 10 x20m - 200m².
- Latizales bajos (leñosas con diámetro de 1,5 hasta 4,9cm de DAP, medidos a 20cm de altura de la planta a ras del suelo) en la sub parcela de 5x5m - 25m².

4.3.1. Medición de la biomasa arbórea

El instrumento adecuado para medir el DAP es la cinta diamétrica, algunas veces la forcípula, para arbustivas el más adecuado es el vernier. Para la medición de la altura se utiliza el hipsómetro, o el clinómetro, actualmente existen otros equipos; la distancia horizontal de separación de la base del árbol depende de la altura que se va a medir, teniendo como mínimo 15 metros y para los arboles pequeños se miden con una regla telescópica.



Por otro lado, en caso de pastizales y cultivos en áreas despejadas, se utiliza el clinómetro o hipsómetro. Finalmente se anota el nombre común, esto es importante porque el nombre difiere según la zona donde se trabaja.



Figura 16. Medición del diámetro de los árboles DAP al 1,30m. Pucallpa, Ucayali.

4.3.2. Medición de biomasa en la vegetación arbustiva – herbácea

La biomasa arbustiva (Bab) y herbácea (Bhb) están, compuestas por biomasa epígea fresca de arbustos menores de 2,5cm de diámetro; gramíneas y otras hierbas. Es importante también tener en cuenta la vegetación aérea que se encuentra dentro del cuadrante definido; lianas, bejucos, plantas trepadoras de diámetros menor a 2,5cm.



Figura 17. Reconocimiento de especies en la vegetación arbustiva-herbácea Pucallpa, Ucayali.

Se realiza por muestreo directo aleatorio en tres cuadrantes temporales, establecidos por un marco de 1m² (1x1). El proceso consiste en sacar

al azar tres fichas de la bolsa, con la finalidad de tener muestras aleatorias, luego se verifica en la tabla de apoyo cual es el respectivo lugar en la parcela de 10x20m, se realiza el reconocimiento de las especies con nombre común, luego se corta la vegetación a nivel del suelo, y se registra el peso fresco total, se extrae una submuestra de peso conocido (300g) y se coloca en una bolsa de polietileno, debidamente codificada, según sector, sistema, componente y número de muestra.

4.3.3. Medición de biomasa en la hojarasca y madera muerta

a. Biomasa de hojarasca

Se cuantifica en base a la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas) dentro de cada uno de los cuadrantes de 1x1m (Figura 17). Se colecta toda la hojarasca, se registra el peso fresco total, luego se extrae una sub-muestra de 360g, se coloca en bolsas de polietileno debidamente codificados, para trasladarlos al laboratorio y seguir su proceso.



Figura 18. Muestreo de la vegetación arbustiva-herbácea y hojarasca Aguaytía, Ucayali.

b. Medición de biomasa de árboles caídos y muertos

Se evalúan todos los individuos muertos dentro del transecto 5x40m y/o en 5x100m, midiendo la longitud dentro del cuadrante en caso de que el árbol atraviesa la parcela se mide el diámetro a mayor de 5cm de los troncos con la forcípula (dos medidas), árboles muertos en pie y tocones mayores de 10cm. Asimismo se estima el grado de descomposición de la madera, de acuerdo a lo propuesto por Chao y Phillips (2005):



1. **Duro e intacto:** Hay más del 75% de la madera que está intacta y/o dura, y en ocasiones con pequeñas ramitas adjuntas. Puede tratarse de un tronco recientemente caído.
2. **Dañado y en mala condición:** El tronco ha experimentado alguna decadencia y se encuentra algo descompuesto, pero la madera todavía está dura y ligeramente dañada.
3. **Descompuesto:** Hay más del 75% de madera blanda y descompuesta, un golpe de machete penetra con facilidad y la madera se derrumba si se pisa.



Figura 20. Medición del diámetro y altura de tocones.



Figura 19. Medición del diámetro y longitud de los troncos caídos muertos.

Es recomendable en lo posible reconocer a la especie por medio de la madera, con la finalidad de obtener la clasificación de las densidades, ya que maderas con mayor densidad tendrán mayor contenido de C almacenado.

c. Medición de la biomasa de árboles muertos en pie

La biomasa de los árboles muertos en pie se estima tanto en parcelas de 5x40m como en parcelas de 5x100m, de acuerdo con el DAP de los árboles; de forma similar que para la estimación de la biomasa arbórea viva. Si existen árboles muertos en pie fuera de la parcela y son en un número pequeño, entonces el muestreo se realiza a nivel global dentro de la parcela 40x50m ó 20x100m y esto se repite para todas las parcelas.

4.4. Medición de Carbono en el depósito suelo

4.4.1. Carbono en el suelo

Para ello vamos a desarrollar tres actividades; medición de la densidad aparente, medición de la biomasa de raíces, y medición de la materia orgánica del suelo. Para iniciar el trabajo, tomamos como punto de referencia la calicata central y con la ayuda de una brújula, ubicamos el norte magnético y avanzamos 90° para obtener el rumbo, con una cinta métrica y jalones señalizados se establecen cuatro parcelas experimentales, Se delimita los primeros 10m de la línea base, de la misma forma lo hacemos para el otro extremo completando así los 20m para cada lado de la subParcela (Figura 21).

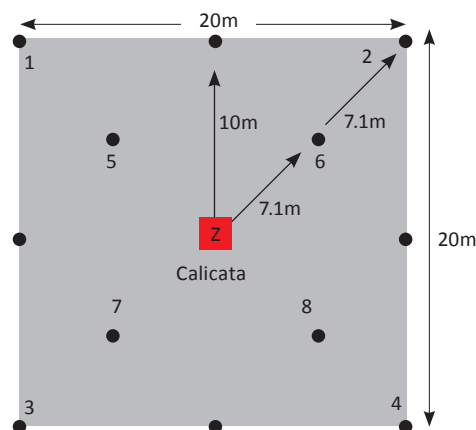


Figura 21. Diseño de la parcela para muestrear carbono en el suelo.

a. Medición de materia orgánica en el suelo

En los puntos 1, 2, 3 y 4 (Figura 21) se van a desarrollar calicatas de 30x30x50cm, y se deberá tomar muestras de suelo, de acuerdo con las siguientes características:

- Muestra 1: de 0 a 10cm
- Muestra 2: de 10 a 30cm
- Muestra 3: de 30 a 50cm



Figura 22. Colección de muestras de suelo en SUT cacao - Tarapoto, San Martín.

b. Medición de la densidad aparente:

Para ello primero se construye la calicata central, se trabaja en base a la parcela de 1x1x1m una vez concluida la calicata, se procede a colocar el anillo o cilindro muestreador de volumen conocido, en las paredes laterales homogéneas separando las muestras obtenidas por incrementos de profundidad como se detalla en la Figura 26 (Veldkamp *et al.*, 2003). Luego se procede a guardar el cilindro con el suelo en una bolsa o recipiente identificado y numerado o bien se debe colocar la muestra de suelo en un recipiente diferente al cilindro, para continuar utilizándolo en nuevos muestreos.



Figura 23. Procesamiento de suelos para evaluación de carbono.

4.4.2. Medición de la biomasa de raíces

a. Raíces finas

Ubicamos la pared central de la calicata y se procede a hacer pequeñas calicatas de 20x20cm hasta llegar a 1m de profundidad, tal como

se detalla en la Figura 24. Luego, en la parcela central (Figura 21) se procede a muestrear en los puntos 5, 6, 7 y 8 de la siguiente manera:

Muestra 1: de 0 a 10cm

Muestra 2: de 10 a 20cm

Muestra 3: de 20 a 30cm

Estas muestras se colectan en tres intervalos de profundidad porque las raíces de las especies vegetales no arbóreas predominan en los primeros 30cm.

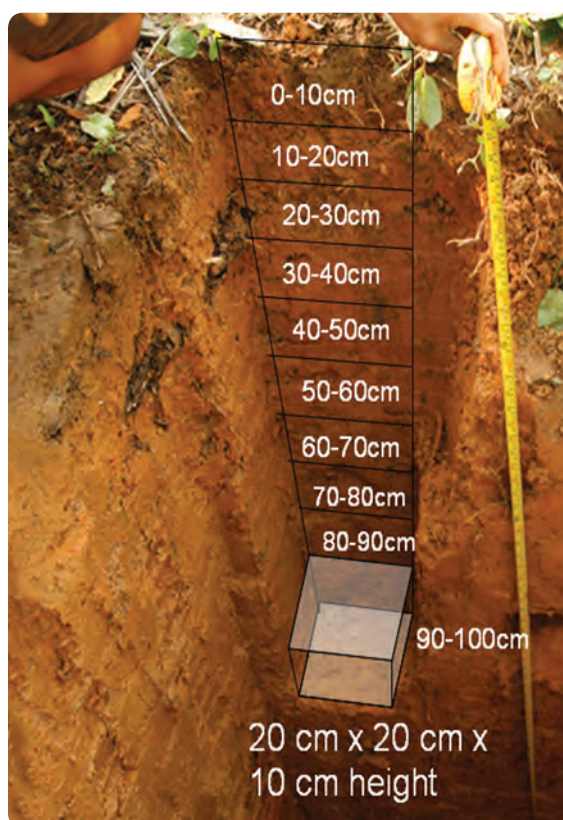


Figura 24. Diseño de calicata para muestrear raíces finas.

b. Raíces gruesas

Se procede a recoger las raíces encontradas en la construcción de la calicata central, y se procede con las mediciones y pesaje para llevarles al laboratorio. Debido a la necesidad de simplificación de las metodologías, en la mayoría de los casos se considera únicamente la cuantificación del C en los depósitos de biomasa viva (sobre y bajo el suelo), no siendo considerado el C contenido por la materia orgánica muerta o C inorgánico.



5. Procesamiento de muestras en laboratorio.

Luego de coleccionar las muestras en el campo, el siguiente paso es procesar las muestras en laboratorio y gabinete, siguiendo la metodología desarrollada para condiciones similares y que se detalla a continuación.

5.1. Biomasa arbustiva y herbácea

Las muestras de campo debidamente codificadas en la bolsa de polietileno se pesan con una balanza analítica y se anota en la bolsa de papel, se introduce en esta el material para finalmente desecar en una estufa a 75°C por 24 a 72 horas hasta obtener el peso seco constante.

Luego, para determinar el peso de la ceniza, se tritura la materia seca obtenida al desecar en el horno, con la ayuda de un molino especial, luego se separa 3g de esta muestra y se coloca en una bolsa de polietileno pequeña, para luego depositar en un crisol y, luego ser llevado a la mufla a 240°C por un espacio de 48 horas, hasta que se convierta en cenizas. Finalmente se pesa cuidadosamente en una balanza analítica digital, con la finalidad de continuar con los cálculos en gabinete.

5.2. Biomasa de hojarasca (Bh)

A la muestra debidamente codificada, se le registra su peso, se coloca en bolsas de papel, se identifica debidamente y se seca en hornos de aire caliente, a 75°C, hasta obtener el peso



Figura 25. Muestras en crisoles y puestos en la Mufla para determinar el carbono.

seco constante. Al igual que en la biomasa arbustiva y herbácea se siguen los mismos pasos para determinar el peso de la ceniza, con la finalidad de obtener el porcentaje de C que estas contienen ya que son vegetación no leñosa, como se sabe el factor de conversión para la obtención de C en la vegetación leñosa es de la 0,5 (IPCC, 2003). Sin embargo para la vegetación no leñosa, muchas veces el valor es menor de 0,5, por lo tanto es muy importante no obviar estos procedimientos para finalmente continuar con los cálculos en gabinete.

5.3. Carbono en el suelo y densidad aparente

a. Carbono en el suelo

Las muestras de suelo obtenidas en campo se secan al aire libre, bajo techo en bandejas debidamente codificadas, para luego tamizar las mallas de 2mm de espesor, hasta obtener un suelo uniforme libre de piedras y granulos. Las muestras correctamente identificadas deben ser enviadas al laboratorio de análisis de suelo para la cuantificación de C total, también es necesario realizar análisis complementarios de textura y pH en Cloruro de Potasio KCl; lo cual permitirá hacer las correcciones respectivas por cambios texturales y acidéz de suelo, principalmente en suelos de los trópicos húmedos.

b. Densidad aparente



Figura 26. Diseño de calicata para muestrear densidad aparente del suelo.



Las muestras de suelo obtenidas dentro de los anillos ó cilindro de Ulhand, se les debe medir el peso fresco y desecarlas a 105°C por un espacio de 24 horas, hasta obtener el peso seco constante y finalmente tomar el peso seco de cada una de las muestras debidamente codificadas.

5.4. Biomasa de raíces finas (diámetro menor de 2mm)

Las muestras obtenidas deben ser guardadas en bolsas plásticas debidamente identificadas y mantenidas en refrigeración (4-7°C) hasta sus análisis en el laboratorio, las muestras de campo pasarán por un proceso de tamizado y lavado para eliminar suelo y piedras, restando únicamente las raíces finas. Se recomienda aplicar un factor de corrección de 1,25 a 2,0 a los resultados finales, para contemplar las pérdidas de raíces debido al proceso de muestreo y procesamiento. Las raíces serán secadas en un horno a 40°C hasta obtener el peso seco constante. Posteriormente se realizan los respectivos cálculos para registrar la biomasa, en toneladas por hectárea de materia seca de raíces (t/ha), relativa a cada intervalo de profundidad.



Figura 27. Raíces finas provenientes de diversos estratos.

6. Procesamiento de datos

6.1. Ecuaciones alométricas

De acuerdo al tipo de sistema de uso de la tierra y especies predominantes se determina la fórmula alométrica que se utilizará para la cuantificación de la biomasa.

Para la utilización de ecuaciones alométricas obtenidas de la literatura, se recomienda verificar la confiabilidad del modelo colectando de forma destructiva individuos (30 árboles) de diferentes tamaños, dentro del área del proyecto, pero fuera de las parcelas de muestreo, estimando su biomasa y comparándola con el resultado de la ecuación seleccionada. La biomasa estimada debe estar dentro de un margen de +/- 10% prevista por la ecuación. La cantidad de árboles que deben ser colectados para esta verificación debe estar, en la medida de lo posible, próxima al número mínimo de árboles recomendado por el modelo, o en ausencia de esta información, al número de árboles utilizado para construir el modelo. Esta verificación también dependerá de las categorías de tamaños establecidas y del número de especies presentes. Cuanto mayor sea la heterogeneidad del bosque, mayor será la cantidad de árboles necesarios. En lo posible, se recomienda también tener en consideración los siguientes criterios:

- Utilizar ecuaciones que hayan sido desarrolladas en localidades con condiciones climáticas y ecosistemas semejantes al área del proyecto.
- Que parte de las especies utilizadas para desarrollar las ecuaciones también se encuentren presentes en el área del proyecto.
- Que las características (diámetro y altura) de los individuos utilizados para desarrollar las ecuaciones sean semejantes a las características de los individuos del área del proyecto.
- En el caso de no cumplir con los criterios anteriores, se recomienda desarrollar ecuaciones alométricas locales.

En los Cuadros 7 y 8 se consignan algunas ecuaciones alométricas para ser utilizadas de acuerdo al área de evaluación, tanto para zonas climáticas como para diferentes tipos de plantaciones.



Cuadro 7. Ecuaciones alométricas para Árboles Tropicales

Ecuación	Zona climática	Ecuación	Rango del Dap (cm)	Número de árboles	R ²
a	Seca	$Y = \exp \{-1,996 + 2,32 \times \ln(D)\}$	5 - 40	28	0,89
b		$Y = 101 \{-0,835 + 0,966 \log_{10}(BA)\}$	3 - 30	191	0,94
c	Húmeda	$Y = 42,69 - 12,800(D) + 1,242(D^2)$	5 -148	170	0,84
d		$Y = \exp \{-2,134 + 2,530 * \ln CD\}$			0,97
e	Lluviosa	$Y = 21,297 - 6,953(D) + 0,740(D^2)$	4 - 112	169	0,92

Donde: y = Biomasa expresada en k, D = diámetro a la altura del pecho (Dap) en cm y BA = área basal en cm

Fuente: Brown, 1999 a = Brown et al., 1989 para bosques secos de la india b = Martínez - Yrizar et al., 1992 para bosques secos de México. Para zonas secas con una precipitación fluvial menor a 900mm/año, utilizar ecuación 1. a,b,c = Brown et al. (1989) e = Brown e Iverson (1992)

Cuadro 8. Ecuaciones alométricas para Plantaciones Forestales

Ecuación Alométrica	Especies	Diámetro (cm)	R ²	Fuente
$Y = 0,153 * dap^{2,382}$	<i>Tectona grandis b</i>	10-59	0,98	1
$Y = 0,0908 * dap^{2,575}$	<i>Tectona grandis c</i>	17-45	0,98	2
$Y = 0,0103 * dap^{2,993}$	<i>Bombacopsis quinata d</i>	14-46	0,97	3
$Y = 1,22 * dap^{2,2} * HT * 0,01$	<i>Eucalyptus sp. e</i>	1-31	0,97	4
$Y = 0,08859 * dap^{2,235}$	<i>Pinus pinaster f</i>	0-47	0,98	5
$Y = 0,0357 * dap^{2,6915}$	<i>Pinus patula s</i>	7-64	0,98	8
$Y = 0,97 + 0,078 * SB - 0,00094 * SB^2 + 0,0000064 * SB^3$	<i>Bactris gasipaes g</i>	2-12	0,98	6
$Y = -3,84 + 0,528 * SB + 0,001 * SB^2$	<i>Hevea brasiliensis g</i>	6-20	0,99	6
$Y = -18,1 + 0,663 * SB + 0,000384 * SB^2$	<i>Bertholletia excelsa g</i>	8-26	0,99	6
$Y = 0,182 + 0,498 * HT + 0,049 * (HT)^2$	<i>Chrysophylla sp</i>	0,5-10,0	0,94	7
$Y = 10,856 + 176,76 * (HT) - 6,898 * (HT)^2$	<i>Attalea cohune</i>	0,5-15,7	0,94	7
$Y = 24,559 + 4,921 * HT + 1,017 * (HT)^2$	<i>Sabal sp</i>	0,2-14,5	0,82	7
$Y = 23,487 + 41,851 * (\ln(HT))^2$	<i>Attalea phalerata</i>	1-11	0,62	7
$Y = 6,666 + 12,826 * (HT^{0.5}) * \ln(HT)$	<i>Euterpe precatatoria</i>	1-33	0,75	7

Fuente: LULUCF, 2003.

Donde: Y = materia seca sobre el suelo, en k de materia seca por árbol; dap = diámetro a la altura del pecho en cm; HT = altura total del árbol, en metros (en las palmeras este es el fuste principal, excluyendo las hojas); SB = área basal, en cm²; b: 87 ejemplares de 5 a 47 años de edad.; c: 9 ejemplares de 20 años de edad.; d: 17 ejemplares de 10 a 26 años de edad.; e: valores agrupados para 458 ejemplares de *Eucalyptus ovata*, *E. saligna*, *E. globulus* y *E. nitens* de 2 a 5 años de edad.; f: 148 ejemplares de 1 a 47 años de edad.; g: 7 a 10 ejemplares de 7 años de edad.

Fuentes: 1) Pérez y Kanninen, 2003; 2) Kraenzel et al., 2003; 3) Pérez y Kanninen, 2002; 4) Senelwa y Sims, 1998; 5) Ritson y Sochacki, 2003; 6) Schroth et al., 2002.; 7) Delaney et al., 1997; 8) Díaz et al., 2007.

Recuerda:

Es necesario recordar que cada especie tiene una ecuación alométrica propia, por eso es importante determinar este valor tomando en consideración el Dap, la edad, la densidad de la madera y la altura total del árbol.



Cabe destacar que las ecuaciones alométricas de especies forestales en bosques tropicales se encuentran principalmente en función de una única variable; el Dap esto ocurre por las dificultades de visualizar las copas de los árboles, para medir la altura individual en bosques cerrados (Chave *et al.*, 2005) y que pueden aumentar el error muestral.

Cuadro 9. Ecuaciones alométricas para Bosques Naturales y Barbechos

Ecuación Alométrica	Tipo de Bosque	Intervalo de Medidos
$Y = \exp[-2,289+2,649*\ln(\text{Dap})0,021*(\ln(\text{dap}))^2]$	Maderas duras de zonas tropicales húmedas	(4– 148)
$Y = 21,297-6,953*(\text{dap})+0,740*(\text{Dap})^2$	Maderas duras de zonas tropicales muy húmedas	(4 – 112)

Fuente: IPCC, 2003 citando a Brown, 1997; Brown, y Schroeder, 1999; Schroeder, *et al.*, 1997.

Donde: Y = materia seca sobre el suelo, en k de materia seca por árbol; Dap = diámetro a la altura del pecho, en cm; ln = logaritmo natural; exp = “elevado a la potencia de”

Se caracterizan como zonas tropicales húmedas aquellas regiones con precipitaciones entre 2 000 - 4 000 mm/año en tierras bajas; “zona tropical muy húmeda” se refiere a regiones (en tierras bajas) con precipitaciones mayores de 4 000 mm/año.

Cuadro 10. Ecuaciones alométricas para diferentes tipos de Masas Boscosas

Ecuación alométrica	R ²	Rango del DAP (cm) y n	Localidad / Zona de Vida	Fuente
$B = \exp(-2,41+0,95*\ln(D^2*H*\rho))$		10 – 130 (168)	Bosques tropicales húmedos Bh-t	Brown <i>et al.</i> , 1989
$B = \rho*\exp(-1,499+2,1481*\ln(D) + 0,207*\ln(D^2) - (-0,0281*\ln(D^3)))$ (a)	0,99	5 – 156 (1505)	Bosques Tropicales de Brasil, Guyana, India, Indonesia, Venezuela y Malasia	Chave <i>et al.</i> , 2005
$B = \exp(-2,977+\ln(\rho*D^2*H))$ (b)				
$B = \exp(2,68+1,805*\ln(D)+1,038*\ln(H)+ 0,377*\ln(\rho))$ (c)	0,99	5 -156 (1808)	20 sitios del trópico en América, Asia y Oceanía zonas de vida (Bh-t)	Chave <i>et al.</i> , 2005
$B = \exp(-1,083+2,266*\ln(D)+\ln(\rho))$ (d)	0,99	5 -156 (2410)	28 sitios del trópico en América, Asia y Oceanía zonas de vida (Bh-t)	

Fuente: Chave *et al.* (2005).

Donde: B= biomasa (k/árbol), D= Dap en cm, H= altura total del árbol (m), ρ = densidad específica de la madera (g/cm³) y n = número de árboles evaluados en el estudio.

- Es importante recordar que si no se toma la ecuación alométrica adecuada la estimación de la biomasa no corresponderá al sitio de estudio, para la elección de la ecuación alométrica, se debe tomar en cuenta lo siguiente:
- Un alto coeficiente de determinación (R²).
 - Su lógica biológica y las variables predictorias más importantes de la biomasa aérea de un árbol.
 - El tipo de bosque tropical, de acuerdo con los niveles de precipitación, similares a la zona de estudio.



Cuadro 11. Ecuaciones alométricas para Bosques Tropicales

Ecuación Alométrica	Tipo de dato	Tipo de bosque
$\langle AGB \rangle est = \exp(-2,187 + 0,916 \times \ln(\rho D^2 H))$ $= 0,112 \times (\rho D^2 H)^{0,916}$	Con datos de altura	Bosques secos (<1500 mm a ⁻¹)
$\langle AGB \rangle est = \rho \times \exp(-0,667 + 1,784 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)$	Sin datos de altura	
$\langle AGB \rangle est = \exp(-2,977 + \ln(\rho D^2 H))$ $= 0,0509 \times \rho D^2 H$	Con datos de altura	Bosques estacionales (1500 -3500 mm a ⁻¹)
$\langle AGB \rangle est = \rho \times \exp(-1,499 + 2,148 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)$	Sin datos de altura	
$\langle AGB \rangle est = \exp(-2,557 + 0,940 \times \ln(\rho D^2 H))$ $= 0,0776 \times (\rho D^2 H)^{0,940}$	Con datos de altura	Bosques lluviosos (>3500 mm a ⁻¹)
$\langle AGB \rangle est = \rho \times \exp(-1,239 + 1,980 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)$	Sin datos de altura	

Fuente: Chave et al. (2005).

D = Dap ; H = Altura

Cuadro 12. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa en árboles aislados y dispersos

Ecuación Alométrica	Tipo de Sistema	Fuente
$\log_{10} Y = -2,18062 + 0,08012(Dap) + 0,0006244(Dap^2)$	Árboles dispersos en pasturas en América Central	Ruíz (2002)
$Y = 4,5 + 7,7 * H$	Palmeras	Frangi y Lugo (1985)
$\log_{10} Y = -4,47 + 2 \log_{10} Dap$	Bosque Secundario	Ferreira (2001)
$\ln Y = -2,13 + 2,42 \ln Dap$	Bosque ribereño	Zapata et al. (2003)

Fuentes: Elaboración propia.

Donde: Log10 Y = Logaritmo de referencia 10 de la materia seca sobre el suelo (biomasa arriba del suelo) en k de materia seca por árbol; Y = materia seca sobre el suelo, en k de materia seca por árbol; H: altura en metros; Dap = diámetro a la altura del pecho en cm

Cuadro 13. Ecuaciones alométricas analizadas para estimar la biomasa aérea de Palma Aceitera

Ecuación	Autor	R ²	Rango
$B = 0,3999 + 7,907 * H$	Tiepolo et al. (2002)	0,75	1-33
$B = 6,6666 + (12,826 (D^{0,5}) * \ln(D))$	Brown et al. (2005)	-	-
$B = \exp(((5,7236 + 0,9285 * \ln(D^2)) * 1,05001) / 103)$	Hughes et al. (1999)	0,82	-
$B = \exp(-6,3789 - 0,877 * \ln(1/(D^2) + 2,151 * \ln(H)))$	Saldarriaga et al. (1988)	0,89	-

Fuente: Vieira et al. (2008).

Donde: B= biomasa total (k/árbol), D= Dap en cm; H= altura total del árbol (m).

En el caso de la Palma Aceitera los parámetros de medición son diferentes, se elige la ecuación que tenga un coeficiente de determinación confiable (R²), que utiliza como variable

paramétrica la altura, que es más fácil de ser medida, contrario al diámetro ya que por la adición de los pecíolos de las hojas en el tallo, el diámetro medido no es el real.



Cuadro 14. Ecuaciones alométricas para Especies Agroforestales

Clasificación general	Clasificación general	Ecuación Alométrica	Autores	Origen de la Información	Diámetro Máximo (cm)
Árboles de sombra agroforestales	General	$\text{Log}_{10}\text{Biomass} = -0,834 + 2,223 (\text{log}_{10}\text{dbh})$	<i>Segura et al. 2006</i>	Nicaragua	44
Árboles de sombra agroforestales	<i>Inga sp.</i>	$\text{Log}_{10}\text{Biomass} = -0,889 + 2,317 (\text{log}_{10}\text{dbh})$	<i>Segura et al. 2006</i>	Nicaragua	44
Árboles de sombra agroforestales	<i>Inga punctata.</i>	$\text{Log}_{10}\text{Biomass} = -0,559 + 2,067 (\text{log}_{10}\text{dbh})$	<i>Segura et al. 2006</i>	Nicaragua	44
Árboles de sombra agroforestales	<i>Inga tonduzzi</i>	$\text{Log}_{10}\text{Biomass} = -0,936 + 2,348 (\text{log}_{10}\text{dbh})$	<i>Segura et al. 2006</i>	Nicaragua	44
Árboles de sombra agroforestales	<i>Juglans Olanchana</i>	$\text{Log}_{10}\text{Biomass} = -1,417 + 2,755 (\text{log}_{10}\text{dbh})$	<i>Segura et al. 2006</i>	Nicaragua	44
Árboles de sombra agroforestales	<i>Cordia alliodora</i>	$\text{Log}_{10}\text{Biomass} = -0,755 + 2,072 (\text{log}_{10}\text{dbh})$	<i>Segura et al. 2006</i>	Nicaragua	4
Café sombreado	<i>Coffea arábica</i>	$\text{Biomass} = \exp(-2,719 + 1,991 (\ln(\text{dbh}))) (\text{log}_{10}\text{dbh})$	<i>Segura et al. 2006</i>	Nicaragua	8
Café podado	<i>Coffea Sp.</i>	$\text{Biomass} = 0,281 \times \text{dbh}^{2,06}$	Van Noordwijk et al. 2002	Java, Indonésia	10
Banana	<i>Musa Paradisiaca</i>	$\text{Biomass} = 0,030 \times \text{dbh}^{2,13}$	Van Noordwijk et al. 2002	Java, Indonésia	28
Pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i>	$\text{Biomass} = 0,97 + 0,078 \times \text{Ba} - 0,00094 \times \text{Ba}^2 + 0,0000065 \times \text{Ba}^3$	Schroth et al. 2002	Amazonia	2-12
Caucho	<i>Hevea Brasiliensis</i>	$\text{Biomass} = -3,84 + 0,528 \times \text{Ba} + 0,001 \times \text{Ba}^2$	Schroth et al. 2002	Amazonia	6-20
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	$\text{Biomass} = -6,64 + 0,279 \times \text{Ba} + 0,000514 \times \text{Ba}^2$	Schroth et al. 2002	Amazonia	8-17
Castaña	<i>Bertholletia Excels</i>	$\text{Biomass} = -18,1 + 0,663 \times \text{Ba} - 0,000384 \times \text{Ba}^2$	Schroth et al. 2002	Amazonia	8-26

Fuente: Pearson et al., 2005.

Biomasa arbórea viva

Como se manifestó anteriormente, para estimar la biomasa total se utilizan ecuaciones alométricas de preferencia de acuerdo con la situación local (clima, ecosistema, especie y diámetro). Para estimar el C almacenado en la biomasa arbórea viva (BAV), como primer punto se realiza la identificación de las especies evaluadas, utilizando bibliografía local, reportes de inventarios realizados en la zona, y para obtener la escritura correcta de los nombres

científicos y familias se utiliza la base de datos trópicos del Missouri Botanical Garden.

Luego se obtiene la densidad de la madera para todos los individuos muestreados a nivel de género y especie, en Global Wood Density Data Base generado por Zanne et al. (2009) y para las especies no reconocidas se toma el promedio de densidad de especies para zonas tropicales, estimada en 0,64g/cm³. Luego se calcula la altura estimada de los individuos utilizando una



ecuación relacionada al diámetro, tal como lo recomienda Honorio (2009).

$$H = 11,312 \times \ln(\text{DAP}) - 12,344$$

Obteniendo las variables paramétricas de altura, densidad de la madera y diámetro evaluado, podemos utilizar una ecuación alométrica que se acople a las características de sitio, según nuestro lugar muestreado. Por ejemplo la ecuación generada por Chave *et al.* (2005), tiene un alto coeficiente de determinación (R^2), su lógica biológica y las variables predictorias más importantes de la biomasa aérea de un árbol semejantes a un bosque tropical, y un nivel de precipitación de 1 500 – 3 500mm/año.

$$Y = \exp(-2,977 + \ln(\rho \times D^2 \times H))$$

Para el cálculo de la biomasa de los arbustos menores de 5cm de diámetro ubicados en bosques y pastizales se tiene la ecuación alométrica generada por Nascimento y Laurance (2002). Esta ecuación considera el DAP como variable y muestra un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0,95$) y bajo índice de sesgo (0,9 %).

$$Y = \exp(-1,7689 + 2,3770 \times \ln(D))$$

Con respecto a la biomasa de lianas y bejucos existe la ecuación generada por (Putz, 1983), donde utilizaron los datos de 17 individuos de cosecha destructivas llevadas a cabo en el Neotrópico, Río Negro de la Cuenca de Venezuela.

$$B = \exp[0,12 + 0,91 \times \ln(D)]$$

7. Cálculo de la Biomasa vegetal y Carbono

7.1. Cálculo de la Biomasa y Carbono arbóreo

Para la biomasa arbórea, son varios los modelos diseñados para estimar los volúmenes de biomasa arbórea, todos indirectamente, por inferencia de sus principales medidas biométricas, generalmente altura, DAP y densidad de la madera de la especie arbórea (en casos específicos ver modelos de ecuaciones alométricas).

Por otro lado, para calcular la cantidad de biomasa por hectárea, se suma la biomasa de todos los árboles medidos y registrados en la parcela (Rugnitz *et al.*, 2009) y luego esta se traslapa a una hectárea.

$$B_A = \left(\sum_{AU} / 1000 \right) * (10000 / \text{área de la parcela})$$

Donde:

- B_A = Biomasa arbórea sobre el suelo (t/ha).
- \sum_{AU} = Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (k/área de la parcela).
- Factor 1000 = Conversión de las unidades de la muestra de k a t.
- Factor 10000 = Conversión del área (m^2) de hectárea.

Para el cálculo del Carbono en la biomasa aérea por hectárea, se utiliza lo siguiente:

$$AC_{BA} = (B_A * CF)$$

Donde:

- AC_{BA} = Cantidad de C en la biomasa sobre el suelo (tC/ha).
- B_A = Biomasa arbórea sobre el suelo (t/ha).
- CF = Fracción de C, valor estándar del IPCC es 0,5.

7.2. Cálculo de la Biomasa y Carbono en la vegetación arbustiva - herbácea

Para el cálculo de la biomasa o materia seca de la muestra, se utiliza la siguiente fórmula:

$$MS = \left(\frac{PS}{PF} \right) \times \text{PFT}$$

Donde:

- MS = Materia seca de la muestra o biomasa ($g/2m^2$).
- PS = Peso ó materia seca de la sub-muestra llevada para la determinación del porcentaje de humedad.
- PF = Peso ó materia fresca de la sub-muestra llevada para la determinación del porcentaje de humedad.
- PFT = Peso ó materia fresca total de la muestra ($g/2m^2$).



Para el cálculo del porcentaje de C de la muestra seca, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% MO = \left(\frac{PS - PC_z}{PS} \right) \times 100$$

Porcentaje de materia orgánica

Donde:

%MO = Porcentaje de materia orgánica.

Ps = Peso seco de la muestra (g).

PCz = Peso de ceniza (g).

Porcentaje de Carbono

$$\% C = \frac{\% MO}{2,22}$$

Donde:

%C = Porcentaje de C en la muestra.

Carbono en la muestra

$$C = MX \times \% C$$

Donde:

C = C almacenado (g).

MS = Materia seca o peso seco total de la muestra (g).

Para calcular la cantidad de C en la biomasa de la vegetación no arbórea por hectárea, se parte de calcular a partir del tamaño del marco (2m²), convirtiendo las unidades de la muestra de gC a tC (dividiendo entre 1 000 000).

$$\Delta C_{BN} (tC / ha) = (10\ 000\ m^2 / 2\ m^2) \times (XM / 1\ 000\ 000)$$

Donde:

ΔC_{BN} = Cantidad de C en la biomasa de vegetación no arbórea (tC/ha).

XM = Promedio de la cantidad de C de todas las muestras (gC/2m²).

Factor 1000000 = Conversión de las unidades de masa en gramos a toneladas.

Factor 10000 = Conversión del área de m² a hectárea.

Hojarasca y detritos

7.3. Cálculo de Biomasa y Carbono en hojarasca y madera muerta

Para el cálculo de la biomasa y C en la hojarasca

y detritos se siguió los mismos pasos utilizados anteriormente en la evaluación de la biomasa arbustiva -herbácea.

Madera muerta

a) Para calcular la biomasa de los árboles muertos en pie, se utiliza el siguiente modelo: (Brown, 1997)

$$BAM = 0,1184\ Dap^{2,53}$$

Donde:

BAM = Biomasa árboles muertos en pie

0,1184 = Constante

Dap = Diámetro a la altura del pecho (cm)

2,53 = Constante

b) Para árboles caídos muertos, troncos y ramas

Luego se calcula la biomasa de cada individuo en (k/tronco) con la siguiente ecuación según Maser *et al.* (2000) y Rognitz *et al.* (2009):

$$BT = (0,7854 \times D^2) \times L \times S \quad (14)$$

Donde:

BT = Biomasa de la madera muerta (k).

D = Diámetro (cm).

L = Longitud (cm).

S = Densidad de la madera (g/cm³).

Asimismo Chao *et al.*, (2008); Chao y Baker (2009) mencionan que las densidades se deben obtener mediante las siguientes fórmulas:

$$\rho d 1 = 1,17 [\rho BA j] - 0,21 \quad (15)$$

$$\rho d 2 = 1,17 [\rho BA j] - 0,31 \quad (16)$$

Donde:

$\rho d 1$: Densidad en deterioro de la clasificación sólida o dura (g/cm³).

$\rho d 2$: Densidad en deterioro de la clasificación intermedia (g/cm³).

$\rho BA j$: Densidad de la madera de árboles vivos (g/cm³).

Para la clasificación de deterioro, se utiliza el valor medio de la densidad por detritus en "clase de deterioro de árboles" de estudios publicados de bosques neotropicales húmedos de las tierras bajas (0,29 g/cm³) como lo sugiere Chao *et al.* (2008).



Luego se calcula el contenido de C multiplicando la fracción de C, de 0,5 según IPCC (2003) a la biomasa (k) de cada individuo evaluado, obteniendo la cantidad total de carbono en el transecto de 2 000 m², para convertirlo a t/ha.

7.4. Cálculo del stocks de Carbono en raíces finas y suelo

a) Cálculo de la densidad aparente del suelo

$$DA = PSN/VC$$

Donde:

DA	=	Densidad aparente
PSN	=	Peso seco neto del suelo
VC	=	Volumen cilíndrico (constante)

b) Cálculo del volumen del suelo

$$Vs = DD+Ps*10\ 000$$

Donde:

Vs	=	Volumen de suelo
DA	=	Densidad aparente
Ps	=	Profundidad aparente
10 000	=	Constante

c) Cálculo del carbono en el suelo

$$CS = Vs * Cl$$

Donde:

CS	=	C en el suelo
Vs	=	Volumen de suelo
Cl	=	C dado por el laboratorio

Finalmente para determinar el Carbono total almacenado en el sistema evaluado para cada uno de los depósitos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta C_{\text{proyecto}} = \sum \Delta C \text{ depósitos} \quad (17)$$

Donde:

ΔC proyecto	=	Cantidad de C total del área de proyecto definido (tC).
$\sum \Delta C$ depósitos	=	Sumatoria de la cantidad de C total de todos los depósitos en los sistemas de uso de tierra medidos (tC).

Finalmente para calcular el C total de un determinado sistema de uso de tierra, simplemente se debe sumar todos los depósitos medidos.

$$\Delta C_{\text{depósitos}} = (\Delta CA + \Delta CAH + \Delta CM + \Delta CRF + \Delta CS) * \text{área del estudio} \quad (18)$$

Donde:

$\Delta C_{\text{depósitos}}$	=	Cantidad de C de un determinado SUT (tC).
Área del estudio	=	En hectáreas (ha)

Donde los sub índices se refieren a:

CA	=	Carbono almacenado en el depósito arbóreo (tC/ha)
CAH	=	Carbono contenido en el depósito arbustivo - herbáceo (tC/ha)
CM	=	Carbono contenido en el depósito Hojarasca y madera muerta (tC/ha)
CRF	=	Carbono contenido en el depósito raíces finas (tC/ha)
CS	=	Carbono contenido en el depósito suelo (tC/ha)

Cálculo del carbono equivalente (CO_{2e})

Como ya fue presentado, las reducciones de emisiones resultantes de la actividad de proyectos forestales son contabilizadas en forma de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE's) y negociadas en mercados internacionales de carbono. Un CRE corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), calculada en base al potencial de calentamiento global de este gas.

Una tonelada de C equivale a 3,67 toneladas de CO_{2e} (obtenido en razón de los pesos moleculares 44/12). Para saber la cantidad de CO_{2e} emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito se debe multiplicar esta por 3,67.

Por ejemplo, si un proyecto que almacene anualmente unas 15 tC/ha, podrá negociar en el mercado el equivalente a 55 CRE's por hectárea por año (55tCO_{2e}/ha/año) (Rugnitz *et al.*, 2009).



Revisión Bibliográfica

- Brown, S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. Winrock International for the World Bank. Arlington, Virginia, E.U.A. 11 p. 10dic2010: <http://www.winrock.org/ecosystems/>.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of Tropical Forest. Departament of Natural Resources and Enviromental Sciences University of Illinois, Illinois USA. 100.
- Brown, S. e Iverson, R. 1992. Biomass estimates for tropical forests world resource review. 4(3):366-383.
- Brown, S.; Gillespe, A. y Lugo, E. 1989. Biomass estimation for tropical forests with application to forest inventory data. Forest Science 35(4):881-902.
- Cuellar, J.; Salazar, E. y 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. Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. Lima Perú. 133 p.
- Cuellar, E. 2014. Efecto del cambio de uso del bosque tropical en la biomasa y el carbono almacenado, cuenca de Aguaytía, Perú. Trabajo de titulación (Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible). Lima. Universidad Nacional Federico Villarreal. 2014. 148 p.
- Chao, K. y Baker, T. 2009. Manual para mediciones de detritus de madera gruesa en parcelas, proyecto RAINFOR.
- Chao, K.; Phillips, O. y Baker, T. 2008. Wood density and stocks of coarse woody debris in a northwestern Amazonian landscape. Canadian Journal of Forest Research 38: 795-805.
- Chao, K. y Phillips, O. 2005. Manual de campo para censos sobre el tipo de mortandad de árboles, Proyecto; PAN AMAZONIA, Sixth Framework Programme (2002-2006).
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, A.; Chambers, Q.; Emaus, D.; Fölster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, P.; Nelson, W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Rié Ra, B.; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbón stocks and balance in tropical forests. Ecosystem Ecology. No. 145:87-99.
- Delaney, M; Brown, S; Lugo, AE; Torres-Lezama, A; Bello Quintero, N. 1997. The distribution of organic carbon in major components of forest located in five zones of Venezuela. Journal of Tropical Ecology 13:697-708.
- Díaz, R.; Acosta, M.; Carrillo, F.; Buendía, E.; Flores, E. y Etchevers, J. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en Pinus patula SCHL. ET CHAM. Madera y Bosques, Primavera, 2007, Vol. 13, Num. 001. P 25-34.
- Emmer, I. 2007. Manual de contabilidad de carbono y diseño de proyectos. Proyecto Encofor. Quito, Ecuador. 22 p. 20jun2010: http://www.joanneum.at/encofor/tools/tool-demonstration_sp/prefeasibility.htm.
- Frangi, J. y Lugo, A. 1985. Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. Ecological Monographs 55:351-369.
- Honorio, E. 2009. Uso de las ecuaciones alométricas y el efecto de las variables en la estimación de la biomasa. Taller de análisis estadístico para apoyar el diseño de los inventarios de carbono, Iquitos, 15 al 17 de mayo del 2009.



- Kraenzel, M.; Castillo, A.; Moore, T.; Potvin, C. 2003. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *Forest Ecology and Management*. 173(1): 213-225.
- LULUCF. 2003. El mercado de carbono en América Latina y El Caribe: Balance y Perspectivas. <https://books.google.com.pe>
- Martínez-Yrizar, A.; Sarukhán, J.; Pérez-Jiménez, A.; Rincón, E. y Maass, M. 1992. Above-ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 8: 87-96
- Masera, O.; De Jong, B. y Ricalde, I. 2000. Consolidación de la oficina mexicana para la mitigación de gases de efecto invernadero. Reporte Final: Instituto de ecología UNAM y ECOSUR, México.
- Nascimento, H. y Laurance, W. 2002. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. *Forest Ecol Manag* 168(1-3):311-321.
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). 2003. Guía de buenas prácticas del uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (GBP UTCUTS). Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del protocolo de kyoto. Capítulo 4. 132 p. 26may2010: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf-languages.html>.
- Pearson, H.; Walker, S. y Brown, S. 2005. Sourcebook for land use, Land-use change and forestry projects. Biocarbon fund. Winrock Internacional. 64 p.
- Pérez, D. y Kanninen, M. 2003. Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 15(1): 199-213: 1-9.
- Pérez, D. y Kanninen, M. 2002. Wood specific gravity and aboveground biomass of *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology Management* 165(1-3).
- Putz, F. 1983. Liana biomass and leaf area of a tierra firme forest in the Rio Negro basin, Venezuela. *Biotropica*, 15, 185–189.
- Ritson, P. y Sochacki, S. 2003. Measurement and prediction of biomass and carbon content of *Pinus pinaster* trees in farm forestry plantation, South – Western Australia. *Forest Ecology and Management* 175(2003) 103-117.
- Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 106 p.
- Rugnitz, M.; Chacón, L. y Porro, R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 92 p.
- Senelwa, K. y Sims, H. 1998. Tree biomass equations for short rotation *Eucalyptus* grown in New Zealand. *Biomass Bioenergy* 13:133–140
- Schroth, G.; D'Angelo, A.; Geraldles, S.; Teixeira, W.; Haag, D. y Lieberei, R. 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass litter and soil carbon stocks after 7 years. *Forest Ecol. Manage.* 163, 131–150.
- Veldkamp, E.; Becker, A.; Schwendenmann, L.; Clark, D.; Schulte-Bisping, H. 2003. Substantial labile carbon stocks and microbial activity in deeply weathered soils below a tropical wet forest. *Global Change Biology* 9, 1171–1184.
- Vieira, S.; Alvez, L.; Aidar, M.; Auaujo, L.; Baker, T.; Batista, J.; Campos, M.; Camargo, P.; Chave, J.; Delitti, W.; Higuchi, N.; Honorio, E.; Joly, C.; Keller, M.; Martelli, L.; De Mattos, E.; Metzker, T.; Phillips, O.; Santos, F.; Shimabukuro, M.; Silveira, M. y Trumbore, S. 2008. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotrop.* 8(2). 20may2011: <http://www.biotaneotropica.org.br>.
- Winrock Internacional. 1999. Effect of inventory precision and variance on the estimated number of simple plots and inventory variable cost: The Noel kempff mercado climate action Project. 03mar2010: http://www.winrock.org/ecosystems/files/Effect_of_INventory_Precision_and_Variance.pdf.



- Zanne, A.; López-González, G.; Coomes, D.; Ilic, J.; Jansen, S.; Lewis, S.; Miller, R.; Swenson, N.; Wiemann, M. y Chave, J. 2009. Base de datos mundial de densidad de maderas. 20may2011: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.
- Zapata, M.; Colorado, J. y Del Valle, I. 2003. Ecuaciones de biomasa aérea para bosques intervenidos y secundarios. In Orrego, SA; Del Valle, JI; Moreno, FH. eds. Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia, contribuciones para la mitigación del cambio climático. Bogotá, CO, Universidad Nacional de Colombia-Centro Andino para la Economía del Medio Ambiente (CAEMA). p. 87-120.



Anexo

MATERIALES Y EQUIPOS PARA EVALUAR EL CARBONO TOTAL

Equipos

- GPS (1)
- Brújula (1)
- Hipsómetro (1)
- Balanzas de 1,5 y 50k de capacidad (1 c/u)
- Cámara fotográfica digital
- Barreno muestreador de suelos

Materiales

- Soga nylon de 100m
- Wincha de 100 y 50m (1 c/u)
- wincha de 3m (1)
- Forcípula (1)
- Cinta diamétrica (2)
- Tijera de podar (3)
- Serrucho de podar (3)
- Rastrillo pequeño (4)
- Pala recta (2)
- Picos (2)
- Machetes (4)
- Cuchillos (2)
- Cilindros Uhlands
- Rafia (12 ovillos)
- Plumón indeleble punta gruesa y delgada (12)
- Bolsas de papel N° 20, 12, 8, 6, (1000 c/u)
- Costales de polietileno de 50k (5 doc)
- Marco de madera de 1m x 1m
- Marco de madera de 0,5 x 0,5m
- Lapiceros, lápices (1 doc.)
- Tableros de campo (6)
- Libretas de campo (6)
- Materiales de oficina y cómputo
- Etiquetas adhesivas
- Bolsas de muestreo de 5k a 100g
- Martillo de goma
- Bandejas de polietileno (3)
- Pilas AA recargables
- Plástico doble de 5x4m
- Cinta flaggin
- Formatos de evaluación

MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA TOMA DE DATOS DE CAMPO

MATERIAL CARTOGRÁFICO

- Mapas temáticos; suelos, fisiografía, bosques, uso del suelo
- Carta Nacional
- Imagen satelital

MATERIAL PARA EVALUACIÓN DE BIOMASA AÉREA

- Balanza manual tipo roma de 5 y 10k
- Bolsas de papel número 20
- Bolsas plásticas de 5k
- Cinta diamétrica de 5 y 10m
- Forcípula de 30 y 60cm
- Costales de polietileno de 50k
- Cuadrante de madera de 1x1m
- Libreta de campo
- Machetes
- Tijera podadora de mano
- Serrucho
- Plumón indeleble
- Cinta Masking Tape
- Etiquetas
- Tijera de podar
- Wincha de 30 y 50m
- Formatos para registro de campo y evaluación
- Wincha de bolsillo de 5m
- Plástico de polietileno
- Vernier
- GPS (Sistema de Posición Geográfica)
- Cámara fotográfica digital
- Hipsómetro
- Brújula

MATERIAL PARA EVALUACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO

- Wincha de 30 y 50m
- Wincha de bolsillo de 5m
- GPS
- Cámara fotográfica digital
- 2 Palas
- Barrenos
- 2 Machetes
- 2 Picos
- Cuchillos
- Tijeras de podar
- Soga de nylon
- Bolsas de polietileno
- Bandejas de plástico
- Bolsas de papel
- Pinzas

MATERIAL DE LABORATORIO

- Balanza analítica de 10k
- Bolsas de papel N° 12, 8, 6
- Estufa
- Mufla
- Crisol de 5g (10)
- Molino de hojas



CAPITULO 3

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA DEL BOSQUE AMAZONICO

*Por: José Eloy Cuellar Bautista
Evelin Judith Salazar Hinostraza
Karen Rosita Fernández Ruíz*

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo se realizó en la cuenca del Aguaytía, región Ucayali, tuvo como objetivo medir el efecto del cambio del uso del suelo en la biomasa y el carbono almacenado, para ello se formaron clústeres con los seis principales tipos de uso de la tierra, simulando una sucesión a partir de un Bosque Primario Remanente BPR, se utilizaron metodologías establecidas por el IPCC para la biomasa aérea y de la Universidad de Gottingen para evaluaciones bajo el suelo. En la biomasa aérea, se encontró diferencias muy significativas entre el BPR con los demás sistemas evaluados, reportando 314,7 t/ha para el BPR, 104,4 t/ha para Purma Alta, 45,1 t/ha para Purma Baja, 44,3 t/ha para Pastizal, 35,6 t/ha para Cultivos y 33,9 t/ha para Palma Aceitera. En el almacenamiento de Carbono, se evidencia diferencias significativas en las cantidades almacenadas por los diferentes sistemas de uso de tierra; los BPR reportan 307,4 tC/ha, Purma Alta 149,85 tC/ha, Palma Aceitera 142,3 tC/ha, Pastizal 96,1 tC/ha, Purma Baja 93,5 tC/ha y Cultivos 90,5 tC/ha. Se evidencia una disminución de la biomasa y de la capacidad para almacenar carbono en palma aceitera, debido principalmente al tipo de manejo agronómico. En Pastizales, es mayor que en palma aceitera, debido al crecimiento de árboles y los troncos caídos de los grandes árboles que aún continúan en el lugar. En el análisis de depósitos de carbono se evidencia pérdidas significativas en el depósito arbóreo, igual situación sucede con hojarasca y madera muerta, mientras que se evidencia diferencias significativas mínimas en los depósitos arbustivo herbáceo y raíces finas, el carbono en el suelo mantiene un comportamiento similar salvo las plantaciones de palma aceitera. Lo cual demuestra que el bosque tropical está perdiendo la capacidad para regenerar y de volver a su estado fisiográfico natural, luego de intervenciones severas.



Objetivo

Determinar el patrón de cambios en la biomasa y carbono que se produce por el cambio de uso del bosque mediante evaluaciones destructivas y no destructivas para comprender la dinámica del carbono en el ecosistema.

La Cuenca del Aguaytía

La cuenca del río Aguaytía, es una de las zonas económicas más importantes de la Amazonia Peruana, está ubicada en las Provincias de Padre Abad y Coronel Portillo en la parte norte de la Región Ucayali (Fig. 29). Esta cuenca que cubre una superficie aproximada de 1 762 086 ha, equivalente al 17,2% de la región (10 241 055 ha), se extiende hacia el sudoeste de la ciudad de Pucallpa, capital de la Región. Su territorio ocupa mayormente la Selva Baja del Perú y se halla recorrida por una extensa red hidrográfica formada por los ríos Ucayali, Aguaytía y sus respectivos tributarios. El eje central de la cuenca lo constituye la carretera Federico Basadre, entre Pucallpa y el Boquerón del Padre Abad, y es complementada por los ríos Aguaytía y un sector del Ucayali.



Figura 28. La Palma Aceitera es una actividad económica importante.

Ubicación política y geográfica

El presente estudio se ubica en la parte media de la cuenca de Aguaytía, en la zona comprendida entre los distritos de Curimaná e Irazola (provincia de Padre Abad) y Campo Verde (Provincia de Coronel Portillo), en la región de Ucayali. Geográficamente se enmarca entre los paralelos de 8°24' a 8°36' de

latitud sur y los meridianos de 74°57' a 75°09' de longitud oeste. La altitud sobre el nivel del mar es de aproximadamente 100 a 2 000 msnm. (IIAP, 2003; GOREU, 2012).

Región	: Ucayali
Provincias	: Coronel Portillo y Aguaytía.
Distrito	: Campo verde, Irazola y Curimaná.
Área de Estudio	: Cuenca del Aguaytía
Zona	: Campo Verde, Neshuya – Curimaná Alexander von Humboldt.

Aspecto biofísico

La temperatura media anual en la cuenca es 24,9°C. La precipitación anual promedio es de 4 471mm con una estación lluviosa (diciembre-febrero) y una estación de poca precipitación (julio-agosto) (SENAMHI¹, 2001). La cuenca del Aguaytía cubre dos unidades biofísicas bien definidas (IIAP, 2003):

1. La Cordillera Subandina o “cordillera azul” como se le denomina localmente (500 - 1 800 msnm), es el área ubicada en el margen oeste de la cuenca. Es una zona de fuertes pendientes e intensa precipitación (por encima de 4 000mm anuales) la que está compuesta de una vegetación predominantemente achaparrada y densa en las cimas y pendientes, y con presencia de árboles de gran porte en las zonas de depresión. Esta área presenta suelos predominantemente ácidos y de baja fertilidad natural.
2. La Llanura del Ucayali es el área más extensa y predominantemente plana de la cuenca. Es una zona de relieve suave ondulado donde se exponen planicies fluvio-aluviales, además de lomadas y sistemas colinosos, con una precipitación que oscila entre 1 500 a 3 000 mm anuales, y con una exuberante vegetación. Esta zona presenta suelos de mayor fertilidad en la zona aluvial inundable.

¹ Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología.

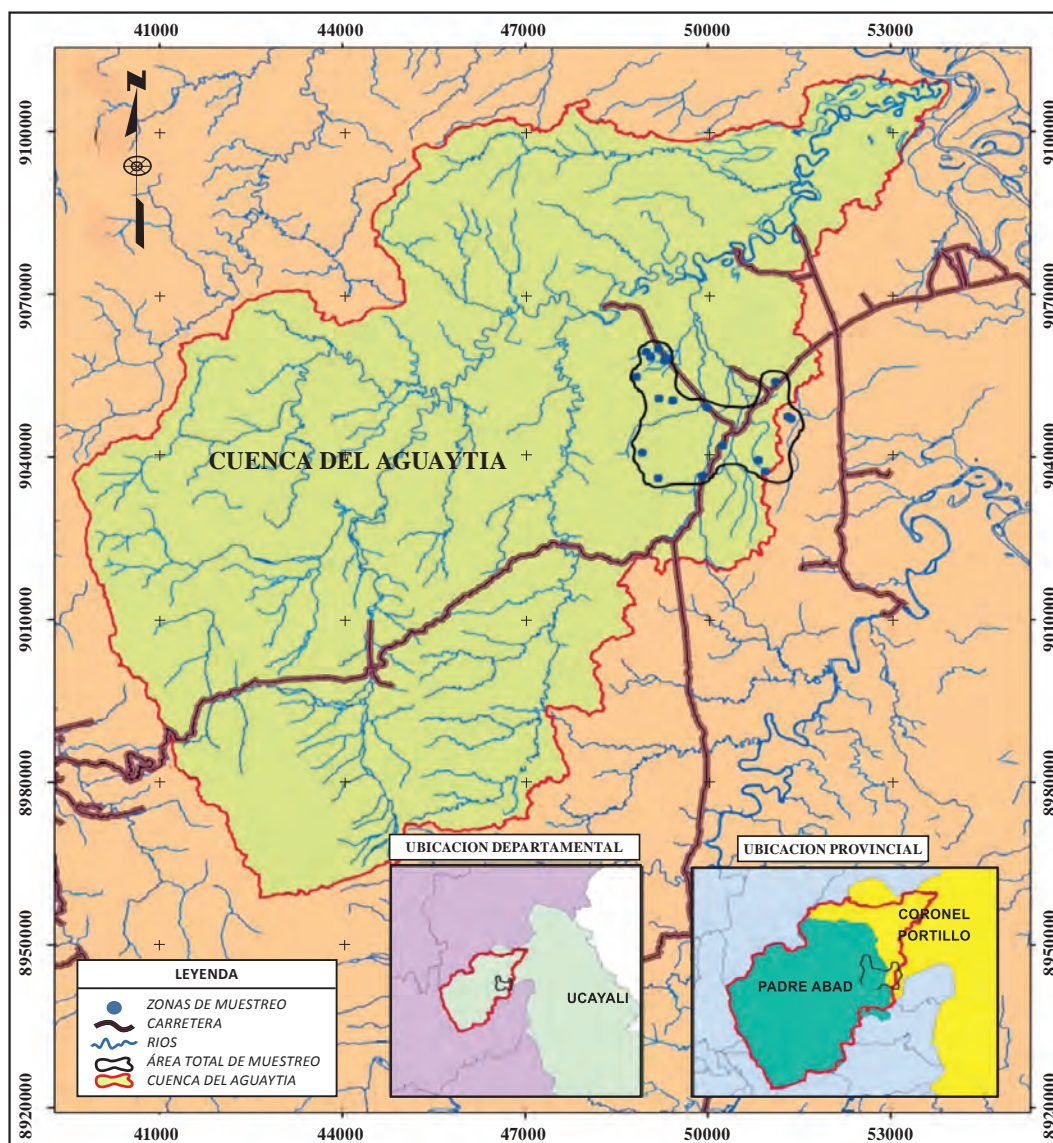


Figura 29. Ubicación del área de evaluación dentro de la cuenca del Aguaytía.
Fuente: Salazar, 2012.

Esta diferencia altitudinal en tan poca longitud, tiene mucha importancia en el paisaje, las zonas norte y oeste de la cuenca (en la parte montañosa), presentan una alta diversidad biológica e importantes endemismos. De igual manera estas áreas que conforman las cabeceras de la cuenca del Aguaytía y de sus principales afluentes de origen andino son importantes, ya que su protección asegura los procesos ecológicos de toda la cuenca, particularmente para el mantenimiento del ciclo hidrológico (IIAP, 2003).

Aspecto Socio-económico

Demografía

La población asentada en la cuenca está conformada mayormente por colonos que vinieron de otras partes de la Amazonia y del país; también habitan grupos indígenas pertenecientes a las etnias Cashibo-Cacataibo, Conibo y Shipibo que están asentadas en varias comunidades nativas (Municipalidad Provincial de Padre Abad, 2008²; Sociedad Peruana de Ecodesarrollo SDPE, 2006).

² Las comunidades nativas más importantes son: Nueva Esperanza y Mariscal Cáceres ubicadas sobre el río Aguaytía, Sinchi Roca, Puerto Nuevo, Miraflores y Miguel Grau sobre el río San Alejandro (Municipalidad Provincial de Padre Abad, 2008).



La cuenca del Aguaytía, una de las zonas de mayor importancia económica en la región Ucayali, además tiene una población de más de 360 000 habitantes representando (82,3% de la población departamental y algo más del 10% de la población de la Amazonía Peruana) (IIAP, 2003; INEI, 2008; INEI, 2009). Desde la década del 40, esta área ha sufrido cambios rápidos y radicales debidos principalmente a la construcción de la carretera Federico Basadre (que une la ciudad de Pucallpa³ con la ciudad de Lima). Según el último censo nacional de población del 2007, el departamento de Ucayali fue el segundo departamento en el Perú con el mayor crecimiento poblacional (34%) con respecto a 1993.



Figura 30. Lovema de Barbechos en masas boscosas.

Actividades económicas

En la cuenca del Aguaytía se combinan diferentes actividades extractivas, las cuales se realizan bajo diferentes intensidades. Estas actividades incluyen la agricultura, la ganadería, la actividad forestal y la pesca. Además de las actividades mencionadas, desde 1998 se inició la explotación de gas del lote 31C, así como la explotación de oro a nivel artesanal (IIAP, 2003). La producción agrícola es diversa, sin embargo la mayoría de cultivos son destinados al autoconsumo y para satisfacer la demanda local. Entre los principales cultivos de importancia económica se encuentran la palma aceitera, el café, el cacao, el plátano, el camu-camu, el maíz amarillo, la yuca y la papaya (Municipalidad provincial Padre Abad MPPA, 2008).

Uso de la tierra



Figura 31. Apertura de Barbechos en masas boscosas.

El uso de la tierra involucra cambios en el tiempo y en el espacio. En Ucayali mientras que la agricultura se ha expandido en las zonas ribereñas, los sistemas de uso de la tierra cercanos a las carreteras han cambiado más rápidamente (White *et al.*, 2005). Un estudio de 220 parcelas agrícolas en bosques de los alrededores de la ciudad de Pucallpa mostró que durante los primeros 10 años el principal cambio consiste en la conversión de bosque primario en barbecho y/o bosque secundario. Los agricultores talan y queman el bosque primario para sembrar cultivos anuales, los que cultivan por 1 ó 2 años para luego dejarlo en barbecho y regenerarse como bosque secundario. Durante los cinco primeros años también se da la producción de cultivos permanentes, pero después de este período ésta declina. Luego; después de 10 años, el principal cambio de uso consiste en una disminución continua de la cubierta del bosque primario y un incremento notable en el área de pastos; es decir, hay una conversión continua del bosque primario en bosque secundario en el contexto de producción de cultivos anuales y una conversión de bosques secundarios en pastos. Luego al año 25 la producción de cultivos anuales disminuye a medida que los agricultores dedican más tiempo a la ganadería (Yanggen, 2000). En estudios realizados por el IIAP en el año 1995, en convenio con el Comité de Reforestación de Pucallpa, identificaron las siguientes coberturas y usos de la tierra para la cuenca del Aguaytía (IIAP, 2003):

³ Esta ubicado en el distrito de Calleria y es la Capital de la región Ucayali.



Cuadro 15. Usos de la tierra en la Cuenca de Aguaytía

Uso de la tierra	Porcentaje (%)
Bosque natural	76,9
Bosque secundario	2,3
Purmas jóvenes	9,6
Áreas agrícolas	5,7
Pastos	2,5
Islas	0,3
Cuerpos de agua	2,5
Centros poblados	0,2

Fuente: IIAP, 1995 citado por IIAP, 2003.

A mediados de la década del 70, con la construcción de la carretera para unir las dos vías terrestres principales de la región Ucayali (la carretera marginal y la carretera Federico Basadre), se inicia un nuevo proceso migratorio, pero esta vez con colonizaciones dirigidas. Durante el período 1985-1995 se da un proceso de inestabilidad y violencia política en la región, lo cual influyó notablemente en el desarrollo del cultivo ilícito de coca en las partes más altas de la cuenca del Aguaytía. A partir de la década del 90, después de nuevas reformas estatales, empieza un nuevo período en la evolución de la deforestación en la región. Así tenemos que se da una conversión paulatina hacia bosques secundarios y pastizales, en las zonas adyacentes a las vías principales de comunicación a pesar que las mejoras de las vías de acceso fomentan la ocupación de nuevas tierras, la promoción de cultivos alternativos (como la palma africana) contrarresta en parte la pérdida de nuevas áreas boscosas en las zonas de mayor accesibilidad. Desde comienzos del 2000 hay un nuevo interés por promover la agricultura en zonas ribereñas impulsando un nuevo proceso de deforestación (Ugarte, 2009).

Sistemas evaluados en la cuenca

Bosque Primario Remanente

Son ecosistemas que conservan parte de su vegetación original, presentan dominancia de especies de dosel superior que aún mantienen su vegetación original, caracterizados por la abundancia o dominancia de árboles maduros de especies del dosel superior, pero que en

algún momento ha existido aprovechamiento selectivo de algunas especies de valor comercial. La vegetación se conforma mayormente por especies de madera dura no comercial y especies de madera suave no apta para aserrío.



Figura 32. Vista panorámica de un Bosque Primario Remanente.

Purma Alta

Consiste en masas boscosas heterogéneas y disetáneas que se encuentran en crecimiento producto de la regeneración natural, luego de un proceso de tala rasa, para efecto del estudio se va a considerar poblaciones con más de 15 años de edad.



Figura 33. Vista de un mosaico de Purma Alta.



Purma Baja

Consiste en masas boscosas heterogéneas y disetáneas que se encuentran en la etapa inicial de crecimiento producto de intervenciones, con predominancia de especies heliófitas mayormente de la regeneración natural, luego de un proceso de tala rasa, para efecto del estudio se va a considerar poblaciones con 8 a 10 años de edad.



Figura 34. Vista de árboles componentes de una Purma Baja.

Plantaciones de Palma Aceitera

Elaeis guineensis Jacq.

Área de cultivo comercial, con predominancia de esta palmera exótica, el manejo agronómico se da mediante la aplicación de una tecnología intermedia, utilizando fertilizantes como abono orgánico y dolomita, el control de las malezas se realiza mediante deshierbo manual con machetes (a lo largo del año), y tiene como característica que el agricultor trata de mantener el cultivo libre de toda vegetación alrededor de la palmera.



Figura 35. Vista de plantas de Palma Aceitera.

Pastizales

Conformado por pasto mejorado *Brachiaria decumbens* que fue instalado en un inicio y pasto natural *Paspalum conjugatum* que se instaló a medida que el pasto mejorado perdió su capacidad de cobertura, actualmente se tiene más dominancia del pasto natural, árboles muy dispersos, establecidos por regeneración natural, así mismo los agricultores aprovechan las especies forestales para sombra, leña, madera, medicina, etc.



Figura 36. Vista panorámica de Pastizales.

Cultivos Anuales

Áreas que recientemente se le ha hecho un desembosque o tala rasa, y que está siendo utilizado generalmente para la producción de productos de pan llevar, de corto periodo vegetativo. Estos tienen la característica que después del rozo, tumba y quema de un bosque primario y se instalan cultivos transitorios, en algunos casos pueden ser asociados o puros.



Figura 37. Cultivo anual de yuca en evaluación.



Cuadro 16. Distancias mínimas y máximas entre SUT de un Cluster

Clúster	Distancia entre SUT (m)		Promedio (m)
	Mínima	Máxima	
1	2 431,6	8 514,6	5 473,1
2	1 150,6	2 002,7	1 576,6
3	628,0	7 362,0	3 995,0
4	2 303,9	8 042,9	5 173,4
5	5 403,6	10 717,1	8 06,4
6	5 537,5	6 152,7	5 845,1
Promedio final			5 020,6

Fuente: Salazar, 2012.

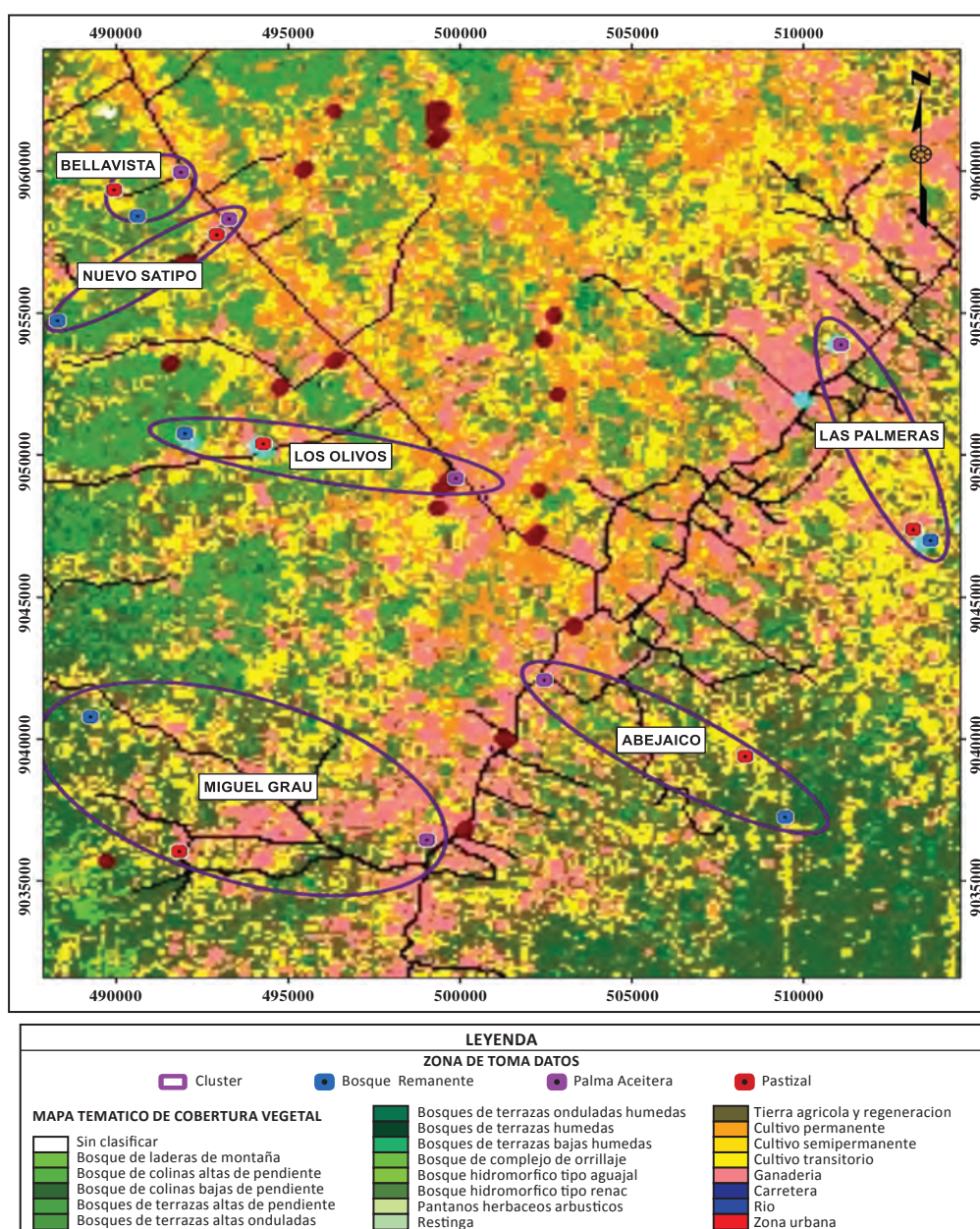


Figura 38. Establecimiento de clusters dentro del área de evaluación.

Fuente: Salazar, 2012.



Presentación de resultados

1. Biomasa total a nivel de los sistemas de uso de la tierra

1.1. Biomasa total en el SUT Bosque Primario Remanente

Para ello se han muestreado diez sectores en los cuales a pesar de que como paisaje han tenido una representación similar, en los análisis realizados a nivel de depósitos se observan diferencias significativas entre estas; en el depósito arbóreo mientras más cercanía

a poblaciones, será menor la biomasa, en el depósito arbustivo herbáceo se observa que a mayor extracción de árboles será mayor la biomasa y finalmente en el depósito hojarasca y madera muerta, se observa que a mayor conservación del bosque, mayores son los valores de biomasa en este depósito.

1.1.1. Biomasa sobre el suelo

En el bosque primario remanente (Cuadro 17 y Figura 39) se evidencia un rango de 193,6 t/ha a 507,8 t/ha de biomasa aérea y el promedio es 314,71 t/ha.

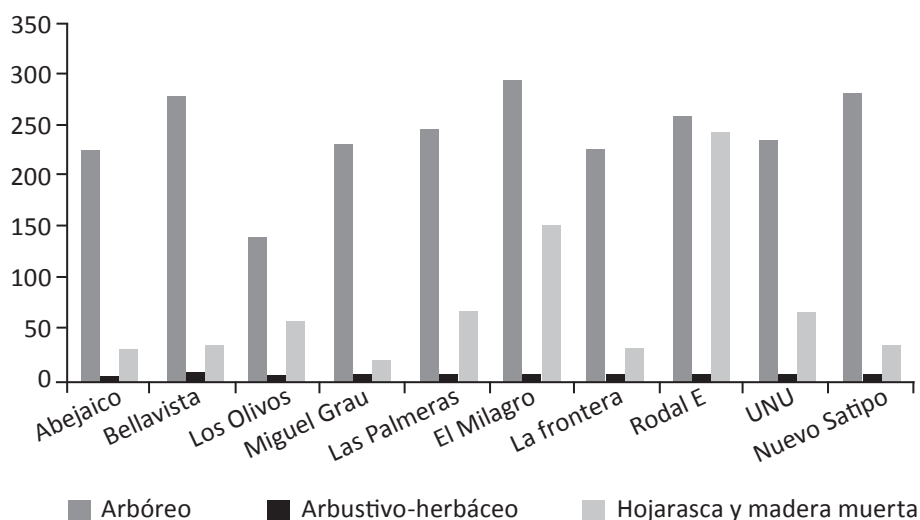


Figura 39. Biomasa aérea total en el SUT.

Cuadro 17. Biomasa aérea total del Bosque Primario Remanente

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Abejaico	Bosque R.	228,2	3,3	25,4	256,8
Bellavista	Bosque R.	275,2	3,8	26,6	305,6
Los Olivos	Bosque R.	139,7	0,4	53,5	193,6
Miguel Grau	Bosque R.	234,2	3,7	11,5	249,4
Las Palmeras	Bosque R.	248,3	4,4	66,5	319,3
El Milagro	Bosque R.	290,1	2,8	151,8	444,8
La Frontera	Bosque R.	228,2	3,3	25,4	256,8
Rodal E	Bosque R.	263,2	1,4	243,2	507,8
UNU	Bosque R.	237,4	1,0	58,1	296,5
Nuevo Satipo	Bosque R.	284,8	1,5	30,1	316,5
Promedio		238,3	2,7	73,6	314,7



Tenemos 356 individuos evaluados (Figura 40) (250 árboles, 44 arbustos, 10 lianas y 52 palmeras) distribuidos en 37 familias y 107 especies, en el componente arbóreo, las 10 familias más abundantes son; Arecaceae 14,6%, familia Fabaceae 14,3%, Myristicaceae 10,1%, Apocynaceae 4,8%, Melastomataceae y Sapotaceae 4,5%, las otras familias poseen menos 4,2% cada una. Las

especies más abundantes son; “Ungurahui” *Oenocarpus bataua*, “Shimbillo” *Inga densiflora*, “Cumala roja” *Iryanthera tessmannii*, “Caimitillo” *Pouteria speciosa*, además de “Rifari” *Miconia bubalina*, “Huasai” *Euterpe precatoria*, “Cumala blanca” *Virola elongata* y “Cumala” *Iryanthera macrophylla*.

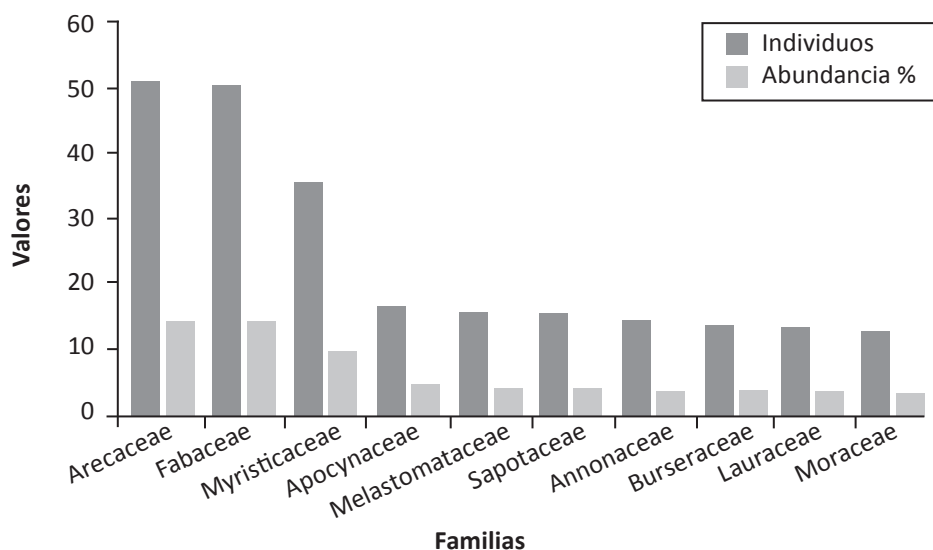


Figura 40. Abundancia de familias en la vegetación arbórea.

El componente arbustivo herbáceo (Figura 41) es muy variable: de ahí que observamos diferentes familias e índices de abundancia entre ellas; Fabaceae 10,9%, Annonaceae y Arecaceae con

8,2% cada una, Apocynaceae 5,5%, Marantaceae, Moraceae y Myristicaceae 4,1% cada una y Bignoniaceae, Costaceae y Lauraceae 2,7% cada una.

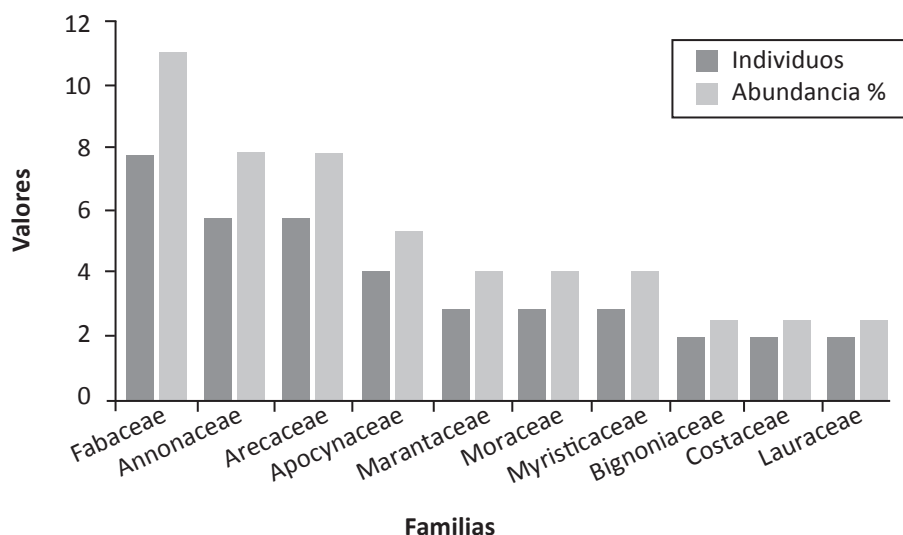


Figura 41. Abundancia de familias en la vegetación arbustiva – herbácea.



1.1.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

Cuadro 18. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades en Bosques Primarios R.

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	5,17
10-20	1,49
20-30	0,85
30-40	0,60
40-50	0,40
50-60	0,28
60-70	0,20
70-80	0,36
80-90	0,16
90-100	0,13
TOT	9,64

En el Cuadro 18 y Figura 42, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades, mostrando que en los 10cm están contenidos más del 50% de la biomasa de raíces del SUT.

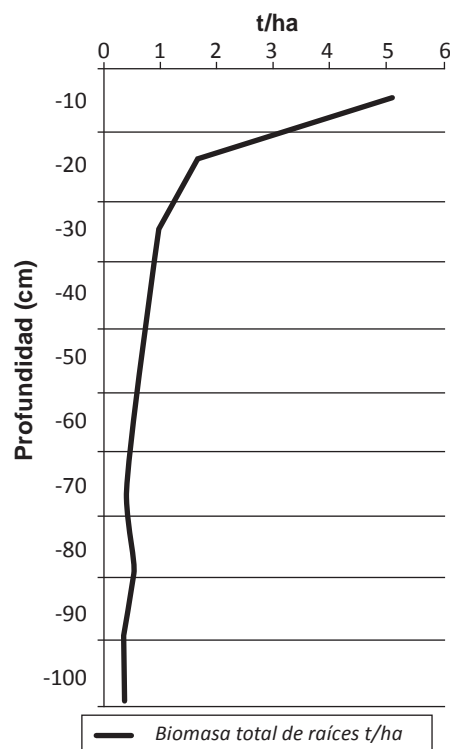


Figura 42. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades.

1.2. Biomasa total en el SUT Purma Alta

1.2.1. Biomasa sobre el suelo

La biomasa aérea total de las purmas altas se encuentran en un rango de 108,8 a 228,0 t/ha y promedio de 154,4 t/ha (Cuadro 19). Se puede observar que el depósito arbóreo representa

el 77% de la biomasa total, mientras que el depósito madera muerta y hojarasca el 21% y finalmente el depósito arbusto herbáceo el 2% de la biomasa aérea total en el SUT.

Cuadro 19. Biomasa aérea total de la Purma Alta

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
El Milagro	Purma Alta	88,2	2,3	23,3	113,8
La Frontera	Purma Alta	194,8	2,1	31,1	228,0
Los Olivos	Purma Alta	148,0	2,9	26,0	176,9
Miguel Grau	Purma Alta	144,5	1,4	18,6	164,4
Rodal – E	Purma Alta	55,8	4,3	48,6	108,8
UNU	Purma Alta	82,8	5,7	46,2	134,6
	Promedio	118,96	3,1	32,3	154,4



En cuanto a la vegetación arbórea (Figura 43), se compone de 80 individuos distribuidos en 42 familias, las más abundantes son; Fabaceae 8,8%, Arecaceae 7,5%, Annonaceae, Piperaceae

y Rubiaceae con 6,3% cada una, Malvaceae y Moraceae 5% cada una, Asteraceae, Bignoniaceae y Melastomataceae con 3 individuos y 3,8% de abundancia para cada una.

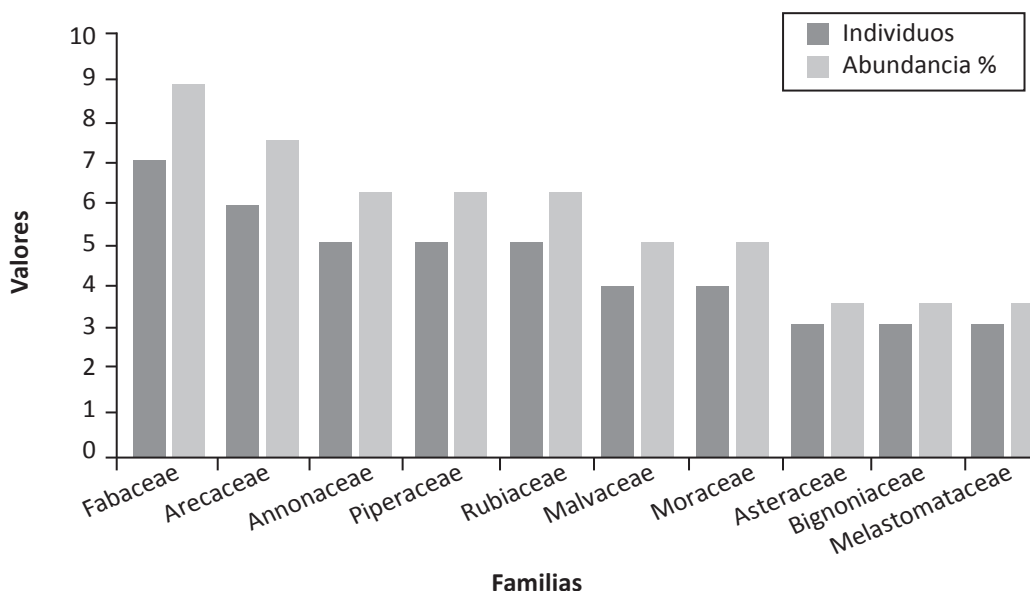


Figura 43. Abundancia de familias en la vegetación arbórea de las Purmas Altas.

Con respecto a la biomasa de la vegetación arbustiva y herbácea (Figura 44) en el SUT Purma Alta, está compuesta por 404 individuos que están distribuidos en 37 familias: Fabaceae 13,6%, Arecaceae 15,3%, Urticaceae 15,1%, Annonaceae

5,7%, Melastomataceae 5,4%, Meliaceae 5,4%, Bignoniaceae 5,2%, Malvaceae 3,5%, Myristicaceae 3,2%, las familias Euphorbiaceae y Myrtaceae 2,5% cada una.

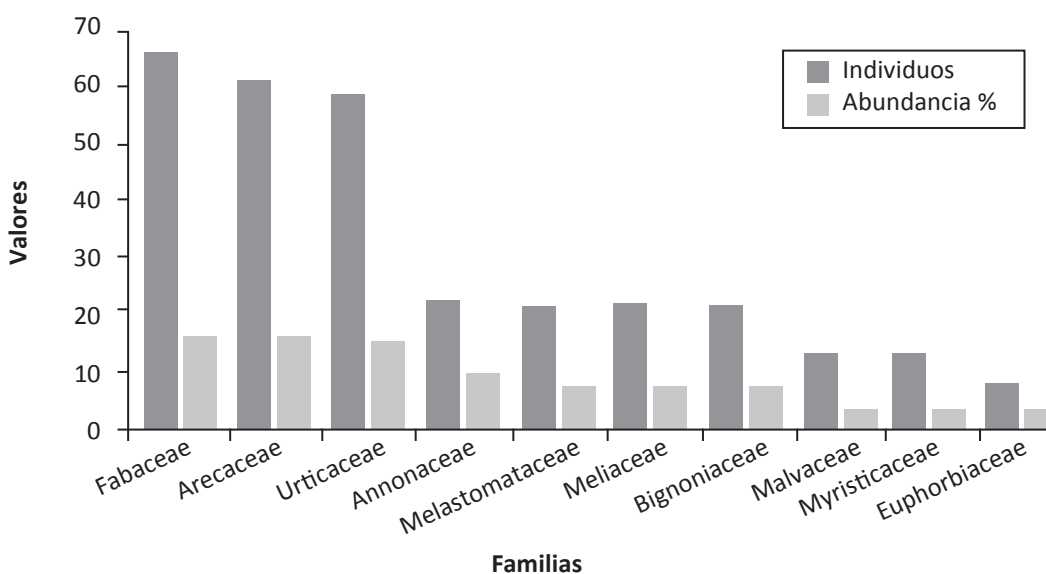


Figura 44. Abundancia de familias en la vegetación arbustiva y herbácea.



1.2.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa en las raíces finas

En el Cuadro 20 y la Figura 45, se muestra la biomasa de raíces a diferentes profundidades,

mostrando que en los primeros 10cm están contenidos más del 50% de la biomasa de raíces del SUT.

Cuadro 20. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades en Purma Alta

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	3,90
10-20	0,81
20-30	0,39
30-40	0,30
40-50	0,40
50-60	0,40
60-70	0,14
70-80	0,14
80-90	0,08
90-100	0,11
TOT	6,28

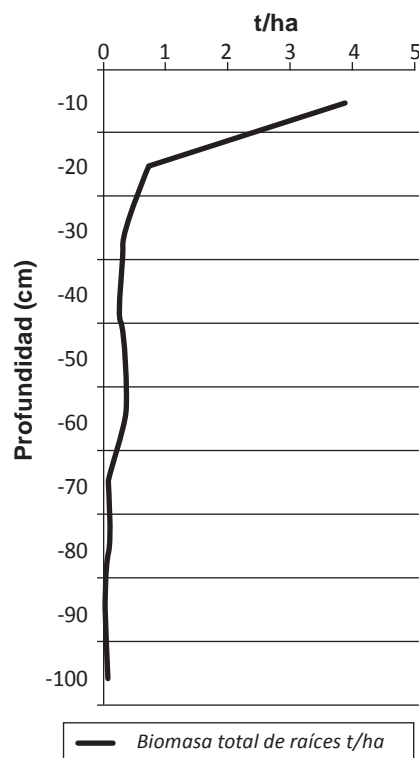


Figura 45. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades.

1.3. Biomasa total en el SUT Purma Baja

1.3.1. Biomasa sobre el suelo

La biomasa aérea total de las purmas bajas (Cuadro 21), se encuentra en un rango de 23,7 a 110,7t/ha y promedio de 45,1t/ha. Además se puede observar que a nivel de depósitos hojarasca y madera muerta representa tres veces más que el depósito arbóreo y seis veces el

depósito arbustivo herbáceo. En otras palabras el depósito hojarasca y madera muerta ocupa el 66,5% de la biomasa, el depósito arbóreo el 22% de la biomasa total y finalmente el depósito arbustivo herbáceo el 12,5% de la biomasa total contenida en el SUT.

Cuadro 21. Biomasa aérea total de las Purmas Bajas

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
El Milagro	Purma Baja	7,2	3,3	100,3	110,7
La Frontera	Purma Baja	3,4	11,5	17,4	32,4
Los Olivos	Purma Baja	11,4	3,8	18,3	33,6
Miguel Grau	Purma Baja	16,3	2,9	8,5	27,7
Rodal – E	Purma Baja	10,5	2,7	10,4	23,7
UNU	Purma Baja	11,1	6,3	25,3	42,7
Promedio		10,0	5,1	30,0	45,1



Se identificaron 147 individuos distribuidos en 13 familias (Figura 46) siendo las más abundantes Asteraceae 9,5%, Vochysiaceae 13,6%, Malvaceae

12,9%, Cannabaceae 10,2%, Urticaceae 8,2%, Bignoniaceae 4,8%, Fabaceae 3,4%, Costaceae y Arecaceae con 2% y Portulacaceae 1,4%.

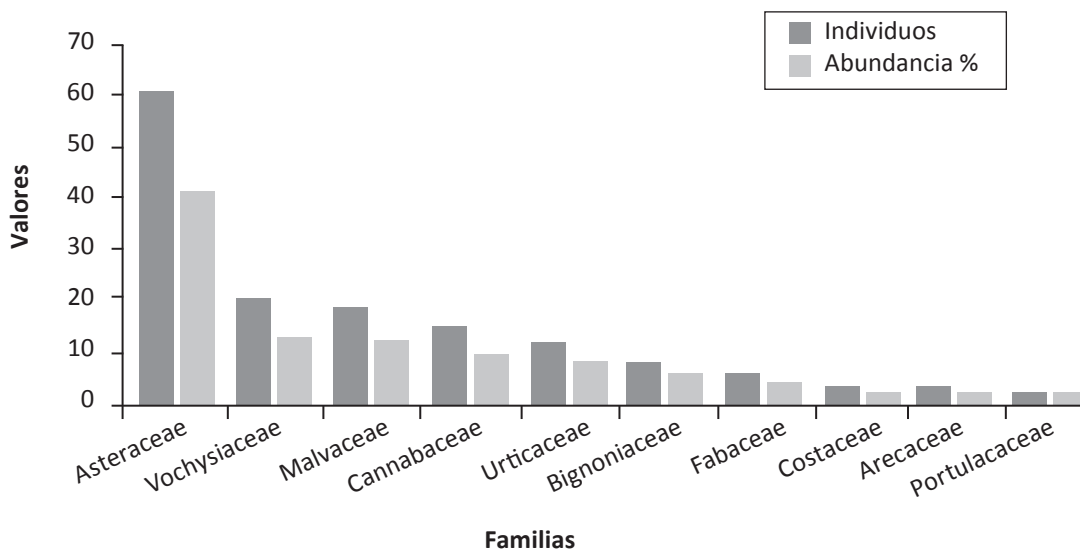


Figura 46. Abundancia de familias en la vegetación arbórea de Purma Baja.

La vegetación arbustiva y herbácea se compone de 51 individuos distribuidos en 31 familias (Figura 47), siendo las más abundantes: Poaceae 13,7%, Asteraceae 11,8%, Fabaceae 7,8%, Malvaceae

5,9%, Cyperaceae, Euphorbiaceae, Passiflorácea y Rubiaceae 3,9% cada una, Annonaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Aspleniaceae, Costaceae 2% cada una.

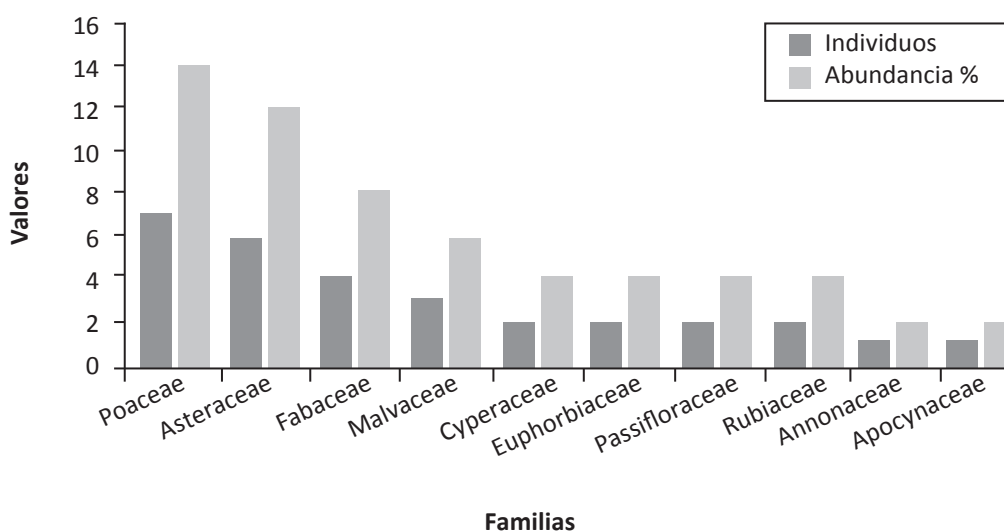


Figura 47. Abundancia de familias en la vegetación arbustiva – herbácea.



1.3.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

Cuadro 22. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades en Purma Baja

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	2,92
10-20	0,91
20-30	0,55
30-40	0,34
40-50	0,23
50-60	0,23
60-70	0,26
70-80	0,12
80-90	0,13
90-100	0,09
TOT	5,78

En el Cuadro 22 y la Figura 48 se muestra la biomasa de raíces a diferentes profundidades.

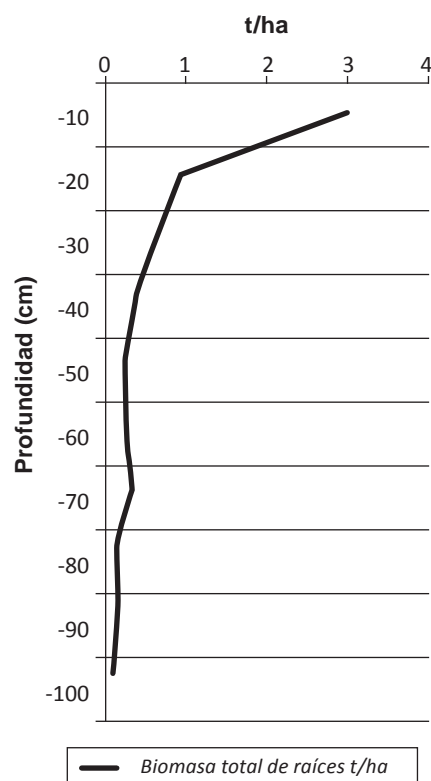


Figura 48. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades.

1.4. Biomasa total en el SUT Palma Aceitera

1.4.1. Biomasa sobre el suelo

De acuerdo a la evaluación de la biomasa aérea total de palma aceitera (Cuadro 23) se tiene los rangos de 22,1 a 40,3 t/ha, y un promedio de 33,95 t/ha. También se observa que el depósito

hojarasca y madera muerta tienen una cifra similar al depósito arbóreo y que a la vez es diez veces mayor que el depósito arbustivo herbáceo.

Cuadro 23. Biomasa aérea total en Palma Aceitera

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Abejaico	Palma A.	13,2	1,8	24,6	39,6
Bellavista	Palma A.	16,7	0,9	13,7	31,4
Los Olivos	Palma A.	24,7	1,8	12,8	39,3
Miguel Grau	Palma A.	17,1	0,5	13,4	31,0
Las Palmeras	Palma A.	24,2	0,5	15,6	40,3
Nuevo Satipo	Palma A.	11,4	2,0	8,6	22,1
Promedio		17,9	1,3	14,8	34,0



En la vegetación arbustiva–herbácea, se determinó 48 individuos (Figura 49), distribuidos en 28 familias, las más abundantes son; Poaceae 12,5%, Asteraceae, Fabaceae y Melastomataceae

con 8,3%, Cyperaceae y Rubiaceae con 6,2% cada una, Marantaceae y Myrtaceae con 4,2% cada una, Achariaceae y Araceae 2,1% cada una.

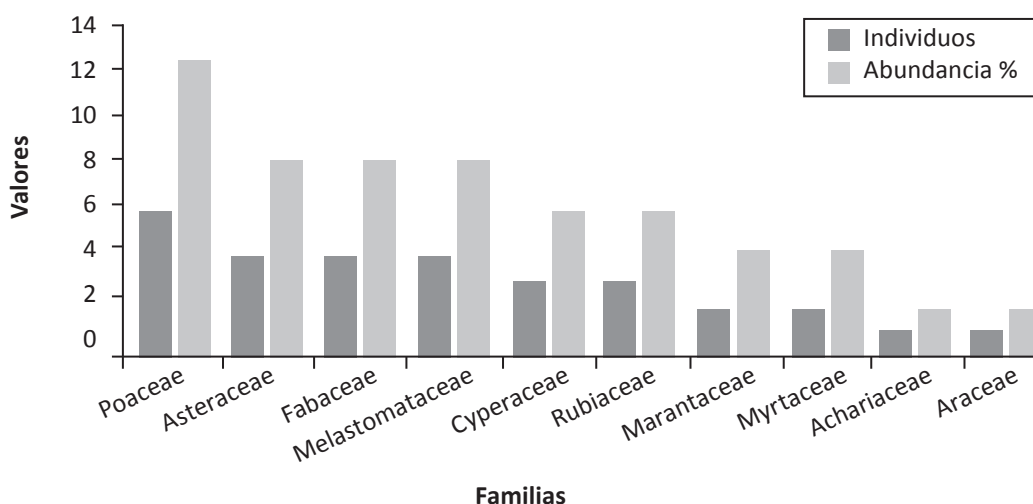


Figura 49. Abundancia de familias en la vegetación arbustiva - herbácea en Palma Aceitera.

En especies epífitas, se registraron 22 individuos distribuidos en 16 familias (Figura 50); siendo las más abundantes Melastomataceae 14,3%, la especie Mullaca negra *Clidemia ulei*, tiene mayor predominancia, seguido de Mullaca

morada *Clidemia hirta*. Las familias Asteraceae, Cyperaceae y Piperaceae con 9,5% cada una, Achariaceae, Araceae, Aracaceae, Bromeliaceae, Clusiaceae, Fabaceae, Moraceae, Poaceae y Urticaceae con 4,8% cada una.

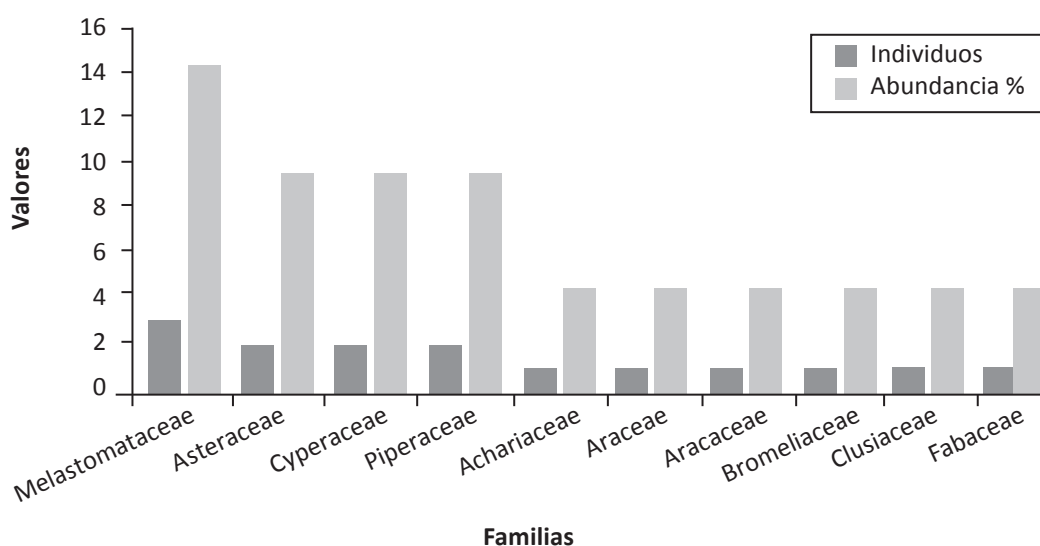


Figura 50. Abundancia de familias epífitas en Palma Aceitera.



1.4.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 24 y la Figura 51 se muestra la biomasa

de raíces a diferentes profundidades, mostrando que en los primeros 10cm están contenidos más del 50% de la biomasa de raíces del SUT.

Cuadro 24. Biomasa de raíces finas en Palma Aceitera a diferentes profundidades (t/ha)

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces t/ha
0-10	5,15
10-20	1,23
20-30	0,97
30-40	0,60
40-50	0,52
50-60	0,27
60-70	0,40
70-80	0,17
80-90	0,13
90-100	0,09
TOT	9,53

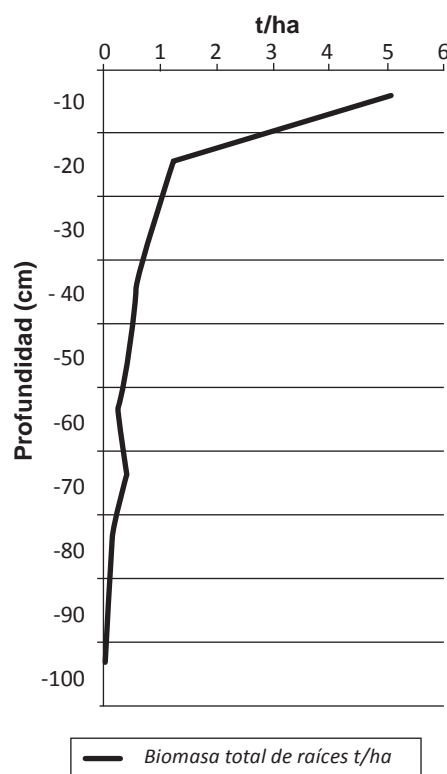


Figura 51. Biomasa de raíces finas en Palma Aceitera a diferentes profundidades.

1.5. Biomasa total en el SUT Pastizales

1.5.1. Biomasa sobre el suelo

La biomasa aérea total de los pastizales (Cuadro 25), se encuentra en un rango de 22,1 a 40,3 t/ha y promedio de 34,0 t/ha. Se puede observar un aporte muy fuerte del componente arbóreo que se explica porque el poblador local va abandonando

el paisaje conforme pasan los años, es decir los pastos empiezan a perder productividad y se abandonan para buscar nuevas áreas facilitando que los árboles crezcan nuevamente. Este depósito representa casi el 50% de la biomasa del SUT.

Cuadro 25. Biomasa aérea total de los Pastizales

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Abejaico	Pasztizal	13,2	1,8	24,6	39,6
Bellavista	Pasztizal	16,7	0,9	13,7	31,4
Los Olivos	Pasztizal	24,7	1,8	12,8	39,3
Miguel Grau	Pasztizal	17,1	0,5	13,4	31,0
Las Palmeras	Pasztizal	24,2	0,5	15,6	40,3
Nuevo Satipo	Pasztizal	11,4	2,0	8,6	22,1
Promedio		17,9	1,3	14,8	34,0



Se identificaron 28 individuos en 12 familias; Poaceae 32,1%, Fabaceae 17,9%, Malvaceae 10,7%, Cyperaceae 7,1%, Annonaceae, Asteraceae, Bignoniaceae, Lamiaceae, Myrtaceae, Portulacaceae

y Rubiaceae con 3,6% cada una. Mientras que en el componente arbustivo herbáceo, la familia Asteraceae pasa el 100% de abundancia en el sector Los Olivos.

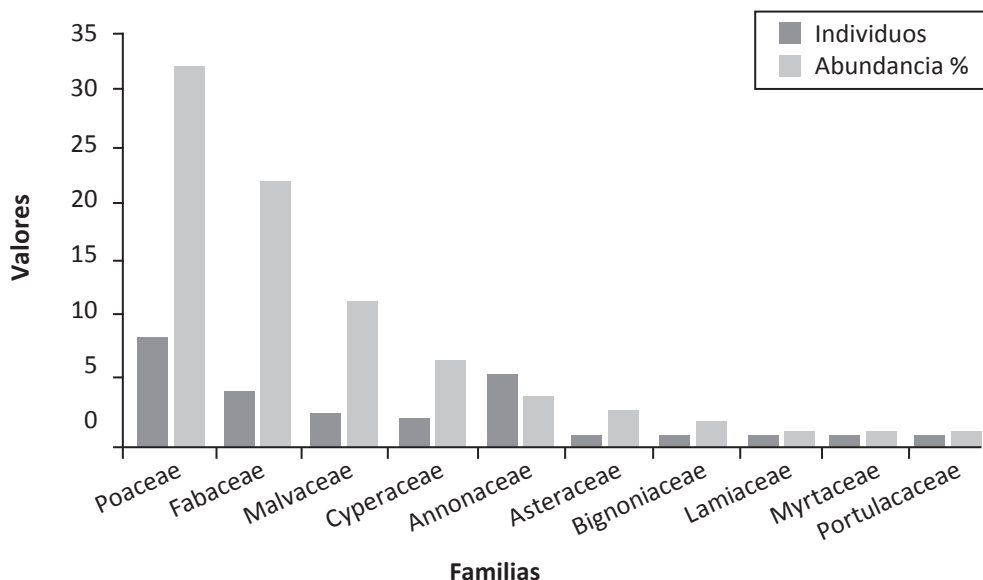


Figura 52. Abundancia de familias en la vegetación arbustiva – herbácea en Pastizales.

1.5.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

Se observa una mayor concentración en los primeros 20cm, sin embargo, en esta evaluación se reportó raíces de *brachiaria* sp

a profundidades mayores a 2,5m. En el Cuadro 26 y la Figura 53 se muestra la biomasa de raíces a diferentes profundidades.

Cuadro 26. Biomasa de raíces finas del Pastizal a diferentes profundidades (t/ha)

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	4,54
10-20	0,94
20-30	0,51
30-40	0,23
40-50	0,25
50-60	0,14
60-70	0,11
70-80	0,23
80-90	0,08
90-100	0,05
TOT	7,08

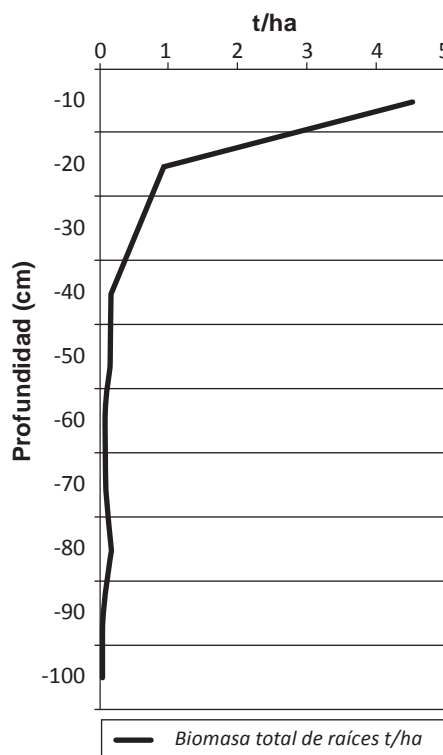


Figura 53. Biomasa de raíces finas del Pastizal a diferentes profundidades.



1.6. Sistema de Uso de la Tierra SUT Cultivos

1.6.1. Biomasa sobre el suelo

De acuerdo a la evaluación de la biomasa aérea total de los cultivos (Cuadro 27); se tiene los rangos de 15,3 a 58,2 t/ha, y un promedio de 35,6 t/ha. Se puede observar que el depósito hojarasca y madera muerta representa el 71% de

la biomasa total, el depósito arbóreo representa el 21,6% de la biomasa total y finalmente el depósito arbóreo el 7,4% de la biomasa del SUT. Esto podría explicarse porque luego del rozo y quema debido a la mala combustión de la madera queda una gran cantidad de trozos en la parcela.

Cuadro 27. Biomasa aérea total en Cultivos

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
El Milagro	Cultivos	4,6	2,4	41,0	48,0
La Frontera	Cultivos	9,2	4,1	11,2	24,6
Los Olivos	Cultivos	5,0	2,2	8,1	15,3
Miguel Grau	Cultivos	7,3	2,1	21,1	30,6
Rodal – E	Cultivos	5,0	3,8	49,4	58,2
UNU	Cultivos	15,3	0,3	21,4	37,1
Promedio		7,7	2,5	25,4	35,6

La vegetación arbórea de los cultivos se compone básicamente de 170 individuos (Figura 54); comprendidos en 8 familias; Musacea 57,6%,

Poaceae 32,4%, Euphorbiaceae 4,1%, Malvaceae y Arecaceae 1,8% cada una Vochysiaceae 1,2%, Fabaceae y Asteraceae con 0,6% cada una.

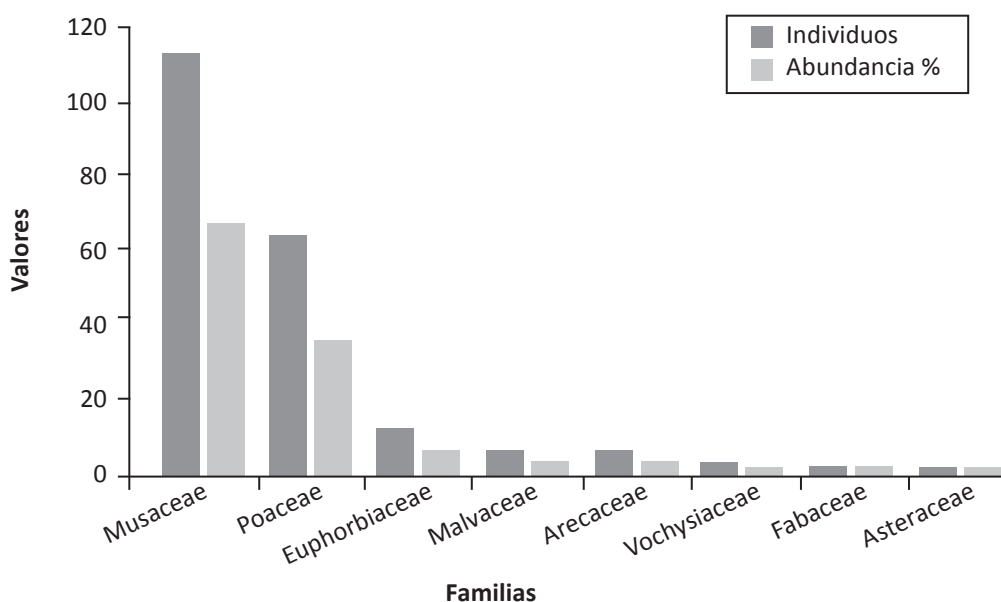


Figura 54. Abundancia de familias en la vegetación arbórea en Cultivos.

En la vegetación arbustiva – herbácea, se identificó 62 individuos (Figura 55), distribuidos en 33 familias; Poaceae 16,1%, Asteraceae 14,5%,

Fabaceae 6,5%, Malvaceae y Rubiaceae con 4,8% cada una, Cyperaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae, Melastomataceae y Urticaceae con 3,2% cada una.

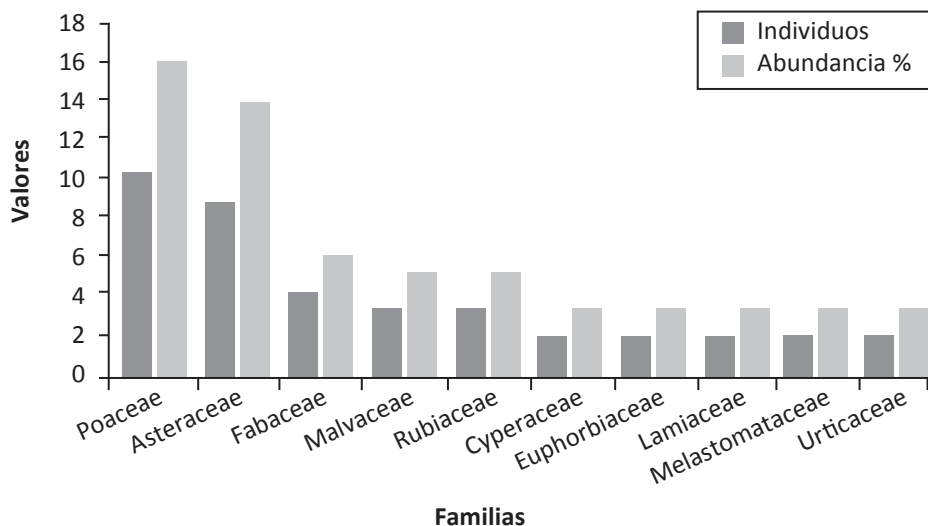


Figura 55. Abundancia de familias en la vegetación arbustiva - herbácea.

1.6.2. Biomasa de las raíces finas

En el Cuadro 28 y la Figura 56 se muestra la biomasa de raíces a diferentes profundidades, mostrando que en los primeros 20cm están

contenidos más del 50% de la biomasa de raíces del SUT.

Cuadro 28. Biomasa de raíces finas en Cultivos a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	1,17
10-20	0,81
20-30	0,38
30-40	0,32
40-50	0,26
50-60	0,19
60-70	0,12
70-80	0,12
80-90	0,1
90-100	0,06
TOT	3,53

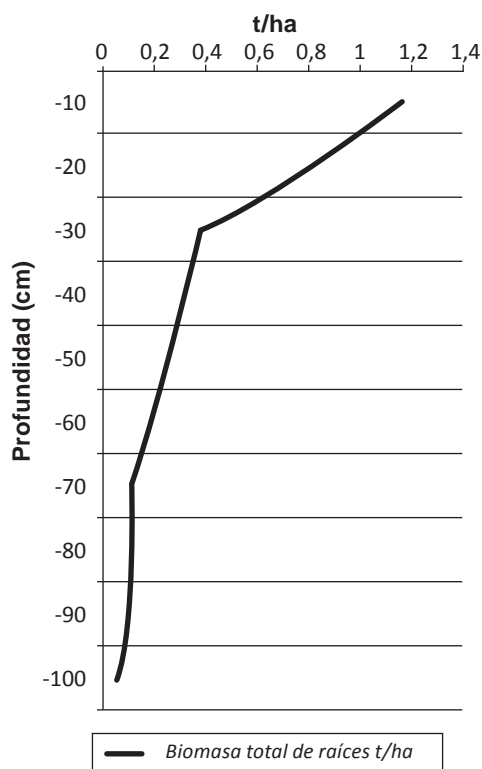


Figura 56. Biomasa de raíces finas en Cultivos a diferentes profundidades.

2. Almacenamiento de Carbono en los SUT

2.1. Carbono en el SUT Bosque Primario Remanente

2.1.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de carbono obtenido para el

bosque primario remanente es 156 tC/ha, con una mínima de 95,5 tC/ha y máxima de 252,5 tC/ha (Cuadro 29).



Cuadro 29. Carbono aéreo total del Bosque Primario Remanente

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Abejaico	Bosque R.	114,0	1,3	11,6	126,9
Bellavista	Bosque R.	137,6	1,5	12,2	151,3
Los Olivos	Bosque R.	69,9	0,2	25,5	95,5
Miguel Grau	Bosque R.	117,1	1,5	4,9	123,5
Las Palmeras	Bosque R.	124,2	1,9	32,5	158,6
El Milagro	Bosque R.	145,1	1,1	74,6	220,9
La Frontera	Bosque R.	114,0	1,3	11,6	126,9
Rodal E	Bosque R.	131,6	0,6	120,4	252,5
UNU	Bosque R.	118,7	0,4	28,3	147,4
Nuevo Satipo	Bosque R.	142,4	0,6	14,4	157,4
Promedio		121,5	1,0	33,6	156,1

2.1.2. Carbono debajo del suelo

En el Cuadro 30 y Figura 57 se muestra el C almacenado a diferentes profundidades de 0 a 1m de profundidad, observándose que en

los niveles 0 a 0,2m se almacena más del 50% del C total almacenado en el suelo.

Cuadro 30. Carbono en raíces finas del Bosque Primario Remanente a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	2,58
10-20	0,75
20-30	0,42
30-40	0,30
40-50	0,20
50-60	0,14
60-70	0,10
70-80	0,18
80-90	0,08
90-100	0,06
TOT	4,81

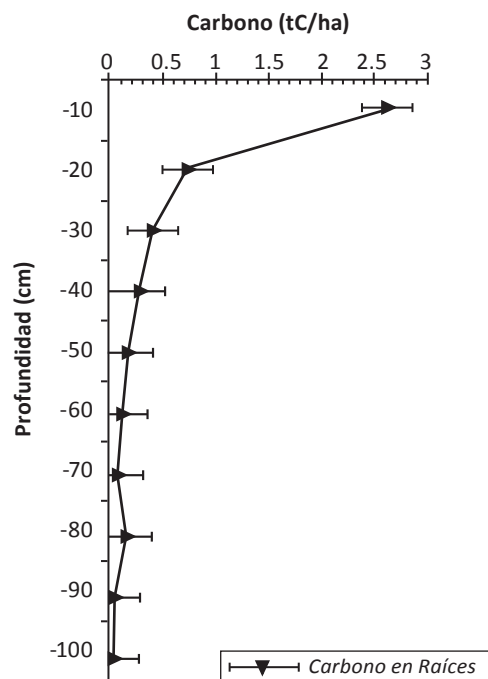


Figura 57. Carbono en raíces finas del Bosque Primario Remanente a diferentes profundidades.



2.1.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 31 y Figura 58 se muestra el C almacenado a diferentes profundidades de 0 a 1m de profundidad, observándose nuevamente

que en los niveles 0 a 0,2m se almacena más del 50% del C total en el SUT.

Cuadro 31. Carbono en el suelo del Bosque Primario Remanente a diferentes profundidades (tC/ha)

Sector	Carbono total tC/ha
Abejaico	61,44
Bellavista	90,06
Miguel Grau	68,26
Las Palmeras	63,50
Nuevo Satipo	72,91
Los Olivos	88,86
EL Milagro	69,68
La Frontera	69,60
Rodal E	70,83
UNU	59,48
Promedio	71,46

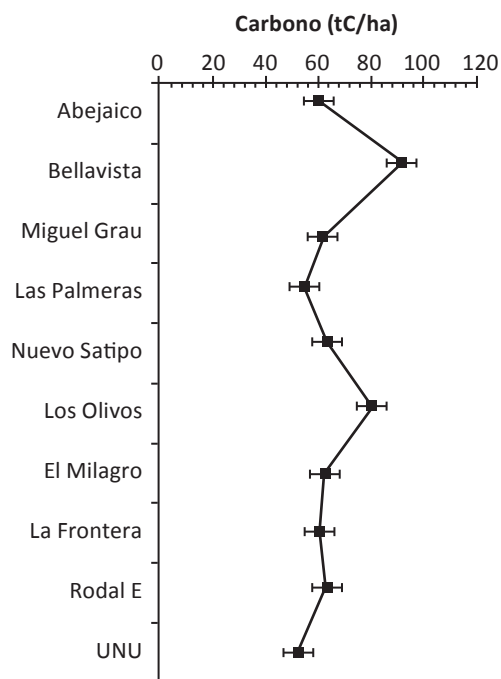


Figura 58. Carbono en el suelo del Bosque Primario Remanente.

2.2. Carbono en el SUT Purma Alta

2.2.1. Carbono sobre el suelo

El C varia de 53,1 a 112,6 tC/ha, (Cuadro 32), la cantidad media de C es de 75,8 tC/ha. Se observa que el mayor aporte se dá en el depósito arbóreo representando el 78% del C mientras que el depósito hojarasca y madera muerta

aporta el 20% del C total en contraposición con el depósito arbustivo-herbáceo que sólo aporta 2% de C total. El bosque se encuentra en la etapa de latizal-fustal, por eso no se evidencia presencia de las arbustivas ni herbáceas.

Cuadro 32. Carbono aéreo total de las Purmas Altas

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
El Milagro	Purma alta	44,1	0,9	10,5	55,5
La Frontera	Purma alta	97,4	0,8	14,4	112,6
Los Olivos	Purma alta	74,0	1,1	12,4	87,5
Miguel Grau	Purma alta	72,2	0,5	8,2	81,0
Rodal-E	Purma alta	27,9	1,8	23,4	53,1
UNU	Purma alta	41,4	2,2	21,7	65,3
Promedio		59,5	1,2	15,1	75,8



2.2.2. Carbono en la biomasa de raíces

En el Cuadro 33 y Figura 59 se muestra el C almacenado a diferentes profundidades de 0 a

1m, observándose que en los niveles de 0 a 0,2m se almacena más del 50% de C total en el SUT.

Cuadro 33. Carbono en raíces finas en Purma Alta a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	1,95
10-20	0,43
20-30	0,2
30-40	0,15
40-50	0,2
50-60	0,09
60-70	0,07
70-80	0,07
80-90	0,04
90-100	0,06
TOT	3,26

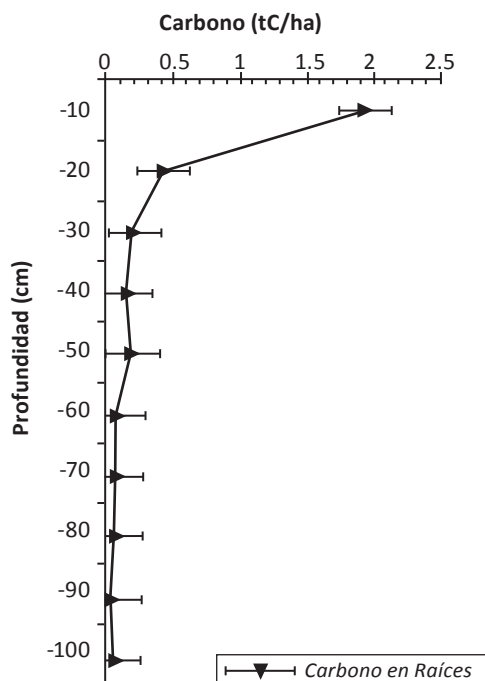


Figura 59. Carbono en raíces finas en Purma Alta a diferentes profundidades.

2.2.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 34 y Figura 60 se observa el C almacenado en el suelo hasta 1 m de profundidad, en un rango que va desde 51,34 elevado de C se

explica en el hecho que este último está en un proceso de recuperación estricta dentro del INIA.

Cuadro 34. Carbono en el suelo en Purma Alta (tC/ha)

Sector	Carbono total tC/ha
Miguel Grau	63,05
Los Olivos	51,34
EL Milagro	63,55
La Frontera	63,50
Rodal E	102,78
UNU	82,25
Promedio	60,57

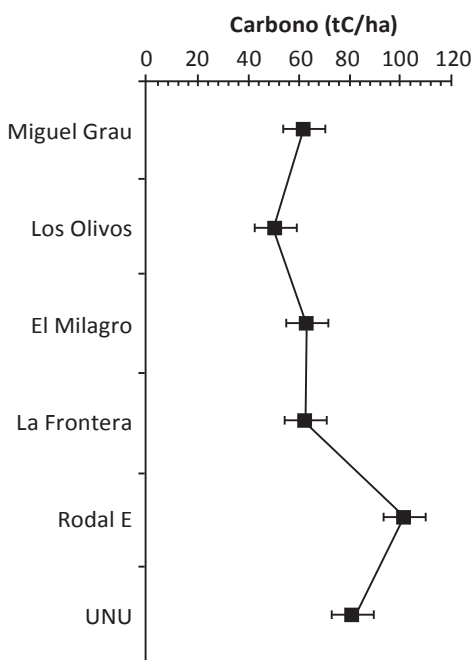


Figura 60. Carbono en el suelo en Purma Alta.



2.3. Carbono en el SUT Purma Baja

2.3.1. Carbono en la parte aérea

El C varía de 11,0 a 54,5 tC/ha, (Cuadro 35), la cantidad media de C es de 21,2 tC/ha. Se observa que el mayor aporte se da en el depósito

hojarasca y madera muerta representando 66,5% del C total, seguido del depósito arbóreo con 23,5% del C total y finalmente el depósito arbustivo-herbáceo con el 10% del C total.

Cuadro 35. Carbono aéreo total de las Purmas Bajas

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
El Milagro	Purma Baja	3,6	1,3	49,6	54,5
La Frontera	Purma Baja	1,7	4,6	8,0	14,4
Los Olivos	Purma Baja	5,7	1,6	7,4	14,8
Miguel Grau	Purma Baja	8,2	1,2	3,0	12,4
Rodal-E	Purma Baja	5,3	1,1	4,6	11,0
UNU	Purma Baja	5,6	2,5	12,0	20,0
Promedio		5,0	2,1	14,1	21,2

2.3.2. Carbono en la biomasa de raíces

En el Cuadro 36 y Figura 61 se observa el C almacenado a diferentes profundidades de 0 a

1m, se puede notar que en los niveles 0 a 0,2m se almacena más del 50% del C total en el SUT.

Cuadro 36. Carbono en raíces finas en Purma Baja a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	1,46
10-20	0,46
20-30	0,28
30-40	0,2
40-50	0,12
50-60	0,12
60-70	0,13
70-80	0,06
80-90	0,07
90-100	0,05
TOT	2.95

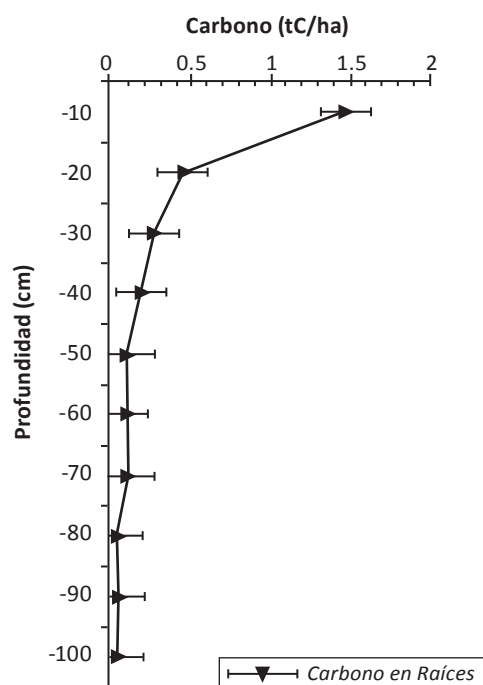


Figura 61. Carbono en raíces finas en Purma Baja a diferentes profundidades.



2.3.3. Carbono en el suelo

Si bien es cierto que se observan patrones distribuidos homogéneamente en el caso del Rodal E, se observa un dato elevado porque es un área dentro del centro experimental anexo Alexander von Humboldt del INIA -

Estación Experimental Agraria Pucallpa que tiene mucha protección, entonces no sufre las perturbaciones por acciones antrópicas como en los otros casos.

Cuadro 37. Purma Baja a diferentes profundidades (tC/ha)

Sector	Carbono total tC/ha
Miguel Grau	78,3
Los Olivos	72,8
EL Milagro	58,1
La Frontera	48,6
Rodal E	90,6
UNU	58,2
Promedio	67,76

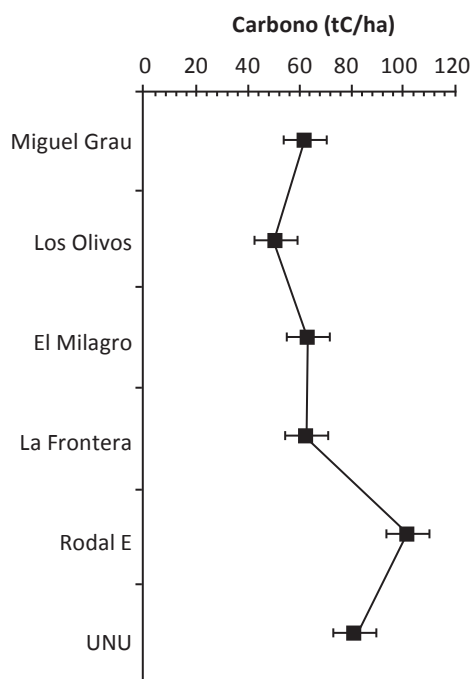


Figura 62. Carbono en el suelo en Purma Baja a diferentes profundidades.

2.4. Carbono en el SUT Palma Aceitera

2.4.1. Carbono en la parte aérea

El carbono varía de 9,6 a 17,4 tC/ha, (Cuadro 38), la cantidad media de carbono es de 14,4 tC/ha. Se puede notar que el depósito arbóreo está constituido por las palmeras representando el 54% del C total, seguido del depósito hojarasca

y madera muerta con 41,5% del C total, finalmente el depósito arbustivo-herbáceo con 4,5% del C total. En este SUT se suele cultivar intensamente para retirar la vegetación que pueda competir con la palma aceitera.

Cuadro 38. Carbono aéreo total en Palma Aceitera

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Abejaico	Palma A	5,8	0,7	10,1	16,6
Bellavista	Palma A	7,1	0,3	5,5	12,9
Los Olivos	Palma A	10,9	0,7	5,2	17,0
Miguel Grau	Palma A	7,2	0,2	5,3	12,8
Las Palmeras	Palma A	10,7	0,2	6,5	17,4
Nuevo Satipo	Palma A.	5,2	0,8	3,6	9,6
Promedio		7,8	0,5	6,0	14,4



2.4.2. Carbono en la biomasa de raíces

En el Cuadro 39 y Figura 63, se puede observar presencia de raíces a profundidades de hasta 0,5m. Las palmeras en general se caracterizan por presentar raíces profundas en

la investigación se demuestra esta afirmación, además se debe mencionar que el aporte esta representado en más del 98% por raíces de la palma aceitera.

Cuadro 39. Carbono en raíces en Palma Aceitera a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	2,57
10-20	0,61
20-30	0,49
30-40	0,30
40-50	0,26
50-60	0,13
60-70	0,20
70-80	0,09
80-90	0,07
90-100	0,04
TOT	4,76

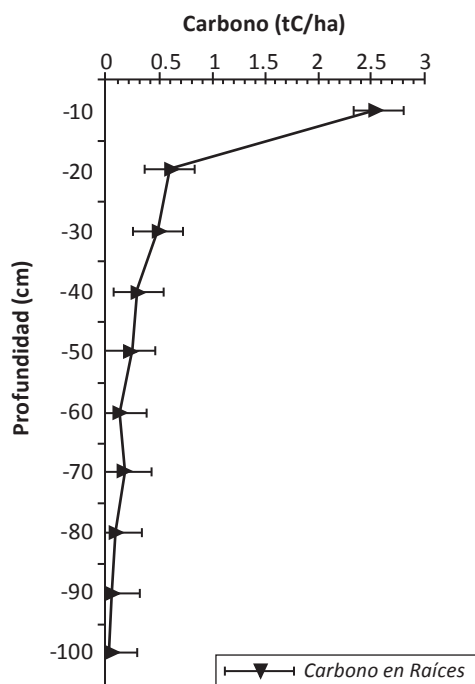


Figura 63. Carbono en raíces finas en Palma Aceitera diferentes profundidades.

2.4.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 40 y Figura 64 se observa el C almacenado en el suelo hasta 1m de profundidad, en un rango que va desde 52,55 tC/ha en el sector Los Olivos hasta 83,24 tC/ha en el sector Abejaico.

Cuadro 40. Carbono en el suelo en Palma Aceitera a diferentes profundidades (tC/ha)

Sector	Carbono total tC/ha
Abejaico	83,24
Bellavista	73,76
Miguel Grau	69,72
Las Palmeras	72,88
Nuevo Satipo	79,08
Los Olivos	52,55
Promedio	71,87

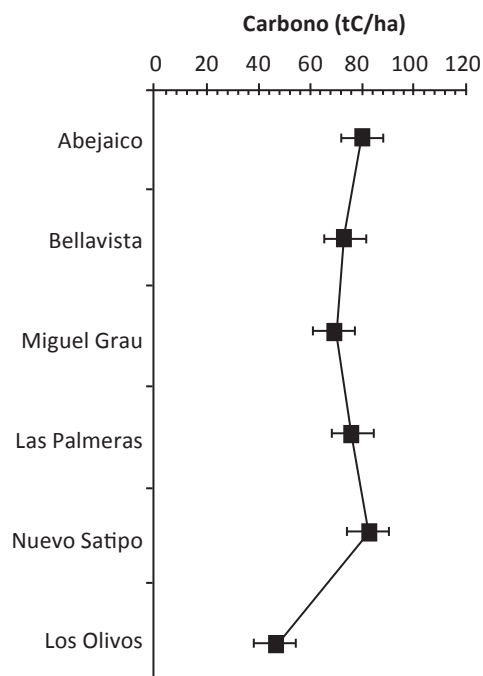


Figura 64. Carbono en el suelo de Palma Aceitera a diferentes profundidades.



2.5. Carbono en el SUT Pastizales

2.5.1. Carbono en la parte aérea

El carbono varía de 2,3 a 45,6 tC/ha, (Cuadro 41), la cantidad media de carbono es de 21,4 tC/ha, sin embargo, aquí se observan dos escenarios; cuando no hay árboles acompañando pastos y cuando están presentes, cabe mencionar que estos árboles son parte de la regeneración

natural del bosque debido al abandono de los pastos, mientras que en pastos que son manejados los valores son muy diferentes, por ser heliófitos totales se requiere eliminar cualquier competencia que ocasione sombra en los pastizales.

Cuadro 41. Carbono aéreo total de los Pastizales

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Abejaico	Pastizal	0,6	5,4	2,8	8,8
Bellavista	Pastizal	-	0,8	50,2	51
Los Olivos	Pastizal	-	0,4	9,2	9,6
Miguel Grau	Pastizal	-	0,5	45,1	45,6
Las Palmeras	Pastizal	-	1,2	9,8	11
Nuevo Satipo	Pastizal	-	1,2	1,2	2,3
Promedio		0,6	1,6	19,7	27,5

2.5.2. Carbono en la biomasa de raíces

En el Cuadro 42 y Figura 65 se muestra el C almacenado a diferentes profundidades de 0 a

1m de profundidad, observándose que en los niveles de 0 a 0,2m se almacena más del 50% del C total almacenado en el suelo.

Cuadro 42. Carbono en raíces finas en Pastizales a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	2,57
10-20	0,61
20-30	0,49
30-40	0,30
40-50	0,26
50-60	0,13
60-70	0,20
70-80	0,09
80-90	0,07
90-100	0,04
TOT	4,76

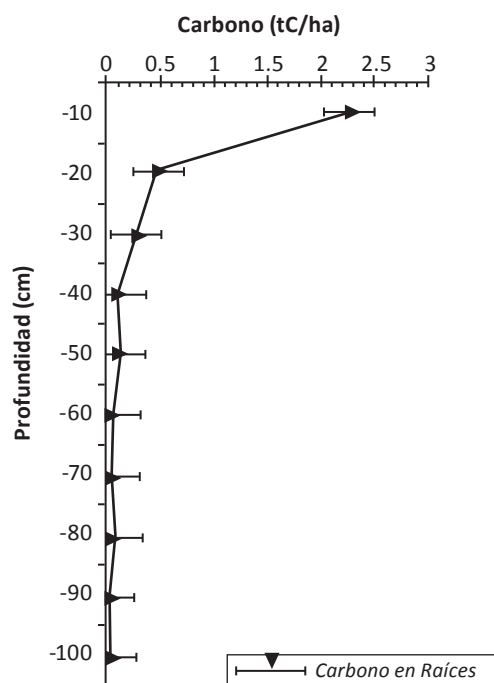


Figura 65. Carbono en raíces finas en Pastizales a diferentes profundidades.



2.5.3. Carbono en el suelo

Se observa cierta estabilidad en la acumulación o stock de carbono. Los sectores evaluados demuestran diferencias mínimas en los contenidos de carbono orgánico en el depósito suelo.

Cuadro 43. Carbono en el suelo en Pastizales a diferentes profundidades (tC/ha)

Sector	Carbono total tC/ha
Abejaico	67,27
Bellavista	65,27
Miguel Grau	71,80
Las Palmeras	71,61
Nuevo Satipo	88,98
Los Olivos	61,10
Promedio	71,0

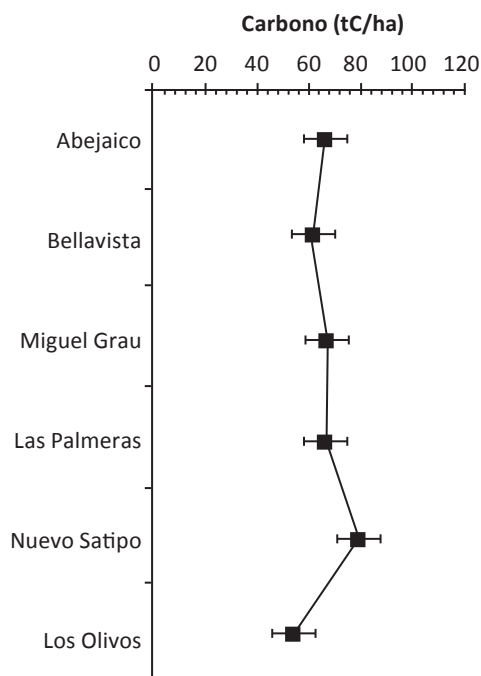


Figura 66. Carbono en el suelo de Pastizales a diferentes profundidades.

2.6. Carbono en el SUT Cultivos

2.6.1. Carbono en la parte aérea

El carbono varía de 23,3 a 45,6 tC/ha (Cuadro 44), la cantidad media de carbono es de 16,9 tC/ha. Se puede observar que el depósito hojarasca y madera muerta representa el 69% del

C total, mientras que el depósito arbóreo representado por el cultivo principal el 22,4% del C total. Finalmente el depósito arbustivo herbáceo el 8,6% del C total contenido en el SUT.

Cuadro 44. Carbono aéreo total en Cultivos

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
El Milagro	Cultivos	2,3	1,0	20,0	23,3
La Frontera	Cultivos	4,6	1,7	5,1	11,4
Los Olivos	Cultivos	2,5	0,9	3,8	7,2
Miguel Grau	Cultivos	3,7	0,9	10,2	14,7
Rodal-E	Cultivos	2,5	1,6	23,7	27,8
UNU	Cultivos	7,6	0,1	9,4	17,1
Promedio		3,9	1,0	12,0	17,4



2.6.2. Carbono en las raíces finas

Se observa mayor concentración en los primeros 20 cm, esto se debe a que por el biotipo de los cultivos no tienen raíces mayores a esta profundidad, y además por

la combustión generada para preparar estas áreas, se producen parte de las raíces del sistema de uso anterior.

Cuadro 45. Carbono en raíces finas de Cultivos a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	0,59
10-20	0,41
20-30	0,2
30-40	0,2
40-50	0,13
50-60	0,1
60-70	0,06
70-80	0,06
80-90	0,05
90-100	0,03
TOT	1,83

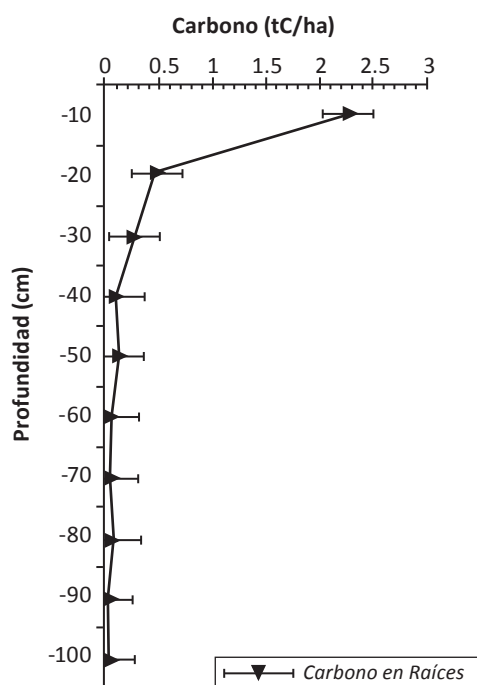


Figura 67. Carbono en raíces finas de Cultivos a diferentes profundidades.

2.6.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 46 y Figura 68 se muestra el C contenido en el suelo se observa estabilidad en el contenido de C en las diferentes parcelas evaluadas.

Cuadro 46. Carbono en el suelo de Cultivos (tC/ha)

Sector	Carbono total tC/ha
Miguel Grau	65,06
Los Olivos	77,61
El Milagro	75,65
La Frontera	68,32
Rodal E	84,43
UNU	57,57
Promedio	71,44

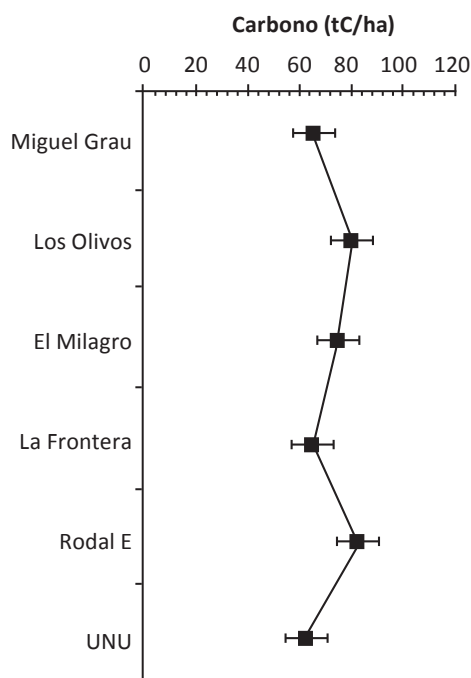


Figura 68. Carbono en el suelo de Cultivos a diferentes profundidades.



En el Cuadro 47 se presenta un resumen consolidado a nivel de la capacidad total de almacenamiento por cada depósito y por cada sistema de uso de la tierra, en el área de estudio, esta será la base para la discusión de la investigación.

Cuadro 47. Carbono almacenado a nivel de los cinco depósitos en (tC/ha)

Sistema de Uso de la Tierra	Depósitos de Carbono en tC/ha (toneladas de Carbono por Hectárea)					Carbón Stock (tC/ha)
	Árboles	Arbustiva Herbácea	Hojarasca mad Muert	Raíces Finas	Suelo	
Bosque primario R	121,5	1,0	33,6	4,81	71,4	232,3
Purma Alta	59,5	1,2	15,1	3,26	71,0	150,1
Palma Aceitera	7,8	0,5	6,0	4,76	71,8	90,9
Purma Baja	5	2,1	14,1	2,95	67,7	91,9
Pasturas	0,6	1,6	19,7	3,5	71,0	96,4
Cultivo	3,9	1,0	12,0	1,8	71,4	90,1
Promedio	33,0	1,2	16,7	3,5	70,7	125,3

En la Figura 69, se observa el patrón de cambios del C almacenado en los cinco depósitos del sistema de uso de la tierra, se observa que el depósito suelo es el más estable a pesar de los diferentes cambios de uso de la tierra, mientras que el depósito arbóreo es el más inestable y también es el que más influye en el almacenamiento de C.

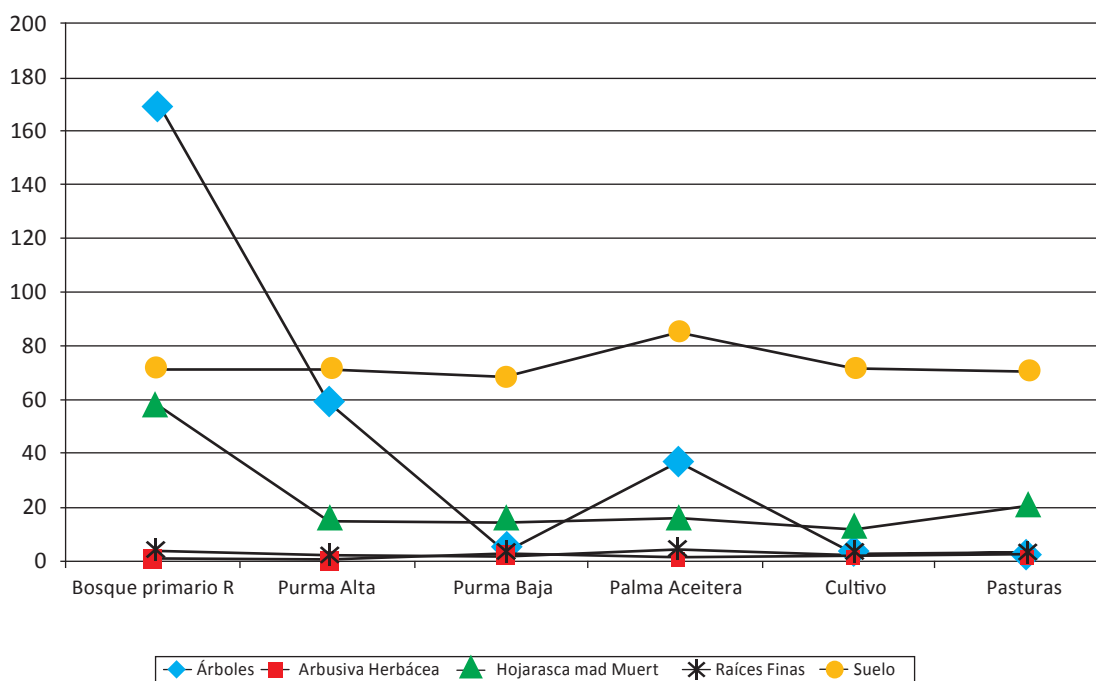


Figura 69. Patrón de cambios de almacenamiento de Carbono a nivel de depósitos y SUT.



Finalmente en la Figura 70 podemos observar el patrón de cambios que se produce en el carbono almacenado en el depósito de raíces finas a diversas profundidades, se observa que

a nivel de las raíces se sigue el mismo patrón de cambios en los diferentes sistemas de uso de la tierra y que la mayor concentración de raíces se da entre 0 a 0,2m de profundidad.

Stock de Carbono en raíces en cinco SUT

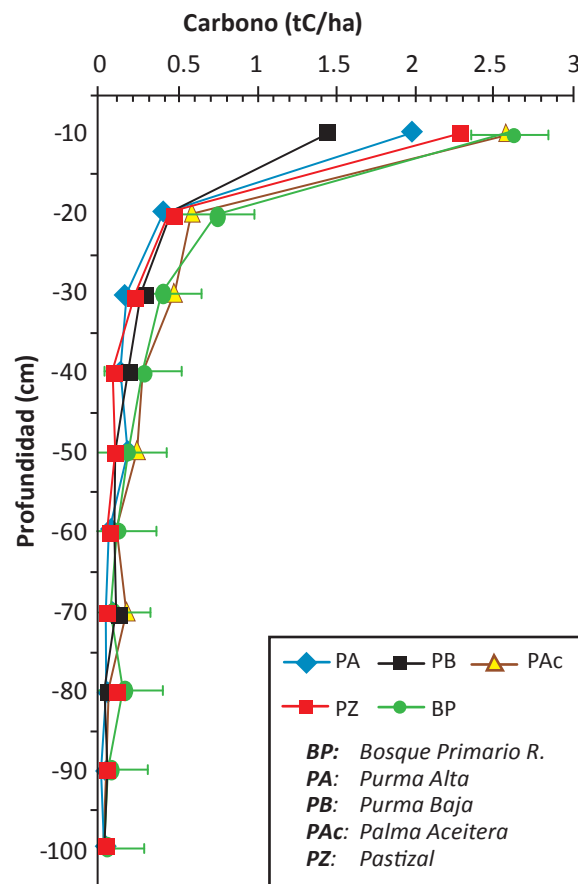


Figura 70. Patrón de cambios del Carbono almacenado en las raíces de cinco SUT.

Cuadro 48. Carbono total en la evaluación 2001 y 2011

Depósito	Arbórea tC/ha		Arbustiva herbácea tC/ha		Hojarasca y Mad. muerta tC/ha		Raíces finas tC/ha		Suelo tC/ha		Total tC/ha	
	2001	2011	2001	2011	2001	2011	2001	2011	2001	2011	2001	2011
Bosque prim. R	155,8	121,5	0,7	1,0	2,0	33,6	3,7	4,8	85,5	71,4	247,9	232,3
Purma Alta	134,4	59,5	2,4	1,2	3,1	15,1	0,4	3,2	124,2	71,0	264,7	150,1
Palma Aceitera	0,0	7,8	41,3	0,5	4,6	6,0	1,1	4,7	103,9	71,8	151,0	90,9
Purma Baja	14,6	5,0	2,0	2,1	4,3	14,1	2,1	2,9	35,6	67,7	58,8	91,9
Pasturas	0,0	0,6	2,6	1,6	0,7	19,7	3,0	3,5	64,9	71,0	71,4	96,4
Cultivo	6,8	3,9	8,9	1,0	2,2	12,0	3,5	1,8	71,2	71,4	92,8	90,1
Promedio	51,9	33,0	9,7	1,2	2,8	16,7	2,3	3,5	80,9	70,7	147,8	125,3



Discusiones

En el Cuadro 47 se presenta el reporte consolidado total, indicando el sistema de uso de la tierra SUT, evaluado los cinco depósitos de carbono a nivel de cada SUT, tanto para la parte aérea como para el suelo en toneladas de carbono por hectárea.

La comparación de totales se realiza en base a dos periodos muestrales tomando los años 2001 y 2011 (Cuadro 48). Para desarrollar un análisis sobre el stock total de carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra, se está tomando en cuenta los resultados de la evaluación realizada en el año 2001 por Alegre *et al.*, y se relaciona estos valores con la evaluación del año 2011.

Para ello se han tenido que asumir algunas variables y compararlo a nivel de totales, debido a que solo se cuenta con esos datos para el año 2001. Se puede observar que los resultados totales de almacenamiento de C difieren en cuanto al promedio por SUT siendo menor en 12,3 % para el año 2011, lo cual nos indica una pérdida de biomasa y C almacenado. Se evidencian disminuciones en la evaluación 2011, en cuanto al componente arbóreo en 36,4%, arbustiva herbácea en 87,3% y C en el suelo en 12,5%, y un aumento en cuanto a los depósitos hojarasca y madera muerta 587,7%, lo que responde a la dinámica de crecimiento del bosque y al área sin intervención por 20 años. A nivel de raíces finas en 151,5% en todos los SUT a excepción de cultivos.

Evaluación transversal 2011 por análisis gráfico

Se emplea este tipo de análisis para explicar gráficamente como se produce el movimiento del C en cada depósito a nivel de cada sistema de uso de la tierra. Se puede observar que en el componente arbóreo sufre una gran pérdida de C cuando es cambiado de sistema de uso de la tierra, en el caso del C en el depósito suelo se mantiene aparentemente estable a pesar de los cambios en los diferentes sistemas de uso de la tierra. En el

caso de la hojarasca pierde significativamente su valor cuando no está en el SUT Bosque primario remanente pero en los demás estadios mantiene valores estables, en el caso de raíces finas y arbustiva - herbácea tienen un comportamiento similar y no evidencian diferencias significativas en los diferentes estadios. (Figura 69).

Con respecto a la biomasa

La biomasa de la mayoría de los componentes de las especies aumenta con la edad, sitio, especie y tratamiento, luego se estabiliza con el tiempo. Sin embargo, los patrones de composición florística en la zona de estudio, están determinados, entre otros factores; por la presencia de aquellas especies capaces de tolerar suelos compactados y de baja fertilidad. La dominancia de ciertas especies al comenzar la sucesión pueden inhibir y/o facilitar el arribo de futuras especies colonizadoras. (Gayoso *et al.*, 2002; Guevara *et al.*, 1986, citado por Viena, 2010).

SUT Bosque Primario Remanente

Se reporta valores entre 193,6 t/ha a 507,8 t/ha, el promedio es 314,7 t/ha, los bosques primarios remanentes en el presente estudio, almacenan más biomasa comparando las cifras con otros estudios, además notamos que en la muestra proveniente del "rodal E", los datos reportados son elevados con respecto al resto y se explicarían porque se trata de un bosque que fue descremado y luego sometido a protección por más de 20 años, lo cual ha permitido que el bosque se recupere. Con respecto a las demás muestras, existe variabilidad en las cantidades de biomasa, esto podría explicarse por el grado de intervención de las actividades antropogénicas que generan los propios pobladores de la zona, como lo indica Barbarán (2000), quien determinó 258,4 t/ha de biomasa en un bosque primario intervenido en la zona de Sarita Colonia - Pucallpa. Al respecto mencionan que en ecosistemas de bosques tropicales la biomasa puede variar entre 150 y 382 t/ha. Arévalo *et al.*, (2003); Gayoso *et al.*, (2002).



SUT Purma Alta

Presentan un rango de 113,8 a 228,0 t/ha y un promedio de 154,4 t/ha comparando con otros estudios, Baldoceda (2001), determinó 205,8 t/ha en una purma alta de 10 años de edad en Neshuya–Curimaná. Por su parte, Barbarán (2000), reporta 243,8 t/ha, para una purma alta de 15 años, también Alegre *et al.*, (2002) determinó 126,1 t/ha, en la zona Sarita Colonia–Campo Verde en sistemas de más de 10 años, esta variación en la cantidad almacenada, se explica por actividades antropogénicas generadas por los pobladores, que siempre están haciendo uso de la purma.

SUT Purma Baja

Presentan valores entre 23,7 a 110,7 t/ha y un promedio de 45,1 t/ha; supera a lo obtenido por Barbarán (2000), que determinó 44,1 t/ha en una purma de 3 años ubicada en el sector Sarita Colonia, Pucallpa, en el mismo sector Alegre *et al.*, (2002), determinó 20,9 t/ha y Baldoceda (2001), reporta 24,1 t/ha para una purma de 2 años en el sector Neshuya–Curimaná, en purmas de 4 años determinó 51,4 t/ha. La investigación supera a nuestros resultados ya que evaluamos purmas de 6 años de edad. Analizando la composición florística de este sistema notamos que la recuperación de las especies es relativamente lenta y depende de muchos factores. (Guevara *et al.*, 1986, citado por Viena, 2010).

SUT Palma Aceitera (PA)

Presenta rangos de 22,1 a 40,3 t/ha, y promedio de 33,9 t/ha; en la hipótesis planteada; las plantaciones de palma aceitera almacenan más biomasa que los pastizales, sin embargo en el estudio se determinó lo contrario debido en gran parte a que en los pastizales se encontró abundante madera muerta (troncos, ramas y tocones) de árboles que fueron talados u aprovechados al instalar las pasturas, muchas de estas especies son maderas duras, por lo que se conservan en el transcurso de los años (10 años). Mientras que en la palma, debido

a las labores culturales de limpieza total en la plantación y al tiempo transcurrido desde la tumba del bosque primario (aproximadamente 30 años), disminuye la cantidad de carbono almacenado en estos depósitos, el incremento de la cantidad de carbono almacenado, podría darse con un mejor manejo agronómico, e incorporar compost, producido a partir de los desechos de la producción y las hojas podadas.

SUT Pastizal (P)

Se encuentran en un rango de 5,6 a 103,8 t/ha y promedio de 44,3 t/ha; supera a lo obtenido por Barbarán (2000), que determinó 25,7 t/ha en Sarita Colonia y lo obtenido por Alegre *et al.*, (2002) con 23,6 t/ha para pastizal de 30 años. En pasturas mejoradas determinó 9,1 t/ha para Yurimaguas y 6,9 t/ha en pastura degradada de Pucallpa. Los valores reportados están en relación directa con los restos de árboles muertos que aún no se han terminado de descomponer, además se nota una adición de árboles que asemejan a un modelo silvopastoril, pero que se ha establecido de manera espontánea debido al abandono y/o manejo inadecuado por parte del productor. También se observa pasto natural en reemplazo del pasto mejorado instalado inicialmente, lo cual es un índice de degradación del cultivo.

SUT Cultivos

Se tiene los rangos de 15,3 a 58,2 t/ha, y promedio de 35,6 t/ha, la biomasa de los cultivos, podría explicarse en las labores culturales realizadas (limpieza), desde la tumba, rozo y quema del bosque primario remanente, muchas de las especies de densidad alta fueron aprovechadas, dejando como vestigio las ramas, tocones y algunos troncos, en el periodo transcurrido aún conservan su durabilidad (aproximadamente 10 años), por lo que la mayor parte de la biomasa lo conforma el depósito madera muerta. Barbarán (2000), reporta valores en yuca de 15,5 t/ha, maíz 11,7 t/ha y en plátano de 42,4 t/ha, para Sarita Colonia, comparado con nuestros resultados existe cierta similitud.



CON RESPECTO AL STOCK DE CARBONO

SUT Bosque Primario Remanente

Se reporta 232,6 tC/ha, es mayor en comparación con otros estudios, Barbarán (2000), obtuvo 169,8 tC/ha en el sector de Sarita Colonia, Alegre *et al.*, (2002) reportó 173,3 tC/ha en Pucallpa, en los trópicos el carbono en sumideros superficiales varía entre 60 y 230 tC/ha en bosques primarios, esto debido a que en el estudio se tomó variables como la profundidad de las raíces y el C almacenado hasta 1m de profundidad. Además el presente estudio nos permitió demostrar que el C total almacenado en los componentes del bosque está reduciéndose, sobre todo del componente arbóreo, debido a la mayor presión ejercida por los pobladores en su aprovechamiento selectivo de madera, además de otros factores tal como lo menciona Finegan (1992). De la misma forma esta variabilidad se explica en gran parte por las diferencias de diámetro y altura, que tiene cada individuo en cada dosel del bosque, esto demuestra la relación directa entre estas dos variables paramétricas, en efecto los que se encuentran en el dosel superior, son árboles maduros, con diámetros mayores de 30cm, por su gran tamaño y grosor de fuste poseen la mayor cantidad de carbono (0,6 a 1 tC). En el análisis destacan los sectores de Bellavista y Nuevo Satipo debido a que en estos sectores aún se conservan especies de mucho valor comercial, con densidades medias a altas de la madera. La densidad varía según la especie, tal es el caso del Quillobordón *Aspidosperma subincanum* (0,82 g/cm³), Huangana caspi *Sloanea sp.* (0,81 g/cm³), Quina quina *Pouteria sp.* (0,78 g/cm³), Tamamuri *Brosimum lactescens* (0,66 g/cm³), Ucsaqui *Sclerobium paniculatum* (0,54g/cm³), Tornillo *Cedrelinga cateniformis* (0,50g/cm³), Caraña *Trattinnickia peruviana* (0,56g/cm³), Carahuasca *Gutteria decurrens* (0,52g/cm³), entre otros.

En cantidades globales, el componente arbóreo almacena el 52,8% (117,5 tC/ha) de C, esto incluyen todos los estratos arbóreos; árboles

maduros (>30 cm DAP), fustales (10-30 cm DAP), latizales altos (5-10 cm DAP) y latizales bajos (1,5-5cm Diámetro). Por otra parte Alegre *et al.*, (2002) Sugieren que la cantidad es 69% (120,3 tC/ha) para la zona de Pucallpa. En la vegetación arbustiva herbácea es de 0,43% (1,0 tC/ha), comparado con lo obtenido por Alegre *et al.*, (2002) 0,39% (0,69 tC/ha). En cuanto a madera muerta es muy variable, un árbol puede “morir en pie” como resultado de agentes bióticos extrínsecos, como sombra por competencia con canopias y lianas en estratos superiores, ataques de patógenos, perturbaciones fisiológicas abióticas extrínsecas como rayos, sequía e inundaciones y perturbaciones abióticas como vientos catastróficos. Sin embargo, los factores que causan el desraizado de los árboles pueden ser similares a las de los árboles quebrados, incluyen características intrínsecas específicas de cada especie (densidad de madera, anclaje de las raíces, arquitectura de los árboles) (Putz, 1984). Otro estudio también propone que los modos de mortandad de los árboles están relacionados con la posición en la pendiente: a lo largo de la topografía desde valles hasta las cimas, más árboles mueren “en pie” que desraizados (Chao *et al.*, 2008). En cuanto a la hojarasca y detritos (33,9 tC/ha), representando el 14,6% del total de C, es muy superior a Barbarán (2000), que indica de 1 al 3%, mientras que Asner *et al.*, (2005) sugieren que la hojarasca representa 5–6% del C total en bosques de Brasil. Esta variabilidad es debido a la heterogeneidad de especies y la dinámica de crecimiento que existe en los diferentes estratos del bosque, los que contribuyen con la acumulación de hojas y además que las enormes copas de los árboles grandes del dosel superior protegen de escorrentías.

SUT Purma Alta

La cantidad media de carbono es de 150,1 tC/ha, esta cantidad es superior a Barbarán (2000), con 109,7 tC/ha en purmas de 15 años evaluados en la zona Sarita Colonia, Baldoceda (2001), reporta 92,6 tC/ha en purmas de 10 años y 79,5 tC/ha en purmas de 8 años en Neshuya–Curimaná,



Alegre *et al.*, (2002) determinó 126,1 tC/ha para purmas de 15 años en Pucallpa, Bringas (2010), reporta 102,1 tC/ha para una purma de 11 años, mientras que para 9 y 10 años reporta valores de 50,3 tC/ha y 74,8 tC/ha respectivamente. Iquise *et al.*, (2010) en la provincia de Leoncio Prado, Huánuco, reporta 149,5 tC/ha para una purma de 12 años de edad. En el depósito arbóreo el C almacenado es 59,5 tC/ha, (78,5% del total), son inferiores a estudios de Alegre *et al.*, (2002) con 121 tC/ha para bosques secundarios de 15 años en la zona de Pucallpa y 184,4 tC/ha para la zona de Yurimaguas. Bringas (2010), determinó 21,6 tC/ha, 69,3 tC/ha y 94,7 tC/ha para bosques secundarios de 9, 10 y 11 años respectivamente, así mismo Iquise *et al.*, (2010) determinó 143,2 tC/ha para bosques secundarios de 12 años ambos estudios realizados en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

El depósito arbustivo – herbáceo almacena 1,2 tC/ha (1,6% del carbono total), Alegre *et al.*, (2002) determinó 2,2 tC/ha para bosques secundarios de 15 años en la zona de Pucallpa y 0,8 tC/ha para la zona de Yurimaguas. Bringas (2010), determinó 0,8 tC/ha, 0,2 tC/ha y 0,4 tC/ha para purmas de 9, 10 y 11 años respectivamente, así mismo Iquise *et al.*, (2010) reporta 1,3 tC/ha en purmas de 12 años para la provincia Leoncio Prado, región Huánuco.

En la hojarasca reporta 5,2 tC/ha (5,2% del total), supera ampliamente a lo determinado por Alegre *et al.*, (2002) 2,8 tC/ha para bosques secundarios de 15 años en la zona de Pucallpa y 4 tC/ha para la zona de Yurimaguas. Bringas (2010), determinó 5,2 tC/ha, 5,3 tC/ha y 6,9 tC/ha para purmas de 9, 10 y 11 años respectivamente, Iquise *et al.*, (2010) determinó 4,8 tC/ha para purmas de 12 años ambos estudios realizados en la provincia Leoncio Prado, región Huánuco. La madera muerta almacena 9,9 tC/ha con un 58,7%, debido al tiempo transcurrido (30 años aproximadamente), mucha de la madera se encuentra en estado de descomposición muy avanzado, por lo que el almacenamiento de C se aumenta en los detritos y suelo.

SUT Purma Baja

Reporta un valor de 91,9 tC/ha, comparado con otros estudios realizados en la Amazonia, superan a lo evaluado por Barbarán (2000), 19,8 tC/ha en purmas de 3 años en Sarita Colonia, Pucallpa. Baldoceña (2001), reporta 10,8 tC/ha para purmas de 2 años y 23,1 tC/ha en purmas de 4 años en Neshuya–Curimaná. Alegre *et al.*, (2002) reporta 20,9 tC/ha en purmas de 3 años en Pucallpa, mientras que para Yurimaguas obtuvo 46,9 tC/ha para purmas de 5 años de edad y 7,1 tC/ha para 3 años. Viena (2010), reporta 15,9 tC/ha para purmas de 5 años en la provincia de Leoncio Prado.

En el depósito arbóreo es 5 tC/ha que representa el 23,6%. Alegre *et al.*, (2002) determinó 13,2 tC/ha para purmas de 3 años ubicados en Sarita Colonia. Mientras que para la zona de Yurimaguas determinó 2,4 tC/ha para purmas de 3 años y 42,1 tC/ha para 5 años. Por otro lado Iquise *et al.*, (2010) indica 36,5 tC/ha para purmas de 6 años en Leoncio Prado en la región Huánuco. Mientras que en el depósito arbustivo - herbáceo se reporta 2,5 tC/ha (9,8%), Alegre *et al.*, (2002) reportan 1,9 tC/ha para 5 años y 1,2 tC/ha para 3 años en Yurimaguas y 1,8 tC/ha para Pucallpa. Iquise *et al.*, (2010), reportaron 0,6 tC/ha en purmas de 6 años en Leoncio Prado, Huánuco. El crecimiento de la vegetación causa el cierre del dosel, disminuyendo la radiación al estrato bajo y eliminando la vegetación herbácea. (Herrera, 2010). El C en la hojarasca y detritos en los pastizales almacenan 1,4 tC/ha (6,7%) que en su mayoría son especies de la familia poacea - pastos. La hojarasca almacena 3,1 tC/ha (14% del carbono total), Alegre *et al.*, (2002) reportan 5,9 tC/ha para purmas de 3 años en Pucallpa. Además Iquise *et al.* (2010), determinaron 2,1 tC/ha en purmas de 6 años en la provincia de Leoncio Prado. Indudablemente la madera muerta supera a los demás depósitos en cuanto a almacenamiento de C en purmas bajas con 51,8% (11 tC/ha), esta madera muerta se origina desde la tumba, rozo y quema de un bosque primario intervenido.



SUT Palma Aceitera

Contiene 14,4 tC/ha; Alegre *et al.*, (2002) determinó 41,4 tC/ha para Pucallpa. En Costa Rica Leblanc *et al.*, (2006) determina 23 tC/ha, de los cuales el 11,0 t/ha (48%) están en las hojas, y 11,9 t/ha (52%) en el tallo. En otras evaluaciones, De la Cruz (2010), en ensayos destructivos con plantas de 11 años determina 24,6 tC/ha. Leblanc *et al.*, (2006) mencionado por De la Cruz, 2010, en el sistema palma africana de 7 años (biomasa aérea + suelo), reportó 96,0 tC/ha, de los cuales 22,6 tC/ha, se encontró en la biomasa aérea del cultivo, esta diferencia, se explica porque estos cultivos están desarrollándose en dos zonas de vida distintas y las condiciones climáticas influyen en el desarrollo de la biomasa. Melado (2008) menciona que en Nigeria se encontró 1,6 tC/ha para plantaciones de 7 a 22 años de edad, con una densidad de plantación de 148 plantas/ha, mientras que para Malasia es 1,1 tC/ha con 6 a 18 años de edad y densidad de 122 plantas/ha y en Costa de Marfil 1 tC/ha para plantas de 10 años con densidad de 143 plantas/ha.

En plantaciones comerciales el número de hojas por planta no es superior de 40, ya que son podadas constantemente (Bulgarelli *et al.*, 2002, citado por Melado, 2008). En el primer año la palma posee una baja tasa de producción de hojas, a partir del segundo año se incrementa y después de 8 - 12 años disminuye, siendo constante, con una media de 20 - 24 hojas/año (Jaquermard, 1979, citado por Melado, 2008). En el estudio se trabajó con un promedio de 35 hojas por planta de palma aceitera adulta.

El C en hojas frescas de palma aceitera es de 5 tC/ha y representa el 34,5% del total de este sistema, este componente es muy importante, ya que el tallo o estípote solo representa el 17,9% con (2,6 tC/ha). (Lamade y Setiyo, 1996 citado por Melado, 2008) encontraron valores de C en hojas de 12,8 a 22,2 tC/ha en palmas de 8 años de edad de distintas variedades en Indonesia, comparado con nuestras cifras supera ampliamente esto quiere decir que la edad no influye en la cantidad de C ya que las

plantaciones que evaluamos se encuentran entre 11 y 19 años de edad lo mismo confirma (Corley y Tinker, 2003, citado por Melado, 2008) encontrando 8 t/ha para palmas de Malasia de un año y medio de edad, asimismo Melado (2008), afirma que para Nigeria se encontró 5 tC/ha, 6,9 t/ha para Malasia y 5,4 tC/ha para Costa de Marfil.

El contenido de C en epífitas que crecen en los espacios formados entre los raquis que quedan al momento de podar las hojas frescas de las plantas adultas de palma aceitera, con el tiempo se van descomponiendo y forman materia orgánica que sirve de hábitat de epífitos. En términos generales existe 0,1 t/ha de C en epífitos que crecen en los tallos de la palma aceitera, esto representa el 0,5% del total de carbono encontrado en este sistema. Este componente es el que aporta menos cantidad de C si se habla de totales en el sistema palma aceitera, no existe mucha investigación sobre esto ya que el valor es insignificante, pero es necesario darle la debida importancia ya que en estas plantaciones evaluadas había mucha predominancia de estos epífitos en condiciones denso, intermedio y ralo, se hizo un muestreo en estas tres condiciones y se obtuvo un promedio con la finalidad de tener un dato más exacto.

El contenido de C total en la vegetación arbustivo - herbáceo en palma aceitera es 0,5 tC/ha (3,4%). Asimismo se puede observar que los aportes de C en fuentes de biomasa no arbórea (arbustiva, herbácea y hojarasca), son en pequeñas cantidades, estos resultados coinciden con Dupouey *et al.*, (1999), quien indica que los restos vegetales superficiales representan el 6%.

El contenido de C en hojas secas en palma aceitera, se evaluaron en los 6 sectores, encontrando una alta variabilidad, ya que la cantidad de hojas secas que forman un bloque es variable en el estudio encontramos un rango de 5 a 45 hojas y el número de bloques que existe en una plantación es de 3 a 8, por tanto la cantidad de C va a variar muchísimo. La abundancia o la escases de hojas



en un bloque está relacionada directamente al manejo que los agricultores realizan en sus plantaciones, algunos optan por picar las hojas, agregar un aditivo que acelere el proceso de descomposición, para fines de abonamiento de las mismas, otros las almacenan en forma de bloques y van descomponiéndose lentamente de acuerdo a las condiciones de sitio, estas hojas se descomponen por completo en 6-12 meses (Melado, 2008). De cualquier forma estas hojas descompuestas forman parte del C, ya no en la parte aérea, más si del C en el suelo. Por otro lado Melado (2008) señala que las hojas secas podadas contienen cerca de 125 k/ha de N, 23 k/ha de P_2O_5 , 176 k/ha de K_2O y 25 k/ha de MgO. También sugiere que se deben esparcir las hojas podadas sobre toda la superficie del suelo posible o en áreas de suelo degradado, o bien, en hileras formando líneas alternas. Asimismo recomienda alternar la posición de las hojas apiladas cada 3 a 5 años, colocando racimos vacíos sobre el camino de cosecha antes de realizar este cambio. En forma general se encontró 5,2 tC/ha en hojas secas podadas que representa el 36,2% del total de C encontrado en el sistema palma aceitera. A nivel Amazonia no se tienen estudios publicados realizados sobre este componente, para realizar las debidas comparaciones en cuanto a la variabilidad de almacenamiento, acotando a esto muchos estudios revelan cantidades totales (biomasa aérea + suelo) de C por sistemas y no por componentes. El C almacenado en la hojarasca y detritos en palma aceitera almacena menor cantidad 1,1 tC/ha (7,7%), principalmente debido a la predominancia de hojas de palma podadas, además que muchos agricultores optan por depositar los racimos como plataformas en el plateado de cada planta adulta establecida, también existen pastos que quedaron de los pastizales antes aprovechados, todo esto contribuye a una menor acumulación de C en la hojarasca.

SUT Pastizal

Se reporta 96,4 tC/ha, Barbarán (2000), determinó 152,8 tC/ha en la zona Sarita Colonia en Pucallpa. Alegre *et al.*, (2002) determinó

39,5 tC/ha para pastura degradada en la zona de Pucallpa. En árboles es 0,6 tC/ha cifra muy inferior, al de la vegetación arbustivo - herbácea con 7,4% (1,6 tC/ha), Iquise *et al.*, (2010), determinaron 3,8 tC/ha (4,2%) en sistemas silvopastoriles con *Paspalum conjugatum* más especies forestales de 10 años. En la hojarasca y detritos en los pastizales almacenan 19,7 tC/ha (20,4%) que en su mayoría son especies de la familia poacea "pastos". Con respecto al contenido de carbono; en el depósito arbustivo - herbáceo y hojarasca - madera muerta se muestra que los diferentes sistemas de uso de tierra se comportan estadísticamente iguales.

SUT Cultivo

Contiene 90,1 tC/ha. Alegre *et al.*, (2002) determinó 56,3 tC/ha, para yuca mientras que para plátano determinó 16,3 tC/ha en Pucallpa. Barbarán (2000), determinó 11,7 tC/ha en cultivos de maíz, 15,5 tC/ha en yuca y 19,1 tC/ha para cultivo de plátano. El depósito arbóreo almacena 3,9 tC/ha (22,9% del carbono total) el contenido de carbono que almacena el depósito arbustivo - herbáceo es 1 tC/ha (6%). Asimismo se puede observar que los aportes de carbono en fuentes de biomasa no arbórea (arbustiva, herbácea y hojarasca), son en pequeñas cantidades, estos resultados coinciden con Dupouey *et al.*, (1999), por consiguiente el almacenamiento de carbono en la hojarasca representa el 12% (2,1 tC/ha), mientras que la madera muerta supera a todos con 58,7% (9,9 tC/ha), esto es debido a la durabilidad de la madera desde la extracción y la instalación de los cultivos (10 años).

Patrón de cambios en el stock del carbono, mediante comparaciones

El clima cálido y lluvioso de los bosques tropicales húmedos genera el rápido crecimiento de las plantas y la mayor parte del carbono se encuentra en la vegetación (Lewis *et al.*, 2009). Las reservas de carbono de los bosques tropicales húmedos varían considerablemente dependiendo de la abundancia de árboles



grandes con follaje denso, que acumulan la mayor parte del carbono. En promedio, se calcula que almacenan unas 160 tC/ha en la vegetación superficial y 40 tC/ha en las raíces.

Comparación longitudinal; para ello se está tomando en cuenta los resultados de la evaluación realizada en el año 2001 y relacionándola con la actual. Se puede observar que los resultados totales de almacenamiento de carbono no difieren a nivel global, esto se explica desde la misma dinámica del bosque, ya que si bien es cierto el bosque esta descremado (es decir ha perdido las especies valiosas), sin embargo otras especies de menor valor han tomado ese lugar en la posición sociológica del bosque, de tal manera que el paisaje siempre se observa ocupado, pero los que van a cambiar son las especies que conforman el paisaje.

Evaluación transversal; mediante una comparación de cambios en el stock de carbono de los Sistemas de Uso de Tierra. La figura 69 muestra los cambios del stock de carbono en los diferentes depósitos, de acuerdo al sistema de uso de tierra; se puede observar que el mayor stock de carbono arbóreo se encuentra en el sistema de uso de bosque primario remanente el que muestra una mediana de 121,5 t/ha, teniendo a descender en el sistema palma aceitera y pastizal a valores de 7,8 t/ha y 0,6 t/ha respectivamente; tal como se muestra en el cuadro 47.

El cambio de stock de carbono en el depósito arbóreo se da de la siguiente manera; el bosque primario remanente posee 121,5 tC/ha representado el 52,2%, cuando se cambia de uso de tierra a pastizal, decrece en 0,6 tC/ha (0,25%). Además en el estudio queda demostrado que los bosques almacenan la mayor cantidad de Carbono en sus componentes según su composición de la vegetación, tanto lo pueden demostrar los sectores; Las Palmeras (158,6 tC/ha), Nuevo Satipo (157,4 tC/ha) y Bellavista (151,3 tC/ha), que tienen por composición florística en el estrato arbóreo, las especies de maderas con alta densidad;

Tamamuri 0,66 g/cm³, Tushmo 0,79 g/cm³, Parinari 0,77 g/cm³, Requia blanca 0,65 g/cm³, Huangana Caspi 0,81 g/cm³, Quina quina 0,78 g/cm³, Tanque 0,81 g/cm³, Paujil ruro 0,62 g/cm³, Quillobordon 0,82 g/cm³, entre otros, además de lianas y palmeras como Ungurahui, Huasai, Huacrapona e Inayuga. (Chave, 2006).

Con respecto a las lianas solo representaron un 3,3% de C, tal como lo menciona Putz (1984), Los bejucos son un grupo diverso y abundante de plantas en los bosques tropicales. Se ha estimado que las lianas representan alrededor del 30-60% de las especies y el 2-4% de la biomasa. Así mismo las lianas causan problemas de daños al fuste de los árboles, disminución de la tasa de crecimiento, supresión a la regeneración de árboles en claros de aprovechamiento. De la misma forma que los bejucos conectan las copas de los árboles entre si, provocando la caída por arrastre de plantas vecinas durante el aprovechamiento (Putz, 1984). Por tal motivo se asume que la gran cantidad de madera muerta encontrada en los pastizales fueron desde la época de aprovechamiento selectivo de especies maderables, sobre todo de tocones y ramas, (el fuste fue extraído del lugar), y siendo estas especies de densidad alta, su durabilidad persiste ante las condiciones de sitio, es este factor quien hace variar la cantidad de C encontrado en los pastizales, en contraste con las plantaciones de palma aceitera. Las plantaciones de palma aceitera presentan mayor cantidad de C en los sectores (Abejaico, Las Palmeras, Los Olivos y Nuevo Satipo), comparado a los pastizales, ya que en ellas la misma composición de las plantas de palma hace un buen porcentaje porque incluyen tallo, hojas frescas y secas, epífitos en el tallo.

La proporción de raíces finas es ligeramente mayor en sitios pobres o que presentan restricciones para el crecimiento y para la penetración de raíces, que es una característica del área donde se desarrolló el presente trabajo: suelos ácidos y de baja fertilidad. El análisis de variancia nos muestra que existen diferencias



significativas para la característica biomasa de raíces finas en las profundidades muestreadas. En los primeros 10cm de profundidad, se presenta una mayor cantidad de biomasa tanto para bosque, pasto y palma aceitera superiores a todas las demás profundidades. Para el caso del bosque, esta cantidad representa el 53,6%, del total de la biomasa en el área evaluada. A profundidades mayores de 10cm hasta los 50cm, la cantidad de biomasa existente es de 3,34 t/ha, que equivale al 34,6% del total del área evaluada y son significativamente superiores a los 50cm restantes de profundidad, cuyos valores de 1,13 t/ha de biomasa representan el 11,7% del total de biomasa existente.

Para el caso de la pastura, esta cantidad representa el 64,1%, del total de la biomasa

en el área evaluada. A profundidades mayores de 10cm hasta los 50cm, la cantidad de biomasa existente es de 1,9 t/ha, que equivale al 27,3%, del total del área evaluada y son significativamente superiores a los 50cm restante de profundidad, cuyos valores de 0,6 t/ha de biomasa, representan el 8,6% del total de biomasa existente en el suelo de este sistema. Para el caso de la palma aceitera esta cantidad representa el 54%, del total de la biomasa en el área evaluada. A profundidades mayores de 10 cm hasta los 50 cm, la cantidad de biomasa existente es de 3,3 t/ha, que equivale al 34,8%, del total del área evaluada y son significativamente superiores a los 50cm restantes de profundidad, cuyos valores de 1,0 t/ha de biomasa, representan el 11,1% del total de biomasa existente en el suelo de este sistema.



Conclusiones

- Con el cambio de uso del bosque se produce una degradación y pérdida de la biomasa y del carbono almacenado, que no es posible recuperar prontamente.
- Con respecto a la biomasa aérea, se encontró diferencias significativas entre el Bosque Primario Remanente y los otros SUT, siendo estos; 314,7 t/ha para el Bosque Primario Remanente, 104,4 t/ha para Purma Alta, 45,1 t/ha para Purma Baja, 44,3 t/ha para Pastizal, 35,6 t/ha para Cultivos y 33,9 t/ha para Palma Aceitera.
- Con respecto a biomasa bajo el suelo, se encuentran diferencias significativas entre SUT, siendo 9,6 t/ha para Bosque Primario Remanente; 9,5 t/ha para Palma Aceitera, 7,0 t/ha para Pastizal, de 6,4 t/ha para Purma Alta, 5,7 t/ha para Purma Baja y 3,5 t/ha para Cultivos.
- Con respecto a la comparación 2001 vs 2011 a nivel de biomasa, se observan diferencias en cuanto a la composición florística que estaría explicado por la dinámica del bosque, especies nuevas reemplazan la posición fitosociológica del árbol muerto, pero con especies con menor densidad y valor comercial.
- Con respecto al almacenamiento total de Carbono, se evidencia diferencias significativas entre los diferentes SUT, los bosques primarios remanentes reportan 307,4 tC/ha, 149,8 tC/ha purma alta, 142,3 tC/ha para palma aceitera, 96,1 tC/ha para pastizal, 93,5 tC/ha para purma baja y 90,5 tC/ha para cultivos.
- Con respecto a la comparación entre el depósito arbóreo se observa diferencias significativas, el Bosque Primario reporta 172,4 tC/ha, Purma Alta 59,5 tC/ha, Palma Aceitera 36,5 tC/ha, Purma Baja 5,0 tC/ha, Cultivo 3,8 tC/ha y Pasturas 0,1 tC/ha.
- Con respecto al depósito arbóreo se observa diferencias significativas, en Purma Baja 2,1 tC/ha, en las Pasturas 1,6 tC/ha, el Bosque Primario R. 1,0 tC/ha, en la Purma Alta 1,2 tC/ha, en el Cultivo 1,0 tC/ha y en la Palma Aceitera 0,5 tC/ha.
- Con respecto al depósito hojarasca y madera muerta, se observa diferencias significativas, el Bosque Primario R. 33,6 tC/ha, Pasturas 19,7 tC/ha, Palma Aceitera 6 tC/ha, Purma Alta 15,1 tC/ha, Purma Baja 14,1 tC/ha, y en Cultivo 12,0 tC/ha.
- Con respecto al depósito raíces finas, se observa diferencias no significativas entre Bosque Primario R. 4,8 tC/ha Palma Aceitera que reporta 4,7 tC/ha, Purma Alta 3,3 tC/ha, Pasturas 3,5 tC/ha y significativas con Cultivo 1,8 tC/ha.
- Con respecto al depósito suelo, se observa diferencias significativas mínimas entre todos los depósitos, Bosque Primario R. 71,4 tC/ha, Purma Alta 71,0 tC/ha, Palma Aceitera 71,8 tC/ha y, Purma Baja 69,7 tC/ha, Pasturas 71,1 tC/ha, y Cultivo 71,4 tC/ha, lo cual demuestra que es un depósito estable.
- Con respecto a la biomasa encontrada en las plantaciones de Palma Aceitera 33,9 t/ha, esta menor cantidad estaría explicado por las labores culturales en la instalación y manejo agronómico del cultivo y al tiempo transcurrido desde la tumba del bosque primario (aproximadamente 30 años).



Recomendaciones

- Continuar con estudios de medición de Carbono en otras regiones del país, utilizando la combinación de metodologías IPCC y de la Universidad de Gottingen, ya que aumentan la precisión de los resultados.
- Complementar con estudios socioeconómicos, que permitan proponer políticas más sostenibles para aumentar la capacidad de almacenamiento de carbono en los SUT.
- Proponer medidas para conservar los bosques primarios remanentes, ya que son los mejores “sumideros de carbono”, tal como se demostró en la evaluación del rodal E.
- Trabajar en modelos de producción ecoeficientes como el agroforestal y silvopastoril, en las evaluaciones de pasturas se demuestra que la combinación árboles con pastos dio mejores resultados que plantación pura.
- En el caso de la palma aceitera se debería cambiar el modelo de manejo agronómico actual, reincorporando el producto de las hojas caídas y los residuos de la producción, que aumentará la cantidad de carbono almacenado y minimizará los costos de producción.
- En el caso de las pasturas de *Brachiaria decumbens* son un buen potencial de captura de carbono en sus raíces, se recomienda seguir trabajando con estas pasturas mejoradas, renovando aquellas pasturas degradadas e incorporando especies para la producción silvopastoril.



Revisión Bibliográfica

- Alegre, J.; Arévalo, L. y Ricse, A. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana. ICRAF/INIA. Perú.
- Alegre, J.; Arévalo, L.; Ricse, A.; Callo-Concha, D. y Palm, C. 2001. Carbon sequestration For different land use systems in the humid tropics of Peru. Annual Meeting of American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Charlotte North Carolina. October 21-25: <http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>
- Arévalo, L.; Alegre, J. y Palm, CH. 2003. Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Ministerio de agricultura. Pucallpa, Perú. 24 p.
- Asner, P.; Knapp, E.; Broadbent, N.; Oliveira, C.; Keller, M. y Silva, N. 2005. Selective Logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310 (5747): 480-482.
- Baldoceda, R. 2001. Valoración económica del servicio ambiental de captura de CO₂ en la zona de Neshuya – Curinamá – Pucallpa. Conservación y manejo de la biodiversidad y ecosistemas frágiles BIOFOR. Programa de becas de investigación sobre valoración económica de la diversidad biológica y servicios ambientales.
- Barbarán, J. 2000. Cuantificación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en Campo Verde. Tesis Pucallpa, Perú. UNU. 78 p.
- Bringas, H. 2010. Estimación del carbono almacenado en un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) comparado con un bosque secundario de tres edades. Tesis Tingo María, Perú. UNAS. 100 p.
- Chao, K.; Phillips, O. y Baker, T. 2008. Wood density and stocks of coarse woody debris in a northwestern Amazonian landscape. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 795-805.
- Chave, J. 2006. Medición de densidad de madera en árboles tropicales, Manual de campo. Université Paul Sabatier - Lab. Evolution et Diversité Biologique, France.
- De La Cruz, M. 2010. Estimación del carbono almacenado en plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) de diferentes edades en Pumawasi – Uchiza. Tesis. Tingo María, Perú. UNAS. 89 p.
- Dupouey, J.; Siguand, G.; Bateau, V.; Thimonier, A.; Dhole, J. y Nepveu, G. 1999. Stocks et Flux de Carbone Dans les Forêts Françaises. C.R. Acad. Agric. Francia. 310 p.
- Finegan, B. 1992. El potencial de manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de tierras bajas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 27p.
- Gayoso, J.; Guerra, J. y Alarcón, D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 154 p.
- Gobierno Regional de Ucayali (GOREU). 2012. Plan de desarrollo concertado 2011 – 2021. 12May2012: <http://www.regionucayali.gob.pe/>.



- Herrera, J. 2010. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao *Theobroma cacao* L. de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado. Tesis. Tingo María, Perú. UNAS. 93 p.
- Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP). 2003. Zonificación ecológica económica de la cuenca del río Aguaytía, Pucallpa.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2009. Perfil sociodemográfico del departamento de Ucayali. Censos Nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2008. Censos Nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda. Principales indicadores demográficos, sociales y distrital, Ucayali.
- Iquise, A.; Pocomucha V. y Vargas, Y. 2010. Carbono almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del distrito de José Crespo y Castillo, Huanuco, Perú. UNAS. 92 p.
- Leblanc, H.; Russo, R.; Cueva, J. y Subia, E. 2006. Fijación de carbono en palma aceitera en la región tropical húmeda de Costa Rica. Universidad EARTH, Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica. *Tierra Tropical* (2006) 2 (2): 197-202.
- Lewis, L.; López, G.; Sonke, B.; Ffum-Baffoe, K.; Baker, T.; Ojo, L.; Phillips, O.; Reitsma, J.; White, L.; Comiskey, J.; Marie-Noel D.; Ewango, C.; Feldpausch, T.; Hamilton, A.; Gloor, M.; Hart, T.; Hladik, A.; Lloyd, J.; Lovett, J.; Makana, J.; Remy, M.; Yadvinder, M.; Frank, M.; Ndangalasi, H.; Peacock, J.; Peh K.; Sheil, D.; Sunderland, T.; Swaine, M.; Taplin, J.; Taylor, D.; Thomas, S.; Votere, R. y Woll, H. 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests, *Nature*, 457, 1003-1006.
- Melado, H. 2008. Modelo de cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Honduras. Universidad politécnica superior de ingenieros agrónomos, departamento de producción vegetal: fitotecnia. Madrid, España.
- Municipalidad Provincial de Padre Abad (MPPA). 2008. Plan vial participativo.
- Putz, F. 1984. The natural history of lianas on Barro Colorado Island, Panama. *Ecology*, 65, 1713–1724.
- Salazar, E. 2012. Cuantificación del carbono en la biomasa aérea de tres diferentes usos de la tierra en la cuenca de Aguaytía sectores: Irazola, Curimaná y Campo Verde – región Ucayali. Tesis. Tingo María, Perú. UNAS. 138 p.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). 2001. Datos climáticos. www.senamhi.gob.pe
- Sociedad de Peruana de Ecodesarrollo (SPDE). 2006. Informe sobre el diseño e implementación del sistema integral de vigilancia y control forestal con participación ciudadana en Aguaytía y San Alejandro.
- Ugarte, L. 2009. Migración, carreteras y la dinámica de la deforestación en Ucayali. En: A alternativa agroflorestal na amazonia em transformacao. Brasilia, Empresa Brasileira de Pesquisas Agronomicas – EMBRAPA.
- Viena, H. 2010. Estimación de la biomasa y almacenamiento de carbono bajo cuatro sistemas de uso de la tierra en la provincia de Leoncio Prado. Tesis. Tingo María, Perú. UNAS. 64 p.
- White, D.; Velarde, J.; Alegre, C.; Tomich, P. 2005. Alternatives to slash-and-burn (ASB) in Peru, summary report and synthesis of phase II. Alternatives to slash-and-burn Program, Nairobi, Kenya.
- Yanggen, R. 2000. Sustainable agriculture and deforestation in the Peruvian Amazon. Dissertation, Michigan State University.



CAPITULO 4

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA DEL BOSQUE ANDINO

Por: José Eloy Cuellar Bautista
Rosario Magali Zanabria Mallqui

Resumen ejecutivo

El presente estudio se desarrolló en cinco sub cuencas adyacentes de la Cuenca de Río Mantaro en la región Junín, se cuantificó la biomasa y carbono almacenado en seis sistemas de uso de tierra, para ello se establecieron 30 parcelas de muestreo de 100x20m (2000m²), en cada uno de estos sistemas se evaluaron los cinco depósitos de carbono del SUT (IPCC, 2003): arbóreo, arbustiva/herbácea, hojarasca/materia muerta, raíces y carbono orgánico del suelo, mediante análisis de laboratorio y densidad aparente. Los valores totales de acumulación de biomasa total en promedio fueron para la plantación de *Pinus radiata* D. DON., 265,1 t/ha; bosque de *Polylepis incana* H&B 132,8 t/ha; plantación de *Eucalyptus globulus* LABILL 100,6 t/ha; bosque de *Alnus acuminata* H.B.K. 81,9 t/ha; cultivo de *Vicia faba* 29,6 t/ha; pastizales 19,2 t/ha; siendo el componente arbóreo el que mayor biomasa contiene. El carbono fijado alcanzó valores de 165,1 tC/ha a 321,6 tC/ha en plantaciones de *P. radiata*; de 111,9 tC/ha a 160,4 tC/ha en bosques de *P. incana*; 102,2 tC/ha y 147,7 tC/ha en plantaciones de *E. globulus*; 109,6 tC/ha a 142,9 tC/ha en los bosques de *A. acuminata*; de 69,8 tC/ha a 116,4 tC/ha en pastizales y 49,4 tC/ha a 119,5 tC/ha en el cultivo de *V. faba*. Entre los depósitos el suelo orgánico es el componente que mayor carbono almacena. Se concluye que la mayor cantidad de carbono fijado se encontró en el sistema de uso de tierra plantación forestal en comparación con los demás sistemas, seguido de los bosques nativos, siendo los pastizales y el cultivo estacionario los que contienen la de menor cantidad de carbono fijado. Por lo tanto, los suelos de pastizales son los más estables y ricos en carbono, por la gran biomasa radicular que contribuye a la rizodeposición y la adición de excretas de los animales. Se recomienda trabajar en sistemas agroforestales y silvopastoriles para un mejor manejo del paisaje andino.



Objetivo

Determinar el patrón de cambios en la biomasa y carbono que se produce por el cambio de uso del bosque mediante evaluaciones destructivas y no destructivas para comprender la dinámica del carbono en el ecosistema Andino.

La Cuenca del Mantaro

La cuenca del río Mantaro se extiende sobre los departamentos de Pasco, Lima, Junín, Huancavelica y Ayacucho. Las ciudades más importantes de la zona son Jauja, Concepción, Huancayo, Chupuro, Viques, Sapallanga, Chupaca y Huachac. (Rodríguez, 1996 citado por Trasmonte *et al.*, 2010).

El Valle del Mantaro

Es un valle geográfico fluvial interandino del Perú, formado por el río Mantaro y numerosos afluentes que bajan en ambas márgenes, ubicado en el suroeste del departamento de Junín, al este de la Cordillera Central de los Andes, al sur del nudo de Pasco. El presente estudio se desarrolló en cinco sectores del Valle del Mantaro de la región Junín. Comprende las siguientes altitudes: Punto más bajo, 3 160msnm puente Chupuro (Río Mantaro, lado sur del valle); punto más alto 5 557msnm nevado Huaytapallana, (lado nor este de la ciudad de Huancayo).



Figura 71. El valle del Mantaro.

Ubicación Política y Geográfica

Geográficamente está localizado en las coordenadas siguientes: Longitud Oeste: 75°03'07" (Cerro Pucará, lado sur este de Concepción) a 75°32'42" Oeste (Cerro Chalhuacochoa, Oeste de Huancayo) y Latitud Sur:

11°36'53" (Cerro Padre Corral, Norte de Jauja) a 12°20'52" Sur (Cerro Huishpuquio, Suroeste de Huancayo). Políticamente se encuentra ubicado:

Región : Junín
Provincias : Huancayo, Concepción.
Distrito : Huancayo, Tambo, Pucará y San Gerónimo de Tunan.
Área de Estudio : Valle del Mantaro
Microcuencas de Shullcas, Raquina, San Agustín de Cajas, Casacancha, Yacus.

Aspecto Biofísico

El área comprendida por el Valle del Mantaro, puede considerarse dividido en dos niveles; un nivel inferior sensiblemente plano con una longitud aproximada de 70km y una altura media de 3 200 msnm, está comprendida entre un punto cercano a Acolla al norte de Jauja y Pucará situado al sur de Huancayo; y un nivel superior a las dos márgenes del valle, correspondiente a las áreas denominadas "altinas" y a una altura media de 3 600msnm (Tossi, 1960).

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge, que se fundamenta en criterios bioclimáticos como parámetros que definen la composición florística de la zona, en el valle del Mantaro, se han identificado tres (03) zonas de vida:

- Bosque seco – montano bajo tropical (bs-MBT), que abarca desde los 3 300 msnm hasta los 3 500 msnm.
- Bosque húmedo – montano tropical (bh – MT), que corresponde de 3 500 msnm a 3 900 msnm.
- Páramo muy húmedo – subalpino tropical (pmh – Sa T). Tossi, (1960).

El relieve es suave, con pequeñas elevaciones y depresiones por donde drenan las aguas durante épocas de precipitación pluvial, siendo el Mantaro el principal río del valle, recorriendo de Norte a Sur y separando las dos márgenes, derecha e izquierda. (Trasmonte *et al.*, 2010).



El clima se caracteriza por ser subhúmedo, templado y seco. Las lluvias en el valle del río Mantaro acumulan en promedio unos 650mm al año, siendo la zona de Chupaca la que más precipitación registra (757,5mm/año en la estación de Huayao), mientras que la zona sur presenta menores precipitaciones (520mm/año en la estación de Viques). Las lluvias más intensas ocurren en los meses de enero, febrero y marzo, mientras que junio, julio y agosto son los meses más secos. La temperatura promedio anual para todo el valle varía entre 19,4°C (máx.) y 4,1°C (mín.), siendo los meses de octubre y diciembre donde se dan las temperaturas máximas más altas, y entre junio-julio las temperaturas mínimas más bajas, humedad relativa media de 65% (Silva *et al.*, 2010, citado por Trasmonte *et al.*, 2010).

Recursos de flora y fauna

Entre las más representativas de fauna tenemos: Tórtola *Metriopelia melanoptera*, Perdiz *Notoprocta pentlandii*, Zorzal o Chichuaco *Turdus chiguanco*, Gorrion *Passer domesticus*, Jilguero *Carduelis carduelis*, Picaflor *Phaetormis superciliosus*, Pato silvestre *Anas versicolor*, Huallata *Chloephaga melanoptera*, Zorrillo *Conepatus chinga*, Venado *Oidecoileus virginianus*, Vizcacha *Laidium peruanum*, entre otros. En flora arbórea tenemos Queñual *Polylepis sp*, Quishuar *Buddleia sp*, Aliso *Alnus jorullensis*, Molle *Schinus molle*, Tara *Caesalpinea spinosa* y entre especies introducidas tenemos Eucalipto *Eucalyptus sp* y Pino *Pinus sp*. En arbustos Chinchilcoma *Mutisia viciaefolia*, Marco *Ambrosia peruviana*, Chamana *Dodonea viscosa*, Mutuy *Cassia sp* y Retama *Lygos sphaerocarpa*, siendo esta última especie introducida.

Aspectos socioeconómicos

El valle tiene una población aproximada de 700 000 habitantes. Se estima que 63% de la población total de Junín se encuentra en situación de pobreza y 25% en pobreza extrema. En el ámbito rural la pobreza extrema afecta al 51% de la población, casi con 25% de

analfabetos, nivel que llega al 37% en mujeres. En relación a las actividades económicas, el sector agrario continúa siendo la principal actividad económica, casi el 20% del producto bruto interno (PBI) de la región es agrario y la población económicamente activa (PEA) dedicada a las actividades agropecuarias es 33% del total. Sin embargo en los últimos años se ha observado un notable descenso en el aporte del sector agropecuario a la economía regional y en la absorción de la mano de obra debido a una serie de factores directamente relacionados al proceso de apertura de nuestros mercados internos a productos agrícolas subsidiados en el marco de la globalización, acelerándose los procesos migratorios del campo a las ciudades y el paulatino abandono de tierras productivas.

El valle del Mantaro es netamente agrícola y constituye el más amplio de la sierra del Perú. Se estima que en la parte baja se cultivan unas 40 000 y llegando a 70 000 ha si se incluyen las lomas alledañas. En cuanto a la agricultura, las áreas de cultivo se encuentran entre los 3 000 y 3 400 msnm, están ubicadas en las dos márgenes del río Mantaro y sus correspondientes terrazas de producción, en las provincias de Jauja, Huancayo, Concepción y Chupaca. Predominan los cultivos de Papa, Maíz (choclo), Cebolla, Arveja (verde), Habas, Cebada y Alcachofa. En las partes altas especies nativas como Papa, Mashua, Olluco, Quinoa, Oca y Maca, orientada básicamente para el consumo familiar.



Figura 72. En la agricultura se suele cultivar a favor de la pendiente, favoreciendo la pérdida de suelo.



Características de las zonas de estudio

Sub cuenca de Shullcas:

La sub cuenca Shullcas forma parte de la cuenca del río Mantaro está asociada al nevado Huaytapallana, y ubicada en la vertiente izquierda de la Cuenca, conformada por los distritos de Huancayo y El Tambo; incluye a los anexos Uñas, Vilcacoto, Cullpa Alta, Cullpa Baja, Cochac Chico, Cochac Grande, Incho Aza y Acopalca. Su superficie es de 232,51km².



Figura 73. Plantaciones exóticas de eucalipto en cabezeras de cuenca, Mantaro.

El promedio multianual de caudal se encuentra en el orden de los 3,16m³/s variando entre 8,03m³/s en el mes de febrero y de 1,21m³/s en el mes de agosto; las demandas hídricas corresponden principalmente al uso poblacional y agropecuario, los sistemas regulados como son Huacracocha, Chuspicocha y Lazo Huntay aportan en el periodo de estiaje al sistema, las dos últimas lagunas que se originan en el nevado Huaytapallana, se encuentran en proceso de extinción por sobreexplotación y manejo inadecuado. El balance hídrico muestra importante déficit entre los meses de junio a octubre.

Sub cuenca de Raquina

Se ubica en la región Junín, provincia de Huancayo, distrito de Pucara dentro del Mantaro y microcuenca de Chaclas a una altitud promedio de 3 550 msnm. Temperatura promedio 12°C, precipitación anual 900mm, el periodo de helada son en los meses de mayo, junio, julio, agosto, el periodo de sequía es en los meses de mayo, junio, julio, agosto, cuenta con las siguientes zonas de vida; sabana o bosque seco montano, pradera o

bosque húmedo montano. La fisiografía es variada, existen quebradas profundas, como Pucaquio y Talhuis, pendientes pronunciadas como el sector Vista Alegre, Gringo Machay entre otras también hay zonas semi planas como el centro poblado, plaza principal, Cullcuchacai.

Sub cuenca de San Agustín de Cajas

Limita al norte con el distrito de San Jerónimo de Tunan, al este con el distrito de Saños, al oeste con el distrito de Orcotuna y al sur con el distrito de El Tambo. El clima es templado, seco con días de intenso calor envuelto con un cielo azul, y contrariamente con noches frías entre los meses de abril a septiembre. Las lluvias y granizadas son muy frecuentes. Con vientos en el mes de agosto, y la época de lluvias es de octubre a marzo.

Sub cuenca Achamayo – Zona Casacancha

Al no contarse con registros de descargas medias mensuales, estas generaron mediante un proceso de simulación lluvia – escorrentía, siendo el promedio multianual de 3,8m³/s variando entre 6,6m³/s en el mes de marzo y de 0,7m³/s en el mes de agosto; de acuerdo a la evaluación no existe regulación significativa en la cuenca, las demandas hídricas corresponden principalmente al uso poblacional y agropecuario. El balance hídrico muestra importante déficit entre los meses de julio-setiembre, en cuanto a las máximas avenidas del río Yacus, se ha determinado un caudal máximo para un periodo de retorno de T=100 años de 2,4m³/s, estos caudales extraordinarios que se presentan en las épocas de avenidas provocan inundaciones en la parte baja de la cuenca.

Sub cuenca Yacus – Zona Mantaro

Los registros de descargas medias mensuales, se generaron mediante un proceso de simulación lluvia–escorrentía, siendo el promedio multianual de 3,1m³/s variando entre 7,8m³/s en el mes de marzo y de 0,5m³/s en el mes de agosto; de acuerdo a la evaluación no existe regulación significativa en la cuenca, las demandas hídricas corresponden principalmente al uso poblacional y agropecuario. El balance hídrico muestra importante déficit entre los meses de junio-setiembre.

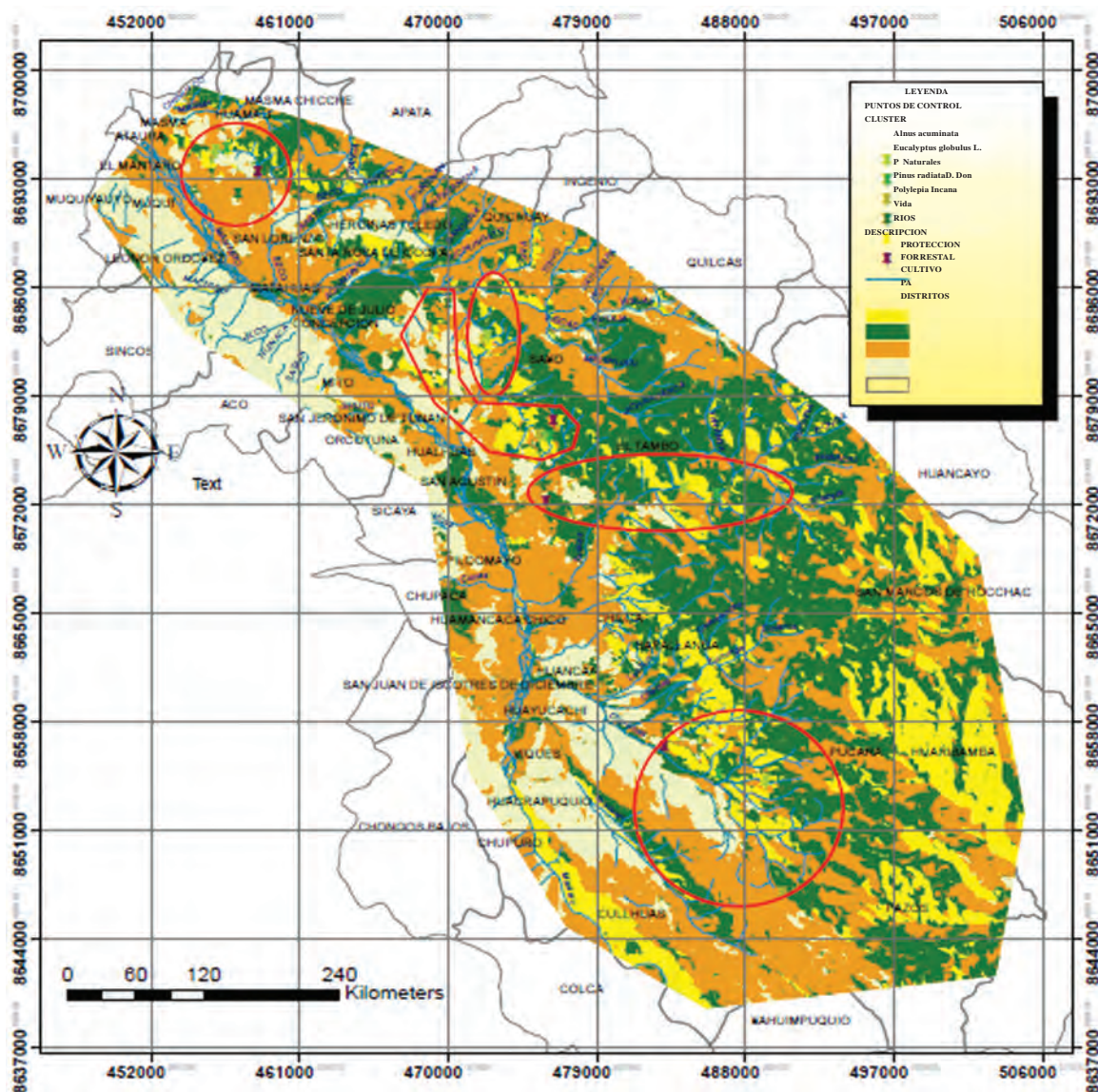


Figura 74. Ubicación del valle del Mantaro.

Sistemas de uso de la tierra evaluados en la Cuenca

Plantaciones forestales

En el Perú existen 10 millones de hectáreas de tierras aptas para la instalación de plantaciones forestales, de las cuales 7,5 millones se ubican en la sierra (Schwartz, 2004). Las plantaciones forestales instaladas, hasta el año 2012, según las estadísticas del INRENA, ascienden a 726 304ha, de las cuales más del 50% se encuentran en seis departamentos, que en orden de importancia son: Cusco, Cajamarca, Ancash, Junín, Apurímac y Ayacucho. Estudios recientes afirman que en la Sierra y en la Costa, existe una superficie aprovechable

de 100 567 ha de eucalipto y 14 721 ha de pino; estas plantaciones tienen un volumen aprovechable de 8 760 961m³ y 1 776 989m³ respectivamente. El mismo estudio señala que los departamentos que tienen mayor producción forestal, en orden de importancia son: Junín, Cusco, La Libertad, Cajamarca, Huánuco y Ancash, siendo Junín el que ocupa el primer lugar en producción de Eucalipto con 18,3%; y Cajamarca el que ocupa el primer lugar en producción de pino, con 61,1%. (INEI, 2014).

Plantación de pino

Es natural de la región central de América entre México y Estados Unidos, y está muy



difundido en la región andina. En el Valle del Mantaro, podemos encontrar dos géneros muy difundidos:

- a. El *Pinus radiata* es un árbol de aproximadamente 30m de altura, es una especie de crecimiento rápido ya que alcanza un diámetro de fuste de más de 40 pulgadas (1m) en 25 ó 35 años. Posee una copa aplanada o abovedada en su madurez, con ramas inferiores extendidas. Tiene el fuste recto con ritidoma grueso de color pardo-rojizo. Las hojas o acículas son como agujas de unos 15cm de longitud agrupadas en tres. Es una especie de gran interés para la industria por la calidad de su madera y rápido crecimiento. La madera se aprovecha para diferentes fines, entre las que destacan son la pasta de papel y la fabricación de tableros de partículas.



Figura 75. Plantación de Pino.

- b. El *Pinus patula*, de fuste recto y cilíndrico, puede alcanzar 40m de altura y hasta 150cm de diámetro. Tiene copa cónica, la corteza papirácea, escamosa y de color rojizo en la parte superior del tallo, y en las ramas las acículas en grupos de 3 y a veces 4, raramente 5, color verde claro brillante. Prefiere suelos profundos, húmedos, fértiles, bien drenados, pH neutro o ácido, texturas franco-arenosas a franco-arcillosas. Es utilizado para contrachapados, chapas, baja lenguas, palillos; en forma de madera laminada y densificada, puede usarse en mangos para herramientas, objetos torneados y vigas.

Plantación de Eucalipto

El *Eucalyptus globulus* Labill es la especie más utilizada en las plantaciones del Perú, particularmente en la sierra, es el árbol maderable que ocupa más del 90% de la extensión de plantaciones en el Perú, este árbol totalmente adaptado a las condiciones de la sierra (se le puede ubicar en altitudes que van de 2 000 a 3 500msnm) presenta como características relevantes su rusticidad, la aptitud de su madera para construcciones rurales, puntales de mina, fabricación de mueble, leña y otros usos que hacen que su demanda sea generalizada en la sierra (Gamara, 2001).

El *E. globulus* es uno de los árboles más conocidos de la flora australiana ya que por su rápido crecimiento se ha extendido por todo el mundo para su aprovechamiento industrial. En la zona andina del país se ha generalizado y es común encontrarlo en todas las regiones. Prefiere suelos ligeramente ácidos y zonas templadas y húmedas. No resiste el frío intenso y es un poco sensible a las sequías prolongadas. Se ha cultivado intensamente para eliminar la humedad en zonas pantanosas; es cultivado en muchas regiones del mundo para la producción de madera, fabricación de pulpa de papel y obtención de aceite esencial.



Figura 76. Plantación forestal de Eucalipto.



Bosques nativos

El sistema de bosques nativos en la zona de estudio está compuesto por la especie Queñua *Polylepis incana* H&B de la familia Rosacea y la especie Aliso *Alnus acuminata* H.B.K. de la familia Betulacea (INRENA, 2001). Los bosques andinos han sido altamente intervenidos y su vegetación ha sido reemplazada por cultivos (FAO, 2001). Los bosques nativos andinos son los más altos del mundo y se extienden en las cimas y los valles interandinos de muchos departamentos del Perú (Huánuco, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Cajamarca y Cusco). Actualmente ocupan una extensión de poco más de 90 000 hectáreas. (Orme *et al.*, 2005).



Figura 77. Bosque de *Polylepis*.

El bosque andino es el remanente forestal que se halla en las estribaciones de las cordilleras que conforman los Andes, la vegetación se ubica en sitios húmedos o secos y se hallan en riesgo de extinguirse a causa del avance de la agricultura y ganadería y por el uso en viviendas como material de construcción o como fuente de energía en la cocción de alimentos. Los bosques andinos se encuentran en constante cambio debido a una serie de factores naturales e influenciados por el hombre, los cuales provocan variaciones en la composición de la vegetación y las características de los ecosistemas. (Aubad *et al.*, 2008).

Bosque de Queñua

Los bosques de Queñua (*Polylepis*) representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3 500 y 4 400msnm, y alcanza hasta 5 000msnm. El género *Polylepis* tiene 27 especies (Mendoza y Cano 2011, mencionados



Figura 78. Plantación de Queñua.

por Zutta *et al.*; 2012). Todas las especies son arbustos o árboles, algunos hasta 10m de altura y comparten características morfológicas, que incluyen troncos rojos y torcidos, corteza delgada y exfoliante, y pequeñas hojas imparipinnadas y ocupan una gran variedad de hábitats, en el límite superior de los bosques de neblina hasta los volcanes áridos del altiplano.

Sin embargo, durante milenios las actividades humanas en los Andes han destruido más del 95% de estos bosques, restringiéndolos a hábitats especiales y modificando su composición florística y faunística. Los bosques de *Polylepis* son recursos vitales para la conservación de la biodiversidad y funciones hidrológicas. Sin embargo, estos ecosistemas andinos de gran altitud son cada vez más vulnerables debido a la presión antropogénica, como la fragmentación, deforestación y el incremento de la producción de ganado.

Bosque de Aliso

Los bosques de Alisos (*Alnus*) son un grupo de árboles típicos del hemisferio norte, con unas 30 especies que viven en los bosques y otras zonas arboladas de Norteamérica, Europa y Asia. La única especie en el mundo que ha logrado bajar en forma silvestre al sur del Ecuador es *Alnus acuminata*. Los antepasados fueron poblando Sudamérica procedentes de Norteamérica, luego de la formación del puente montañoso (Centroamérica) que une a estos dos continentes, ocurrida hace unos 3 millones de años. En la actualidad, la distribución natural va desde México hasta Panamá y continúa bajando por



los Andes hasta el norte de Argentina. Los Alisos son bien conocidos por su afinidad con el agua. Su hábitat más típico son las orillas de los ríos y quebradas, los lugares pantanosos y sitios con suelo fértil y húmedo. Son árboles resistentes y es posible ver ejemplares algo achaparrados creciendo en suelos más secos y en lugares erosionados. El Aliso es uno de los árboles de más rápido crecimiento en la región andina. Es un árbol pionero, sus semillas germinan en terrenos descubiertos de vegetación y las plántulas se elevan velozmente. Dependiendo de la calidad del sitio estas especies pueden alcanzar entre 15 a 35m de altura y 35 a 40cm de diámetro.



Figura 79. Bosque natural de Aliso.

Cultivos

El sistema de cultivo anual está compuesto por la especie agrícola *Vicia faba* de la familia Fabaceae. Puno y Cusco son los principales productores de este cultivo en el país, con volúmenes anuales de producción superiores a las 10 000 y 17 000 toneladas, respectivamente, los que representan el 45% de la producción nacional. Otro 40% de la producción de este producto proviene de otras regiones productoras, dentro de los que se encuentran Pasco, Áncash, Cajamarca, Apurímac,



Figura 80. Cultivo anual de Habas.

Huancavelica, Junín, Huánuco, Ayacucho y La Libertad. (Zutta *et al.*, 2012).

Pastizales

El sistema montañoso de los Andes del Perú representa el espacio geográfico en donde se distribuyen altitudinalmente seis grandes pisos ecológicos que van desde los 500 hasta los 6 760msnm, y unidades hidrográficas llamadas microcuencas con vertientes hacia los océanos pacífico y atlántico. Los pastos altoandinos están formados por un grupo numeroso de plantas que pertenecen a las gramíneas, pseudogramíneas, hierbas y arbustos, los cuales se diferencian por su apariencia o morfología. Dependiendo de la predominancia de estos grupos los pastos naturales altoandinos o pastizales se clasifican en tipos, que vienen a ser plantas de apariencia similar que abarcan un área determinada. (Perez, 2013).

El sobrepastoreo en las zonas altoandinas de la región Junín ha reducido en un 60% los pastos naturales, generando una depredación ecológica. En el departamento de Junín hay un promedio de 990 000 hectáreas de pastos naturales, de las cuales el 60% está depredado debido al desconocimiento que tienen los ganaderos sobre el manejo de pastos y la preservación de los mismos. Los pastos actúan como esponjas, pues luego de captar el flujo de las precipitaciones, lo sumergen al subsuelo y a través de la capa freática alimentan los ojos de agua como las lagunas y puquios. (Yaranga y Custodio, 2013).



Figura 81. Pastizales Naturales.



Tabla 1.

Ubicación geográfica de los sistemas de uso de tierra (SUT) evaluados

Nº	Sector	SUT	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
			Este	Norte	
1	SAN AGUSTIN DE CAJAS	P.F. <i>Pinus radiata</i> D. Don	469977	8684844	3607
2		P.F. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill	476138	8676289	3986
3		B.N. <i>Polylepis incana</i> H&B	476725	8677302	3792
4		B.N. <i>Alnus acuminata</i> H.B.k	475965	8676361	3697
5		Cultivo estacionario - <i>Vicia faba</i>	476416	8677389	3852
6		Pastizal	475507	8676411	3702
7	CASACANCHA	P.F. <i>Pinus radiata</i> D. Don	473046	8685705	3698
8		P.F. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill	472343	8679593	3350
9		B.N. <i>Polylepis incana</i> H&B	472491	8682231	3419
10		B.N. <i>Alnus acuminata</i> H.B.k	472418	8682830	3449
11		Cultivo estacionario - <i>Vicia faba</i>	471512	8681461	3456
12		Pastizal	472216	8682588	3458
13	MANTARO	P.F. <i>Pinus radiata</i> D. Don	457270	8692019	3354
14		P.F. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill	456600	8694902	3782
15		B.N. <i>Polylepis incana</i> H&B	456745	8694828	3695
16		B.N. <i>Alnus acuminata</i> H.B.k	455944	8694824	3788
17		Cultivo estacionario - <i>Vicia faba</i>	458507	8693342	3616
18		Pastizal	455841	8694532	3712
19	RAQUINA	P.F. <i>Pinus radiata</i> D. Don	486832	8654880	3638
20		P.F. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill	486365	8654547	3596
21		B.N. <i>Polylepis incana</i> H&B	489126	8654033	3732
22		B.N. <i>Alnus acuminata</i> H.B.k	489188	8654051	3745
23		Cultivo estacionario - <i>Vicia faba</i>	483098	8656315	3236
24		Pastizal	490244	8646918	3959
25	SHULLCAS	P.F. <i>Pinus radiata</i> D. Don	486927	8673351	3845
26		P.F. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill	486268	8672578	3727
27		B.N. <i>Polylepis incana</i> H&B	485730	8672381	3708
28		B.N. <i>Alnus acuminata</i> H.B.k	484283	8673009	3628
29		Cultivo estacionario - <i>Vicia faba</i>	475934	8672139	3311
30		Pastizal	486963	8673237	3779

P.F = Plantación Forestal; B.N.= Bosque Nativo



Presentación de resultados

1. Biomasa total a nivel de los sistemas de uso de la tierra

concentración de biomasa aérea que va de 146,5 t/ha a 457,4 t/ha y el promedio es 230,9 t/ha. a nivel de depósitos es evidente que la vegetación arbórea aporta el 96,3% del total, seguido del depósito hojarasca y madera muerta con 2,8% de la biomasa y finalmente el depósito arbustivo- herbáceo con un 0,9% de la biomasa total almacenado en el SUT.

1.1. Biomasa total en el SUT Plantación de Pino

1.1.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT Plantación de Pino (Cuadro 49), en las diferentes evaluaciones se evidencia una

Cuadro 49. Biomasa aérea total de la Plantación de Pino

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	P. Pino	168,5	3,7	3,7	175,9
Casacancha	P. Pino	450,2	0	7,2	457,4
Mantaro	P. Pino	201,5	1,2	8,6	210,8
Raquina	P. Pino	157,7	2,2	4,3	164,2
Shullcas	P. Pino	134,3	4,2	8,0	146,5
Promedio		222,4	2,2	6,4	230,9

1.1.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 50 y Figura 82, se muestra la biomasa de raíces a diferentes profundidades y se puede observar que más del 50% de las

raíces se encuentran en el horizonte 0 a 10cm. También no se pudo seguir profundizando porque se encontró con raíces más gruesas.

Cuadro 50. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces t/ha
0-10	13,46
10-20	2,56
20-30	1,99
30-40	2,06
40-50	3,28
50-60	0,93
60-70	0,68
70-80	0,95
TOT	25,94

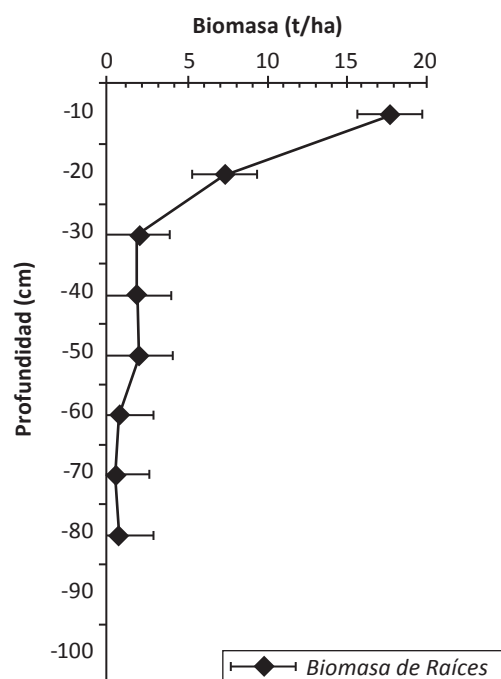


Figura 82. Biomasa de raíces en el SUT Plantación de Pino.



1.2. Biomasa total en el SUT Plantación de Eucalipto

1.2.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT Plantación de Eucalipto (Cuadro 51) se evidencia una concentración de biomasa aérea en un rango de 54,5 t/ha a 91,9 t/ha de biomasa aérea y un promedio de 73,6 t/ha. A nivel de depósitos se puede observar que el depósito

arbóreo aporta el 83,6% de la biomasa total, mientras que el depósito hojarasca y madera muerta aporta 14,6% de la biomasa total y finalmente el depósito arbustivo-herbáceo con 2% de la biomasa total almacenada.

Cuadro 51. Biomasa aérea total de la Plantación de Eucalipto

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	P. Eucalipto	57,4	0,5	14,8	72,7
Casacancha	P. Eucalipto	48,6	1,4	4,5	54,5
Mantaro	P. Eucalipto	71,4	2,2	18,3	91,9
Raquina	P. Eucalipto	57,2	1,5	8,2	66,9
Shullcas	P. Eucalipto	73,3	0,3	8,6	82,2
Promedio		61,5	1,1	10,8	73,6

1.2.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 52 y la Figura 83, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades y se observa que más del 50% de las raíces

se encuentran entre el nivel 0 a 10cm de profundidad.

Cuadro 52. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces t/ha
0-10	13,19
10-20	5,52
20-30	1,43
30-40	0,93
40-50	1,27
50-60	0,55
60-70	0,46
70-80	0,30
TOT	23,63

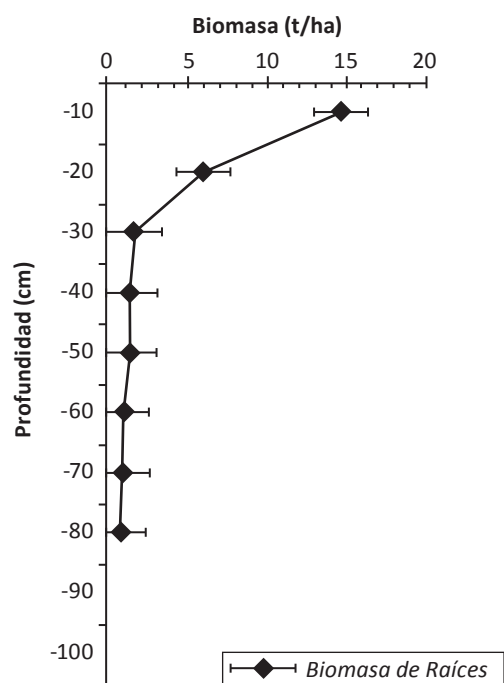


Figura 83. Biomasa de raíces en el SUT Plantación de Eucalipto.



1.3. Biomasa total en el SUT Bosque de Polylepis

1.3.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT Bosque de Polylepis (Cuadro 53), se evidencia un rango de producción de biomasa aérea de 50,5 t/ha a 131,8 t/ha y el promedio

es de 93,06 t/ha. A nivel de depósitos el arbóreo aporta el 86% de la biomasa total, mientras que el depósito hojarasca y madera muerta aportan el 11,3% de la biomasa total y finalmente el depósito arbustivo-herbáceo aporta el 2,7% de la biomasa total almacenado en el SUT.

Cuadro 53. Biomasa aérea total del bosque nativo de Polylepis

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	B. Polylepis	109,1	1,3	8,1	118,5
Casacancha	B. Polylepis	44,5	6,6	4,0	55,1
Mantaro	B. Polylepis	84,8	1,5	23,1	109,4
Raquina	B. Polylepis	118,7	1,6	11,5	131,8
Shullcas	B. Polylepis	43,5	1,2	5,8	50,5
Promedio		80,1	2,7	10,5	93,1

1.3.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 54 y Figura 84, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades y se observa que más del 50% de las raíces

se encuentra en el horizonte 0-30cm de profundidad, que representa una situación muy peculiar.

Cuadro 54. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces t/ha
0-10	12,44
10-20	6,05
20-30	7,75
30-40	5,88
40-50	4,17
50-60	1,40
60-70	0,58
70-80	0,66
TOT	38,92

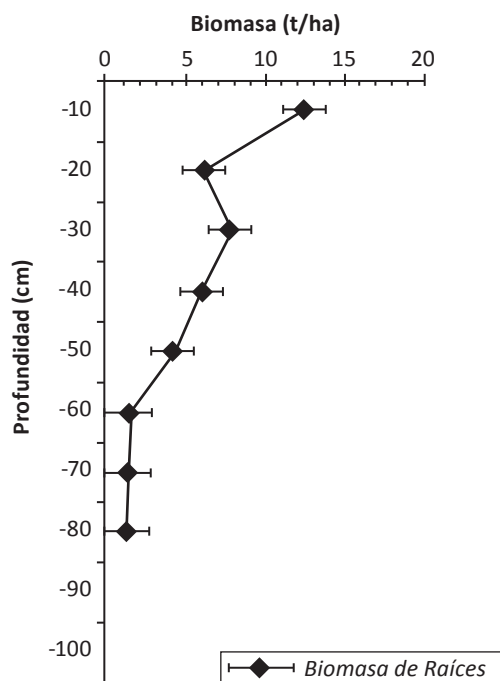


Figura 84. Biomasa en las raíces en el SUT Bosque de Polylepis.



1.4. Biomasa total en el SUT Bosque de Aliso

1.4.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT bosque de Aliso (Cuadro 55). se evidencia un rango de biomasa aérea que va desde 45,5 t/ha a 66,3 t/ha y el promedio es de 54,2 t/ha. A nivel de depósitos el arbóreo aporta el 81,7% de la biomasa total, mientras que el depósito hojarasca y madera muerta aporta el

13,1% de la biomasa total y finalmente el depósito arbustivo-herbáceo aporta el 5,2% de la biomasa total almacenado en el SUT. Además es necesario mencionar que una característica importante de este SUT, es la abundancia de hojarasca que finalmente sirve para enriquecer el suelo.

Cuadro 55. Biomasa aérea total del Bosque de Aliso

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	B. Aliso	54,9	2,0	7,3	64,2
Casacancha	B. Aliso	34,8	4,2	6,5	45,5
Mantaro	B. Aliso	37,2	1,8	6,7	45,7
Raquina	B. Aliso	38,4	4,9	6,3	49,6
Shullcas	B. Aliso	56,5	0,7	9,1	66,3
Promedio		44,3	2,7	7,1	54,2

1.4.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 56 y Figura 85, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades y se observa que más del 50% de las raíces se encuentran en el horizonte 0-10 cm de profundidad.

Cuadro 56. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces t/ha
0-10	14,17
10-20	4,32
20-30	2,86
30-40	2,06
40-50	0,75
50-60	0,34
60-70	0,27
70-80	0,28
TOT	25,04

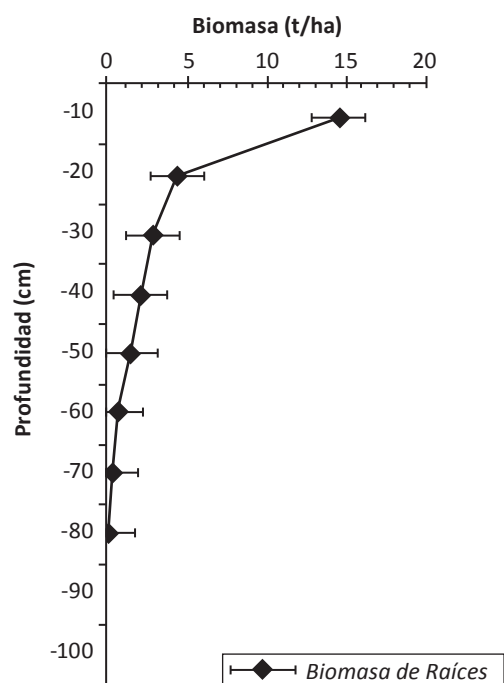


Figura 85. Biomasa de raíces en el SUT Bosque de Aliso.



1.5. Biomasa total en el SUT Pastizal

1.5.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT Pastizal (Cuadro 57). se evidencia la biomasa aérea que va en un rango de 0,80 t/ha a 4,46 t/ha y el promedio es de 2,05 t/ha. A nivel de depósitos el arbustivo-herbáceo aporta el 72,6% de la biomasa total, mientras

que el depósito hojarasca y madera muerta el 27,4% de la biomasa total, y finalmente el depósito arbóreo que tiene un aporte nulo, se evidencia la ausencia de árboles en este SUT.

Cuadro 57. Biomasa aérea total del SUT Pastizal

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	Pastizal	0	2,0	0,5	2,6
Casacancha	Pastizal	0	1,6	1,7	3,2
Mantaro	Pastizal	0	2,1	0,4	2,4
Raquina	Pastizal	0	10,6	2,8	13,4
Shullcas	Pastizal	0	6,1	3,1	9,2
Promedio		0	4,5	1,7	6,2

1.5.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 58 y Figura 86, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades y se observa que más del 50% de las raíces se encuentran almacenadas en el horizonte de

0-10 cm de profundidad. También se observa que a partir de los 60cm. de profundidad, no hay biomasa de raíces, situación muy especial y que requiere decirlo.

Cuadro 58. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces t/ha
0-10	8,5
10-20	2,7
20-30	0,6
30-40	0,4
40-50	0,6
50-60	0,2
60-70	0,0
70-80	0,0
TOT	13,1

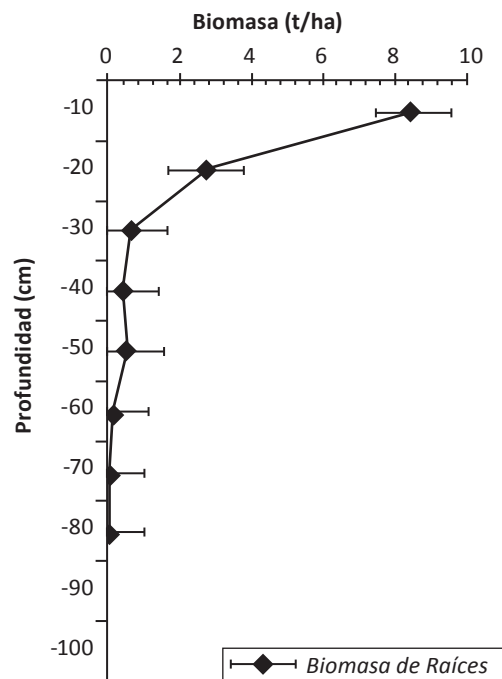


Figura 86. Biomasa de raíces en el SUT Pastizal.



1.6. Biomasa total en el SUT Cultivos

1.6.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT Cultivos (Cuadro 59), se evidencia un rango de 4,65 t/ha a 8,43 t/ha de biomasa aérea y el promedio es 6,78 t/ha. A nivel de depósito; el depósito arbóreo aporta el 51,3% de la biomasa C total, mientras que el

depósito arbustivo-herbáceo aporta el 34,9% de la biomasa total y finalmente el depósito hojarasca y madera muerta aporta el 13,8% de la biomasa total almacenado en el SUT.

Cuadro 59. Biomasa aérea total del SUT Cultivo

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	Cultivo	6,9	10,7	4,1	21,7
Casacancha	Cultivo	15,2	3,0	1,2	19,4
Mantaro	Cultivo	6,9	4,1	3,5	14,5
Raquina	Cultivo	7,1	4,1	2,8	13,9
Shullcas	Cultivo	12,5	11,00	1,8	25,3
Promedio		9,7	6,6	2,6	18,9

1.6.2. Biomasa en las raíces finas

En el Cuadro 60 y Figura 87, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades y se observa que más del 50% de las raíces se encuentran almacenadas en el horizonte 0-20cm de profundidad. Además se observa

que a partir del horizonte 60 - 70cm. no se tiene carbono almacenado, lo cual evidencia una situación particular y determina la alta fragilidad del sistema.

Cuadro 60. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces t/ha
0-10	4,9
10-20	2,6
20-30	2,2
30-40	0,6
40-50	0,3
50-60	0,1
60-70	0,0
70-80	0,0
TOT	10,7

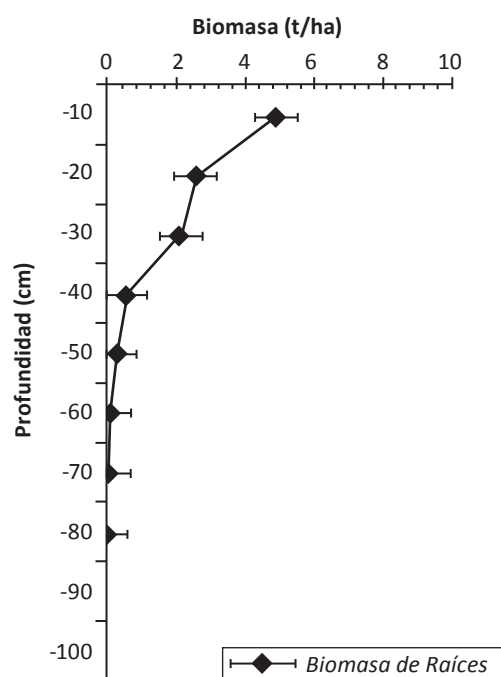


Figura 87. Biomasa de raíces en el SUT Cultivos.



2. Almacenamiento de Carbono en los SUT

2.1. Carbono en el SUT Plantación de Pino

2.1.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de carbono obtenido para la biomasa aérea de la Plantación de Pino es de 114,82 tC/ha, reporta una variación con una mínima de 72,5 tC/ha y máxima de 227,7 tC/ha. (Cuadro 61). Se puede notar que el depósito

arbóreo representa el 96,8% del C total, mientras que el depósito hojarasca y madera muerta representa el 2,1% del C total y finalmente el depósito arbustivo-herbáceo que ocupa el 1,1% de C total almacenado en el SUT.

Cuadro 61. Carbono aéreo total del SUT Pino

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas		84,3	1,9	1,7	87,8
Casacancha	P Pino	225,1	0	2,7	227,7
Mantaro	P Pino	100,8	0,6	3,0	104,4
Raquina	P Pino	78,9	1,2	1,6	81,68
Shullcas	P Pino	67,2	2,1	3,2	72,5
Promedio		111,2	1,1	2,5	114,8

2.1.2. Carbono en las raíces finas

En el cuadro 62 y Figura 88 se muestra el C almacenado en las raíces finas a diferentes profundidades, se puede observar que en el horizonte 0 a 10cm. se acumula más del 50% del

C almacenado en el SUT, aquí debemos tener en cuenta la forma de raíz del pino que va a influir en la disposición de las raíces finas.

Cuadro 62. Carbono en las raíces finas a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	8,31
10-20	3,74
20-30	1,10
30-40	1,03
40-50	1,06
50-60	0,47
60-70	0,34
70-80	0,48
TOT	15,59

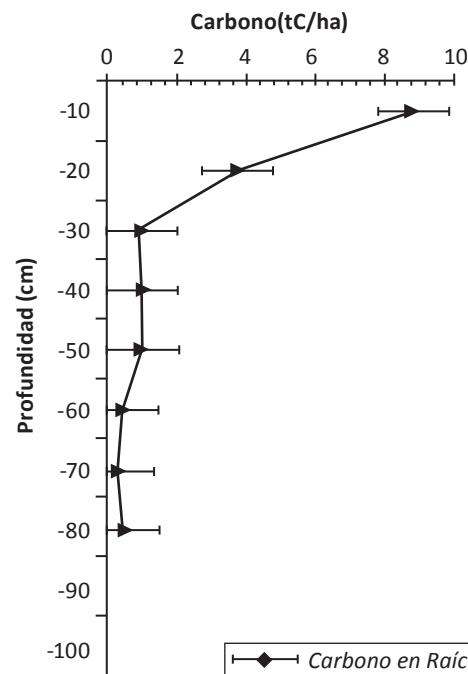


Figura 88. Carbono en las raíces en el SUT Plantación de Pino.



2.1.3. Carbono en el suelo

En el cuadro 63 y Figura 89 se muestra el C almacenado tomando en cuenta profundidades hasta 50 cm de profundidad, notándose que hasta

los 40 cm existe una distribución homogénea del C. Esta distribución tiene mucha relación con la forma de raíces del pino.

Cuadro 63. Carbono en el suelo del Pino a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total tC/ha
0-10	31,60
11-30	29,69
31-50	20,99
TOT	82,28

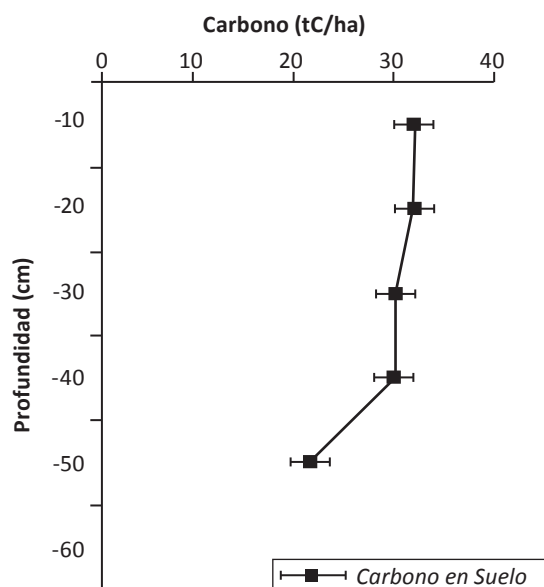


Figura 89. Carbono en el suelo del SUT Plantación de Pino.

2.2. Carbono en el SUT Plantación de Eucalipto

2.2.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de C obtenido para la biomasa aérea de la Plantación de Eucalipto es de 35,6 tC/ha, reporta una variación con una mínima de 26,8 tC/ha y máxima de 44,9 tC/ha. (Cuadro 64). El aporte del depósito arbóreo

representa el 86,5% del C total, mientras que el depósito hojarasca y madera muerta el 11,8% del C total y finalmente el depósito arbustivo-herbáceo el 1,7% del C total almacenado en el SUT.

Cuadro 64. Carbono aéreo total del SUT Eucalipto

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	P. Eucalipto	28,7	0,3	5,8	34,8
Casacancha	P. Eucalipto	24,3	0,7	1,8	26,8
Mantaro	P. Eucalipto	35,7	1,1	8,1	44,9
Raquina	P. Eucalipto	28,6	0,8	1,6	31,0
Shullcas	P. Eucalipto	36,7	0,2	3,5	40,4
Promedio		30,8	0,6	4,2	35,6



2.2.2. Carbono en las raíces finas

En el Cuadro 65 y Figura 90 se muestra el C almacenado a diferentes profundidades hasta llegar a los 80cm de profundidad, notándose

que en el horizonte 0-10cm se encuentra más del 50% del C total almacenado.

Cuadro 65. Carbono en raíces finas a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	7,30
10-20	3,01
20-30	0,83
30-40	0,68
40-50	0,67
50-60	0,46
60-70	0,43
70-80	0,34
TOT	13,72

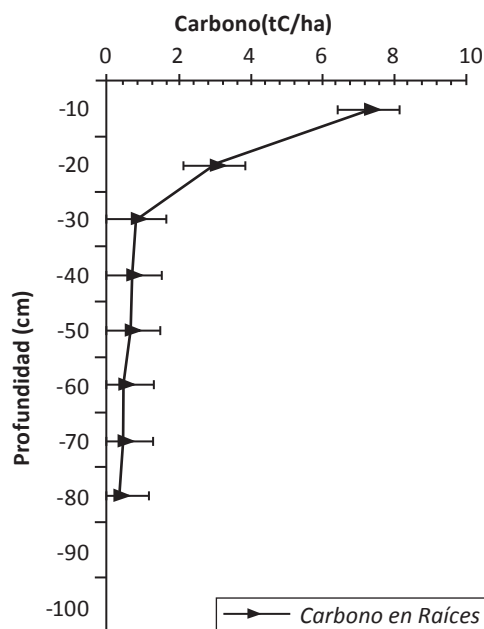


Figura 90. Carbono de raíces en el SUT Plantación de Eucalipto.

2.2.3. Carbono en el suelo

Cuadro 66 y Figura 91 se muestra el carbono orgánico total almacenado en el depósito suelo, notándose una mayor acumulación en el horizonte de 30 a 50cm de profundidad. De

acuerdo a las bases teóricas en los bosques y plantaciones reportan mayor acción de acumulación en este horizonte.

Cuadro 66. Carbono en el suelo del eucalipto a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	26,13
11-30	33,68
30-50	18,22
TOT	78,03

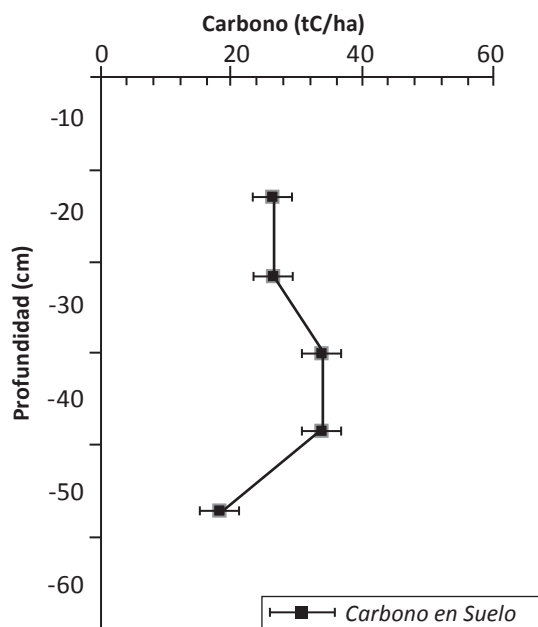


Figura 91. Carbono en el suelo del SUT Plantación de Eucalipto.



2.3. Carbono en el SUT Bosque de Queñua

2.3.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de carbono almacenado para el Bosque Nativo de Queñua *Polylepis*, es 45,6 tC/ha, con una mínima de 24,5 tC/ha y máxima de 64,6 tC/ha. (Cuadro 67). El aporte del depósito arbóreo representa el 87,9% del

C total, mientras que el depósito hojarasca y madera muerta el 9,2% del C total y finalmente el depósito arbustivo-herbáceo aporta el 2,9% del C total almacenado en el SUT.

Cuadro 67. Carbono aéreo total del Bosque de Queñua

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	B. N. Queñua	54,6	0,7	3,2	58,5
Casacancha	B. N. Queñua	22,3	3,3	1,4	27,0
Mantaro	B. N. Queñua	42,4	0,8	10,1	53,3
Raquina	B. N. Queñua	59,7	0,8	4,4	64,6
Shullcas	B. N. Queñua	21,7	0,8	2,0	24,5
Promedio		40,1	1,3	4,2	45,6

2.3.2. Carbono en las raíces finas

En el Cuadro 68 y Figura 92, se muestra el carbono almacenado hasta una profundidad de 80cm, se observa que más del 80% del C almacenado se encuentra en el horizonte 0-30cm, notándose

un incremento en el horizonte 30-40cm, esto se explica porque las raíces de los árboles tienen mayor incidencia en estos horizontes.

Cuadro 68. Carbono en raíces finas del *Polylepis* a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	6,22
10-20	3,02
20-30	3,88
30-40	2,94
40-50	2,09
50-60	0,70
60-70	0,66
70-80	0,61
TOT	20,12

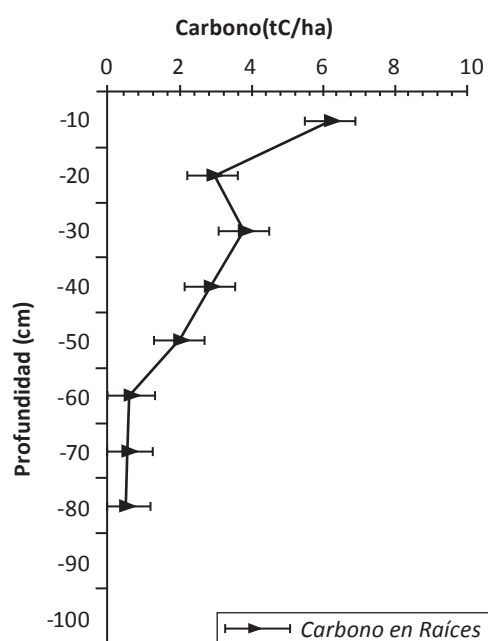


Figura 92. Carbono en las raíces en el SUT Bosque de *Polylepis*.



2.3.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 69 y Figura 93 se muestra el C total almacenado en el horizonte 0 a 50cm, notándose una mayor acumulación en el horizonte 30 a

50cm de profundidad. Se puede observar una tendencia muy diferente a la tendencia de las plantaciones.

Cuadro 69. Carbono en el suelo del Queñua a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total tC/ha
0-10	26,13
11-30	33,68
30-50	18,22
TOT	78,03

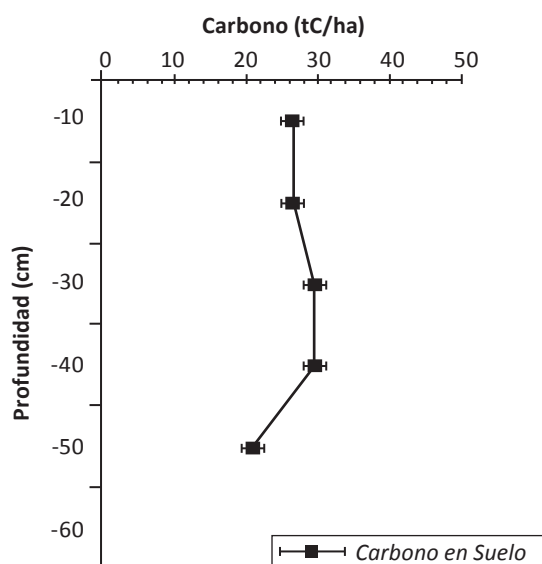


Figura 93. Carbono en el suelo del SUT Bosque de Polylepis.

2.4. Carbono en el SUT Bosque de Aliso

2.4.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de carbono obtenido para el bosque nativo de Aliso es 26,77 tC/ha, con una mínima de 22,48 tC/ha y máxima de 31,84 tC/ha (Cuadro 70). El aporte del depósito arbóreo representa el 82,8% del

C total, mientras que el depósito hojarasca y madera muerta es el 11,9% del C total, finalmente el depósito arbustivo herbáceo aporta el 5,3% del C total almacenado en el SUT.

Cuadro 70. Carbono aéreo total del bosque de Aliso

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	B. Aliso	27,5	1,0	3,3	31,8
Casacancha	B. Aliso	17,4	2,1	3,1	22,6
Mantaro	B. Aliso	18,6	0,9	3,0	22,5
Raquina	B. Aliso	19,2	2,5	2,8	24,5
Shullcas	B. Aliso	28,3	0,4	3,8	32,4
Promedio		22,2	1,4	3,2	26,8



2.4.2. Carbono en las raíces finas

En el Cuadro 71 y Figura 94 se muestra el C almacenado en las raíces finas hasta una profundidad de 80cm, se puede observar que

más del 50% del C almacenado se encuentra en el horizonte 0 a 10cm de profundidad.

Cuadro 71. Carbono en raíces finas del Bosque de Aliso a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	7,30
10-20	2,28
20-30	1,49
30-40	1,13
40-50	0,79
50-60	0,38
60-70	0,24
70-80	0,14
TOT	13,75

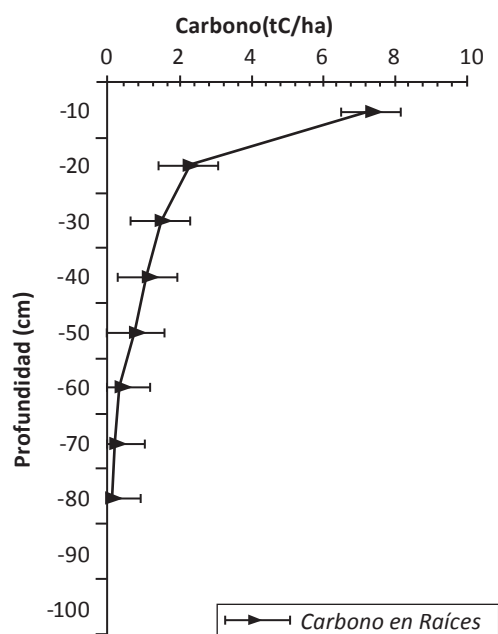


Figura 94. Carbono en las raíces en el SUT Bosque de Aliso.

2.4.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 72 y Figura 95 se muestra el C total almacenado en el horizonte 0 a 50cm, notándose una distribución homogénea de C de 0 a 40cm de profundidad. A diferencia

del bosque de Queñua, aquí se nota mayor homogeneidad en la distribución del C en los diferentes horizontes del suelo.

Cuadro 72. Carbono en el suelo del Bosque de Aliso a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total tC/ha
0-10	26,13
11-30	33,68
30-50	18,22
TOT	78,03

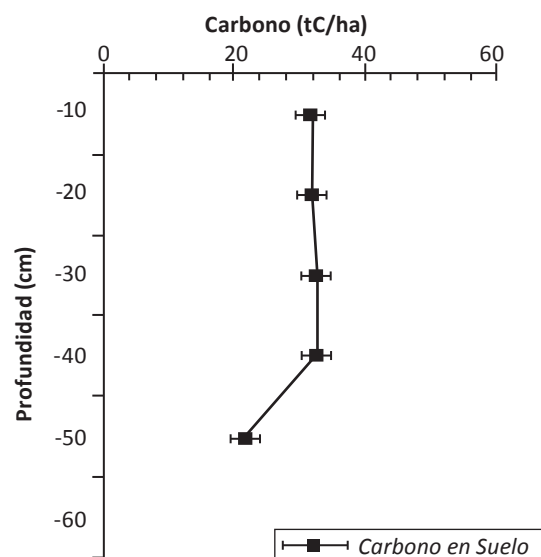


Figura 95. Carbono en el suelo del SUT Bosque de Aliso.



2.5. Carbono en el SUT Pastizal

2.5.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de carbono obtenido para el Pastizal es 2,9 tC/ha, con una mínima de 1,2 tC/ha y máxima de 6,3 tC/ha. (Cuadro 73). El aporte del depósito arbustivo-herbáceo

representa el 79,3% del C total, mientras que el depósito hojarasca y madera muerta el 20,7% del C total, finalmente el depósito arbustivo cuyo aporte es nulo.

Cuadro 73. Carbono aéreo total del SUT Pastizal

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	Pastizal	0	1,0	0,2	1,2
Casacancha	Pastizal	0	1,0	0,3	1,4
Mantaro	Pastizal	0	1,0	0,1	1,2
Raquina	Pastizal	0	5,3	0,9	6,3
Shullcas	Pastizal	0	3,0	1,2	4,2
Promedio		0	2,3	0,6	2,9

2.5.2. Carbono en las raíces finas

En el Cuadro 74 y Figura 96 se muestra el C almacenado en las raíces finas hasta 80cm de profundidad, se puede observar que más del

50% del Carbono almacenado se encuentra en el horizonte 0 a 10cm de profundidad.

Cuadro 74. Carbono en raíces finas del SUT Pastizal a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	4,24
10-20	1,36
20-30	0,32
30-40	0,21
40-50	0,29
50-60	0,08
60-70	0,02
70-80	0,02
TOT	6,54

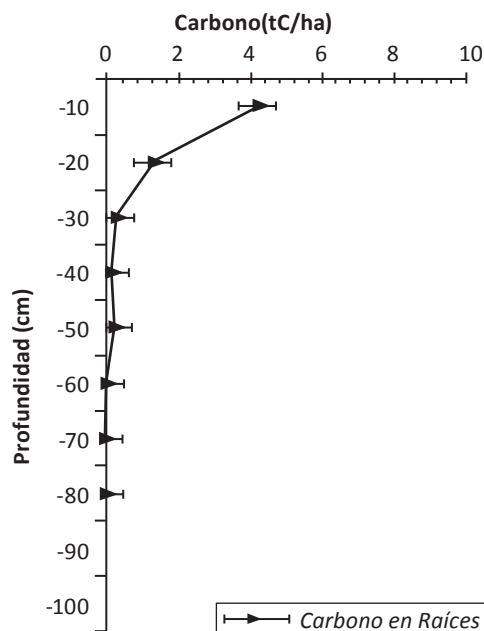


Figura 96. Carbono en las raíces en el SUT Pastizal.



2.5.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 75 y Figura 97 se muestra el C total almacenado en el horizonte 0 a 50cm

notándose una mayor concentración de C en el horizonte de 20 a 45cm de profundidad.

Cuadro 75. Carbono en el suelo del SUT Pastizal a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total tC/ha
0-10	28,48
11-30	39,71
30-50	18,25
TOT	86,40

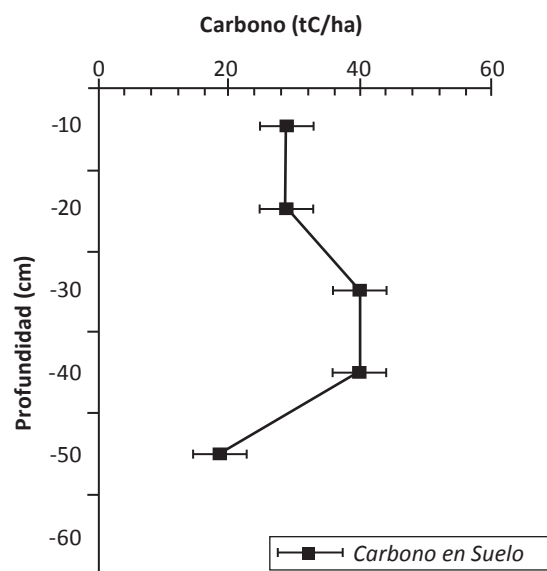


Figura 97. Carbono en el suelo del SUT Pastizal.

2.6. Carbono en el SUT Cultivo

2.6.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de carbono obtenido para el SUT Cultivo es 156,09 tC/ha, con una mínima de 95,5 tC/ha y máxima de 252,5 tC/ha. (Cuadro 76). El aporte del depósito arbustivo herbáceo es de 84,5% del C total, mientras

que el depósito hojarasca y madera muerta es de 15,5% del C total, en cambio el aporte del componente arbóreo es nulo, debido a que se trata de un cultivo anual.

Cuadro 76. Carbono aéreo total del SUT Cultivos

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
S. A. de Cajas	Cultivo	0	7,8	1,7	9,5
Casacancha	Cultivo	0	8,9	1,5	10,5
Mantaro	Cultivo	0	6,8	1,5	8,3
Raquina	Cultivo	0	6,9	1,2	8,1
Shullcas	Cultivo	0	10,6	1,4	12,0
Promedio		0	8,2	1,5	9,7



2.6.2. Carbono en las raíces finas

En el Cuadro 77 y Figura 98 se muestra el C almacenado en las raíces finas hasta 80cm de

profundidad, se puede observar que más del 50% del C.

Cuadro 77. Carbono en raíces finas del SUT Cultivos a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en las raíces tC/ha
0-10	2,47
10-20	1,31
20-30	1,09
30-40	0,28
40-50	0,13
50-60	0,05
60-70	0,02
70-80	0,01
TOT	5,36

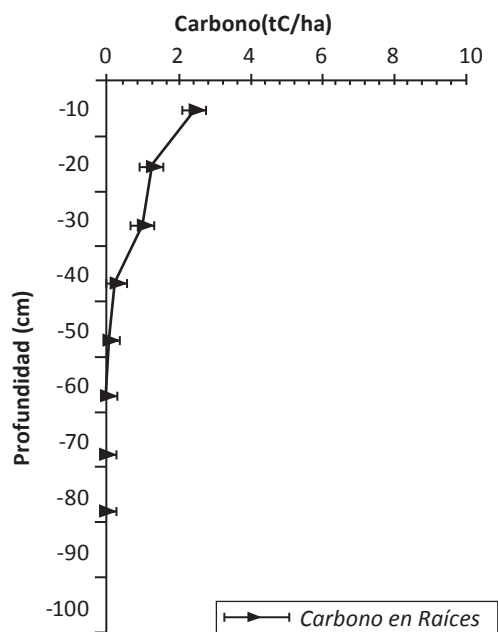


Figura 98. Carbono en las raíces en el SUT Cultivos.

2.6.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 78 y Figura 99 se muestra el C total almacenado en el horizonte 0 a 50cm,

notándose una mayor concentración de C en el horizonte 11 a 40cm de profundidad.

Cuadro 78. Carbono almacenado en el suelo de cultivos

Profundidad (cm)	Carbono total tC/ha
0-10	21,85
11-30	32,42
30-50	16,50
TOT	70,80

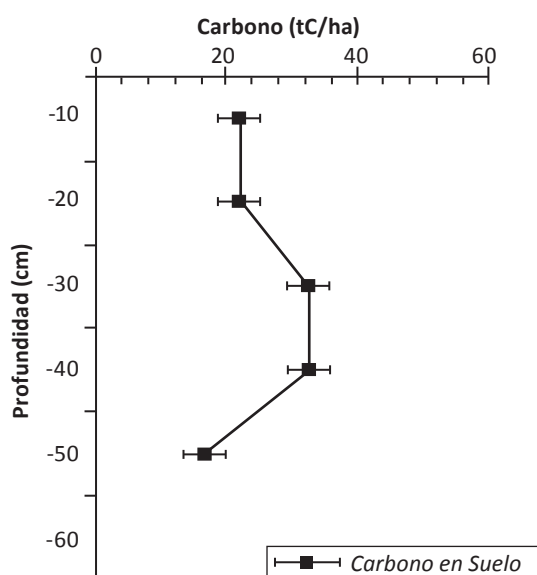


Figura 99. Carbono en el suelo del SUT Cultivos.



En el Cuadro 79 se expone el Carbono total almacenado en el bosque andino, con respecto a los depósitos podemos observar el depósito arbóreo es muy importante en la plantación

de Pino, mientras que el componente suelo es muy estable aún en diferentes sistemas de uso de la tierra.

Cuadro 79. Carbono total almacenado en el bosque andino

Sistema de Uso de la Tierra	Carbono almacenado a nivel de depósitos (tC/ha)					Stock C Total (tC/ha)
	Arbórea	Arbustiva y Herbácea	Hojarasca y Madera Muerta	Raíces	Suelo 0 a 1m	
Plantación de Pino	111,3	1,2	6,5	16,7	82,3	217,8
Bosque de Queñua	40,1	1,2	10,5	19,9	77,0	148,7
Plantación de Eucalipto	30,8	0,6	6,0	13,5	78,0	128,9
Plantación de Aliso	22,2	1,4	5,8	13,7	85,1	128,2
Pastizal	0	5,1	0,9	6,5	86,4	98,9
Cultivo anual	4,9	2,7	1,1	5,7	70,8	85,9

En la Figura 100 podemos observar el C almacenado a nivel de los diferentes sistemas de uso de la tierra, se evidencia que la

plantación de Pino tiene mayor capacidad para almacenar C en el bosque andino.

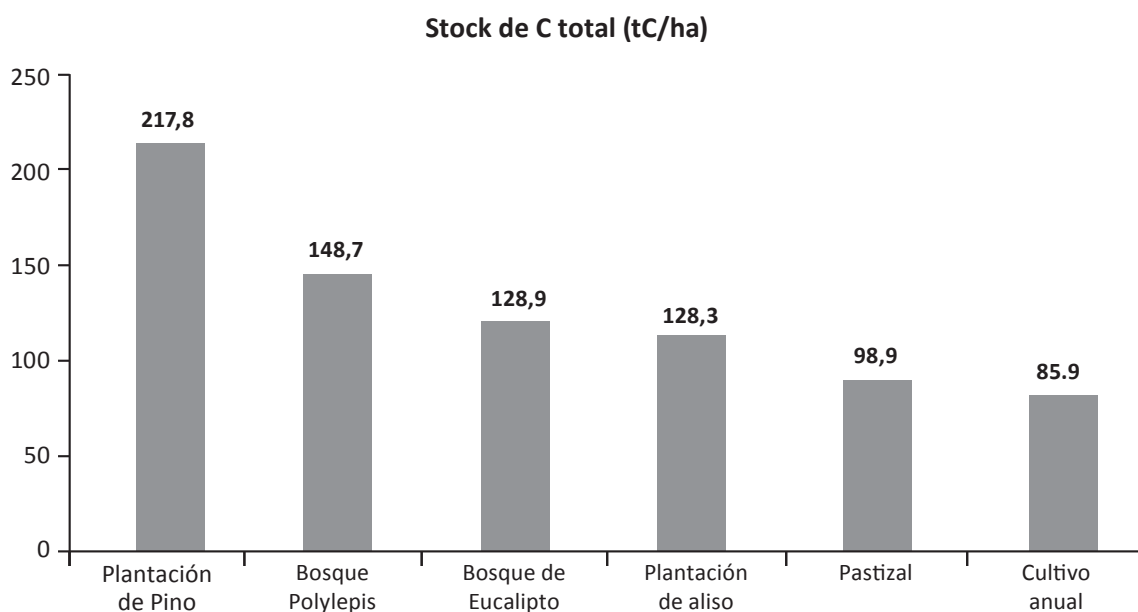


Figura 100. Carbono total Almacenado en el bosque andino.



Por otra parte, en la Figura 101 se descubre el patrón de cambios que se dá en el bosque andino, notándose que el depósito arbóreo es el que sufre mayores cambios y que el depósito de suelo es el más estable.

Stock de C total (tC/ha)

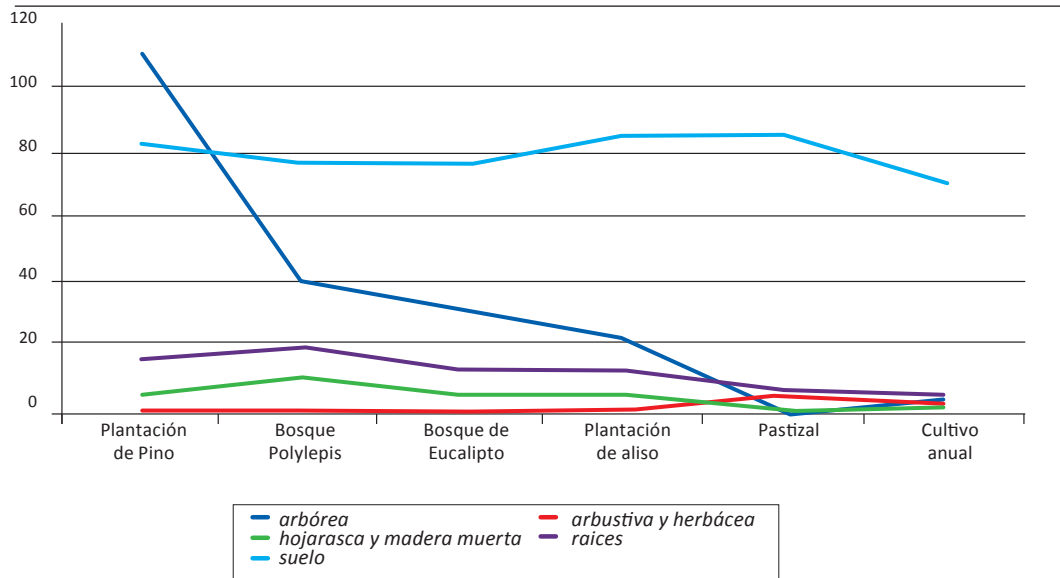
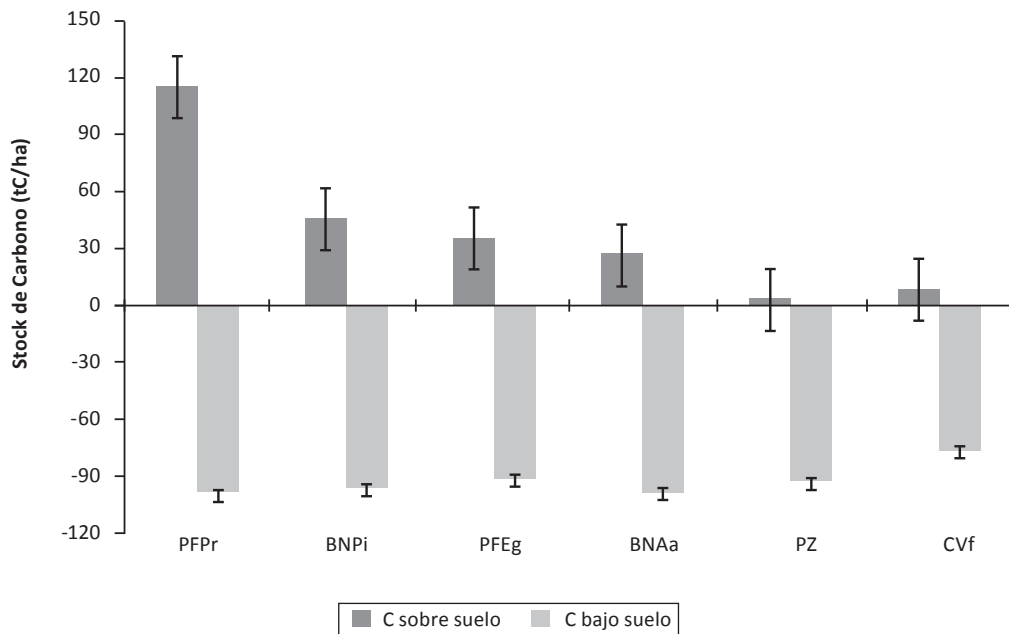


Figura 101. Patrón de cambios del Carbono total almacenado en el bosque andino.

Stock de Carbono en Bosques Andinos



PFPr: Plantación forestal de *Pinus radiata* D. Don **BNPi:** Bosque Nativo de *Polylepis incana* H&B
PFEg: Plantación forestal de *Eucalyptus globulus* Labill **BNAa:** Bosque Nativo de *Alnus acuminata* H.B.K.
PZ: Pastizal **CVf:** Cultivo estacionario *Vicia Faba*

Figura 102. Sistemas de Uso de la Tierra-SUT.



Discusión

Con respecto a la biomasa

Algunos factores tienen una influencia fuerte sobre la conformación y distribución de biomasa en la planta. Así mismo a medida en que se incrementa la altitud, aumenta la proporción de C asignado a las partes subterráneas de la planta, causado posiblemente por el aumento en la tasa de respiración radicular de las especies de los bosques nativos, debido a la dificultad de absorber nutrientes en condiciones de baja temperatura, 13°C promedio, del Valle del Mantaro. (Kitayama y Aiba, 2002).

En estudios realizados en algunas regiones de Chile se han encontrado valores de biomasa de raíces superficiales (< 3mm de diámetro) que varían de 2,5 tC/ha a 100 tC/ha en bosques mixtos de coníferas (Pérez *et al.*, 1991). Por otra parte Snowdon *et al.*, (2000) señalaron valores de biomasa de raíces de 20% para el género *Pinus*. Además, los sistemas de raíces de *P. radiata* a los 18 años de edad comprenden alrededor del 10% del peso total de los árboles (Fogel, 1983).

En cuanto a *E. globulus*, los valores de biomasa de raíces finas en la especie evaluada, coinciden con observaciones realizadas por Madeira *et al.*, (1989), quienes determinaron en *E. globulus*, que cerca del 50% de las raíces finas ($\emptyset < 5\text{mm}$) se encontraban en los primeros 20cm del suelo y el resto entre 20 y 75cm de profundidad. Así mismo Schlatter *et al.* (2006) menciona que existe una alta proporción de raíces en el género *Eucalyptus*, la que alcanza un promedio de 40%.

La mayor cantidad de C fijado en la biomasa de raíces finas en *A. acuminata* se concentró en el estrato: 0–10cm, representando el 53% de la biomasa total de raíces finas, con 5,1 tC/ha a 10,1tC/ha, mientras que el estrato de 10–20cm, representa el 16%, con 1,6 tC/ha a 3,6 tC/ha.

La relación entre los aportes de la biomasa aérea y los aportes de la biomasa subterránea

(raíces) a la biomasa total, varían con la edad de los árboles (Pérez *et al.*, 1991) y de acuerdo a la composición florística y características fisicoquímicas del suelo (Cairns *et al.*, 1997). Se estima que la biomasa aérea se encuentra en un 50 y 90% aproximadamente del total de la biomasa (Abrahamson y Caswell, 1982). Asimismo la biomasa bajo el suelo (raíces) puede representar una fracción importante (Vogt *et al.*, 1996) se puede estimar desde un 10 y 50% de la biomasa total (MacDicken, 1997). La tendencia y la distribución de las raíces finas, está muy influenciada por el genotipo, sitio, edad de la planta (Dwyer *et al.*, 1996) prácticas silviculturales, densidad de plantación (Contreras *et al.*, 1999), cambios en la compactación del suelo, textura del suelo, contenido de humedad en el suelo, contenido de arcilla y porosidad que afectan directamente la capacidad de absorción de humedad a lo largo del perfil del suelo (Raich, 1983). Confirmados en el presente estudio.

Con respecto a los bosques de Aliso, los procesos de incorporación de las hojas por ser frondosas caducifolias se ven favorecidos por el microclima generado por estas especies, por lo que los niveles de materia orgánica son mayores que las coníferas (Álvarez *et al.*, 2007). El tipo de hojarasca está constituida por hojas poco lignificadas y ricas en nitrógeno (proveniente de la fijación de N), poseen pocos lípidos y una gran abundancia en compuestos hidrosolubles de fácil fermentación (sacáridos), así como también en taninos hidrosolubles.

La biomasa de los pastizales muestra valores altos a nivel radicular, que comparando con la investigación desarrollada en México sobre la biomasa radical subterránea hasta 1m de profundidad en un pastizal, como promedio general el 75% del total de la biomasa de raíces en pastizal se encuentra entre 0,2m y 0,4m de profundidad, Además Kögel - Knabner (2002),



encontraron que 80% del carbono contenido en raíces estaba en los primeros 0,2m de suelo y que muy pocas raíces estaban por debajo de los 0,5m de profundidad, en los suelos con pastizales y cultivos agrícolas. Hernández y Fiala, (1992) encontraron que en pastizales en los primeros 15cm se encuentra el 65% de la biomasa subterránea, pero de ella el 77,9% se localiza en los primeros 5cm de profundidad.

Con respecto al contenido de C en los sistemas de uso de la tierra SUT

De los resultados se puede observar que el contenido de C es mayor en plantaciones de Pino *P. radiata*, con valores que van en un rango de 165,1 tC/ha a 321,6 tC/ha, seguido del Bosque de Polylepis *P. incana* con 111,9 tC/ha a 160,4 tC/ha, plantaciones de Eucalipto *E. globulus* con 102,2 tC/ha a 147,7 tC/ha, Bosque de Aliso *A. acuminata* con 109,6 tC/ha a 142,9 tC/ha, los valores más bajos se obtuvo en pastizales con 69,8 tC/ha a 116,4 tC/ha y en cultivo de Haba *V. faba* con 49,4 tC/ha a 119,5 tC/ha. La diferencia de cantidades de C por hectárea es estadísticamente significativa y se debe a varios factores, como los diferentes sistemas de uso de tierra que por su variabilidad innata y la variabilidad del suelo en que se desarrollan los niveles de C presentan una alta dispersión entre zonas (Lapeyre *et al.*, 2004), otro factor es la densidad de los árboles, al haber mayor cantidad la captación de C por medio de la fotosíntesis realizada por cada individuo se incrementan las concentraciones de C dentro de la biomasa aérea (Salgado, 2004), las plantaciones tienen una mayor densidad que los bosques, por el arreglo al momento de ser instalados. Un factor importante en la captura de C es la morfología de las especies arbóreas, *P. radiata* presenta alturas mayores, tienden a crecer más en su copa, su fuste recto que puede alcanzar más de un metro de diámetro, hojas siempre verdes (acículas), características que favorecen una mayor captura de carbono. *P. incana* es una especie con lento crecimiento, con fuste irregular tiene varias ramificaciones de buen diámetro

esto hace que exista un buen almacenamiento de C en la biomasa aérea, pero comparado con *P. radiata*, el almacenamiento es menor por el diámetro al que puede llegar. *E. globulus* es una especie de gran altura, fuste recto, diámetro regular y hojas grandes, que tienen corta vida y hojas que caen en gran cantidad en la época de estiaje, confirmando lo expresado por Pérez *et al.*, (1991) quien menciona que la dinámica de la renovación de los órganos de los árboles libera C y una parte se incorpora a la atmósfera como CO₂ y el resto queda en el suelo de manera estable en forma de humus, esta especie tiene rápido crecimiento, por lo que también almacena poco C en su fuste, el *A. acuminata* es una especie de buena altura tiene numerosas ramificaciones, fuste que alcanza diámetros mayores, es semi caducifolia, el incremento de captura de C sería alto si los rodales existentes alcanzarían mayores edades, pero por su madera útil en artesanía son aprovechados en edad juvenil, la *V. faba* es una especie con poca biomasa aérea, y los pastizales no tienen biomasa aérea, son plantas estacionales, que se renueva cada año, su tallo no presenta xilema y la acumulación de biomasa se da en las raíces desarrolladas donde almacenan mayor cantidad de C. La edad también es un factor importante, los sistemas forestales tienden a incrementarse con la edad, los árboles en crecimiento y desarrollo absorben C de la atmósfera y lo fijan en su madera (FONAM, 2005); tal como lo describen Alegre *et al.*, (2002), Callo *et al.*, (2002), Asimismo Lapeyre *et al.*, (2004); detallan que el almacenamiento de C por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento: dado que aproximadamente el 50% de la biomasa está formada por C, en la presente investigación la plantación de *P. radiata* tiene 30 años en promedio y *E. globulus* en promedio tiene 25 años, estas especies han capturado una mayor cantidad de C y lo han depositado en el suelo.

Uno de los almacenes de C es la biomasa en materia orgánica muerta (Hojarasca, troncos caídos, tocones y árboles muertos en pie).



En la presente investigación los niveles de hojarasca, contribuyen muy poco a la captura total de C y sólo fueron relativamente significativos para *E. globulus* con 3,3 tC/ha y el *P. radiata* con 2,4 tC/ha, la cantidad de biomasa de hojarasca, está relacionada directamente con tratamientos silviculturales, como la poda y el raleo, que son aplicados para evitar malformaciones, asegurar madera de calidad y estimular el crecimiento en altura. En tercer orden están los bosques de *P. incana* con 2,3 tC/ha, en la cual la cantidad de biomasa acumulada se relaciona directamente a la poda natural, así mismo en los tres sistemas de uso de la tierra mencionamos otro factor que se ve en el incremento de biomasa de hojarasca; es la edad de los árboles, ya que a mayor edad se muestra mayores dimensiones en altura, diámetro normal y diámetro de copa y con ello más volumen y área de copa, por lo que existe un aporte constante de estos restos vegetales muertos (Dames *et al.*, 1998). Otra reserva de C y un sitio para la fijación de nitrógeno y acumulación de materia orgánica es la madera muerta (Tocón, Tronco caído). Los troncos caídos pueden representar un substrato adecuado para el establecimiento y germinación de varias especies de plantas, por la presencia de materia orgánica y por la cantidad de nitrógeno asimilable liberado de la madera por algunas bacterias y fijado por otras (Maser y Trappe, 1984). Este almacén es muy variable y generalmente se presentan en forma localizada y solo se dieron de manera significativa en *A. acuminata* con un aporte que varía desde 0,6 tC/ha a 8,2 tC/ha, *P. incana* con 0,9 tC/ha a 7,3 tC/ha, estos resultados son propios de la extracción que se produce en estos bosques nativos, permitiendo una diferenciación con los otros sistemas y esto genera mayor variabilidad en la dinámica forestal.

Otro factor es la tasa de descomposición de la hojarasca, para *E. globulus* y *P. Pinaster* se estima que el contenido de C en la hojarasca originado por estas especies aumenta con la edad aunque tiende a estabilizarse a partir de

los 10 años alcanzando valores medios entre 18 y 36 t/ha año, y a partir de los 20 años alcanzando valores medios entre 1,5 t/ha año respectivamente. (Alvarez *et al.*, 2005). Lo que confirma lo expresado por Gayoso, (2002) quien afirma que los bosques naturales ó maduros son buenos depósitos de C. En Junín, se realizó una investigación sobre el almacenamiento de C y flujo de CO₂ en suelos con plantaciones de tres especies forestales – Valle del Mantaro (Dávila *et al.*, 2008), en el cual se ha determinado la existencia de 234,2 tC/ha en *E. globulus*, 141,5 tC/ha en *P. radiata* y 156,4 tC/ha en *P. incana*. En la presente investigación se obtuvo 127,0 tC/ha en *E. globulus* 214,0 tC/ha, en *P. radiata* y 142,4 tC/ha en *P. incana*.

Otro factor que modifica significativamente los tenores de C, es la textura del suelo (ASB, 1999), en la presente investigación los suelos de las plantaciones de *P. radiata* y *E. globulus* se clasifican como Arcilloso, Franco Arcilloso y Franco, se caracterizan porque tienen la propiedad de estabilizar la materia orgánica, evitando su rápida descomposición por la protección física que ocurre cuando la materia orgánica del suelo es adsorbida sobre las partículas de arcillas o cuando es incrustada o recubierta por los minerales de tamaño arcilla (Tisdall y Oades, 1982), o cuando se encuentra fuera del alcance los microorganismos por estar dentro de los agregados del suelo (Sánchez-Hernández *et al.*, 2006) y por lo tanto acumula por mayor tiempo el C. La asimilación de nutrientes del suelo está influenciada por el pH, ya que determinados nutrientes se pueden bloquear bajo determinadas condiciones de pH y no son asimilables para las plantas. Para las plantaciones de *P. radiata*, el nivel de Fósforo es bajo desde 0,87 hasta 8,20ppm, en el caso de las plantaciones de *E. globulus* el nivel de Fósforo es bajo desde 1,73 hasta 13,9ppm (Harrison *et al.*, 1990). Esto se ve reflejado en la altura total del árbol y la altura dominante de la parcela que se correlaciona de forma positiva con el contenido de Fósforo en el suelo para el crecimiento en altura y la productividad.



La materia orgánica da lugar a compuestos húmicos muy ricos en polisacáridos y proteínas procedentes de la descomposición de su biomasa rizosférica. Sus suelos, dan lugar a espesos horizontes orgánicos, que generan el denominado horizonte úmbrico, a su vez favorecido por la humedad edáfica casi constante promueve una continua respiración microbiana, lo que redundará en una constante emisión de CO₂ a la atmósfera. *P. incana* presenta la hojarasca de categoría indiferente, se caracteriza porque el tipo de humus a que da lugar, depende de otros factores del medio, tales como el edafoclima, la textura y la disponibilidad de nutrientes y sales. En función de estos últimos, pueden dar lugar a las tres clases de humus no hidromórficos: mull, moder y mor (horizonte orgánico de un humus ácido que se acumula en la superficie del suelo) (Kavvadiás *et al.*, 2001).

Los rangos del pH en bosques de *A. acuminata* y *P. incana* varían desde 4,5 hasta 6,1 están clasificados como pH ácido. Ramírez *et al.*, (2000) citado por Palomino 2003, encontró que *A. acuminata* es un especie pionera, que presentó mayor tasa de descomposición en comparación con *P. radiata*. Otro almacén de C es la biomasa herbácea/arbustiva, que no tiene un aporte significativo y solo es representativo en el cultivo de *V. faba* con un 1,2 a 4,4tC/ha y pastizal con 1,0 tC/ha a 5,3 tC/ha, los demás sistemas tienen un aporte mínimo, debido a que la presencia de hojarasca limita la productividad de las especies arbustivas/herbáceas, sobre todo en *P. radiata* y *E. globulus*.

Carbono en el SUT Plantación de Pino

El C fijado en la biomasa aérea de *P. radiata* es 112,3 tC/ha en promedio, representa el 52% del C fijado total, esta especie presenta ramas gigantes verticiladas, copa cónica que ocupa generalmente las ¾ partes del tamaño del árbol, y el C fijado en la biomasa subterránea (raíces) es de 16,9 tC/ha en promedio, representa el 8% del C fijado total, por lo que existe una

relación de 1/6 entre la biomasa subterránea y biomasa aérea.

La mayor cantidad de C fijado en las raíces finas de *P. radiata*, se concentró en el estrato: 0–10cm, que representa el 52% de la biomasa total de raíces finas, con 4,5 tC/ha a 11,3 tC/ha mientras que el estrato de 10–20cm, representa el 22%, con 2,1 tC/ha a 4,7 tC/ha, el sistema radicular de *P. radiata* se extiende a grandes distancias y a pesar de la alta concentración de raíces pequeñas en los suelos superficiales, se hallan entre los árboles menos ramificados de las especies forestales importantes, ya que pueden poseer hasta 20 o más raíces laterales de primer orden, de manera más o menos espaciada alrededor de 15m o más (Pritchett, 1990).

El C almacenado en el suelo a una profundidad de 50cm en plantaciones de *P. radiata*, se determinó según diferentes estratos, para el horizonte 0–10cm se obtuvo 31,6 tC/ha en promedio, con 6,47% de materia orgánica, que califica como muy rica, esto informa sobre una mayor proporción de C que puede mineralizarse y un mayor índice de humificación, por lo que permanecen menos tiempo y es menos estable la intensidad del metabolismo microbiano (Anderson y Domsch, 1993), además indican una baja eficiencia de los microorganismos edáficos en su actividad para utilizar la materia orgánica (Moscatello *et al.*, 2005), citado por Palomino, 2003 peores condiciones de degradación, menor calidad de suelo y estrés en los microorganismos. En el horizonte de 10–30cm se obtuvo 26,6 tC/ha en promedio, con 3,03% de materia orgánica, que califica como bien provisto, el horizonte de 30–50cm obtuvo 20,9 tC/ha en promedio, con 1,99% de materia orgánica, que califica como Normal. El *P. radiata* provoca una pérdida de fertilidad en el suelo, debido a la modificación del pH y a las limitaciones físicas que supone el continuo aporte de materia orgánica, que se acumula sobre el suelo formando un “mulching” de más de 20cm de espesor, con baja capacidad de retención de agua, que dificulta la persistencia



de las especies herbáceas ya establecidas y de las que germinan sobre este lecho acolchado. Esto hace que a la larga sólo se desarrollen especies con un sistema radical capaz de profundizar en el suelo, como el helecho común y las plantas arbustivas (Rigueiro *et al.*, 2004).

Carbono en el SUT Plantación de Eucalipto

El carbono fijado en la biomasa arbórea de *E. globulus* es 31,4 tC/ha en promedio, representa el 25% del C total, esta especie tiene copa pequeña ramas alternas, y el C fijado en la biomasa subterránea (raíces) es 13,7 tC/ha en promedio, representa el 13%, por lo que podría afirmarse que existe una relación $\frac{1}{2}$ entre la biomasa subterránea y biomasa aérea.

La mayor cantidad de C fijado en la biomasa de las raíces finas en *E. globulus* se concentró en el estrato más superficial: 0–10cm, que representa el 53% de la biomasa total de raíces finas, con 6,2 tC/ha a 9,7 tC/ha, debido a la alta concentración de biomasa donde la aireación y los nutrientes se encuentran en mayor cuantía y el estrato de 10–20cm, representa el 21%, con valores de 1,84 tC/ha a 4,1 tC/ha, esta especie tiene un sistema radical con una gran densidad de raíces próximas a la superficie, disminuyendo abruptamente su abundancia debajo de los 50-80cm de profundidad, se caracteriza por presentar una raíz pivotante. La gran variabilidad que presentan los valores y la distribución, se debe a la heterogeneidad natural de los sistemas radicales y la gran irregularidad de la arquitectura de las raíces de plantas provenientes de propagación vegetativa (Fitter, 1991; Drexhage *et al.*, 1999).

Según algunos estudios realizados en el Valle del Mantaro, sobre la estimación del contenido de C de *E. globulus* en la comunidad campesina de Hualhuas ha determinado la existencia de 137,05 tC/ha de biomasa total (Gamarra, 2001). Otros estudios realizados en Huaráz, sobre la determinación de las reservas totales

de C en plantaciones de *E. globulus* en Marcará – Carhuáz (Palomino, 2003) ha determinado la existencia de 195,436 tC/ha. En la presente investigación la plantación de *E. globulus* se obtuvo 127,0 tC/ha, siendo menor el contenido de C en comparación a los estudios anteriores, esto se debe a que en las plantaciones de Hualhuas y Huaráz se encontraron árboles de mayor tamaño y altura debido a la edad del bosque, distribución de la plantación, relieve y profundidad del suelo.

Con respecto al C almacenado en el suelo de *E. globulus*, para el horizonte de 0–10cm obtuvo 26,1 tC/ha en promedio, con 5,16% de materia orgánica, que califica como muy rica, horizonte de 10–30cm, obtuvo 33,6 tC/ha, con 3,15% de materia orgánica, que califica como bien provisto, el horizonte de 30–50cm obtuvo 18,2 tC/ha, con 1,59% de materia orgánica, que califica como normal. Los niveles de materia orgánica del suelo son elevados por la presencia de la cobertura arbolada de *P. radiata* que provoca un aumento de las condiciones de sombra puesto que se reduce la radiación en el suelo y por lo tanto una disminución de la temperatura en el mismo y se produce mayores tasas de transpiración, provocando una disminución de dichos procesos, para el caso de *E. globulus*, la cobertura arbolada permite una mayor entrada de luz en el sistema, incrementando la temperatura y las reacciones de tipo microbiológico del suelo, por lo tanto la mineralización hace que se incremente de forma significativa el contenido de materia orgánica en el suelo (Rodríguez *et al.*, 2006), también se ven influenciadas por la elevada densidad de las plantaciones por lo que se produce una disminución del pH, con un rango que va desde 4 (clasificado como pH muy ácido), hasta 6 (pH ácido), de tal manera que el crecimiento de la especie forestal implica una mayor extracción de calcio del suelo y por lo tanto se produce un efecto acidificante, debido a que se trata de especies de crecimiento rápido y que son especies de hoja perenne en el caso de *P. radiata*, la cual contiene elevados contenidos en ligninas, lípidos y taninos



condensados (difícilmente biodegradables) y hojas caducas en *E. globulus*, en consecuencia la actividad biológica del suelo en su presencia, es muy escasa, esto afecta el ciclo del CO₂ al estar muy relacionado con la actividad de la biomasa microbiana y de la capacidad de intercambio de nutrientes (Kim, 2008, citado por Silva *et al.*, 2011).

Carbono en el SUT Bosque de Queñua

El C fijado en la biomasa aérea del bosque de Queñua *P. incana* es 41,3 tC/ha en promedio, que representa el 29% del C total, esta especie tiene la forma retorcida del fuste y posee grandes cantidades de ramas, la fragmentación de este bosque posiblemente se deba a factores antropogénicos (excesiva tala) y el carbono fijado en la biomasa subterránea (raíces) es 20,1 tC/ha en promedio, que representa 14%, por lo que existe una relación de ½ entre la biomasa subterránea y biomasa aérea.

La mayor cantidad de carbono fijado en la biomasa de raíces finas en *P. incana* se concentró en el estrato: 0–10cm, que representa 30% de la biomasa total de raíces finas, con 5,1 tC/ha a 8,3 tC/ha y el estrato de 10–20cm, representa el 19%, con 2,6 tC/ha a 59,1 tC/ha. La mayor proporción de raíces en el estrato superficial, sería el resultado del impedimento físico para explorar en profundidad el suelo. En Puno, se realizaron diversas investigaciones sobre los bosques nativos de *P. incana*, (Siltanen *et al.*, 1987), en estos se reportaron valores con rangos entre un mínimo que varía de 3,1 tC/ha con una altura de 4m y un máximo de 50,0 tC/ha con una altura 8m, estas diferencias se deben a que los bosques de Puno son más secos en comparación al área de estudio y por ende son menos densos. Además las especies presentes en cada tipo de bosque varían principalmente en los valores de la gravedad específica y el incremento volumétrico.

El carbono almacenado en el suelo del SUT Bosque de Queñua *P. incana*, en el horizonte

0–10 cm se obtuvo 26,5tC/ha en promedio, con 5,1% de materia orgánica, que califica como muy rica, el horizonte 10–30cm, obtuvo 20,9 tC/ha, con 2,5% de materia orgánica, que califica como bien provisto, el horizonte 30–50cm obtuvo 20,9tC/ha, con 1,8% de materia orgánica, que califica como Normal.

Carbono en el SUT Bosque de Aliso

El carbono fijado en la biomasa arbórea del bosque de Aliso *A. acuminata* es de 23,5 tC/ha en promedio, que representa 19% del C total, mientras que el C fijado en la biomasa subterránea (raíces) es 13,7 tC/ha, y representa el 10%, por lo que existe una relación de ½ entre la biomasa subterránea y biomasa arbórea, *A. acuminata* es una especie que fija nitrógeno puesto que mantienen relaciones simbióticas con microorganismos del suelo que les permiten fijar este elemento en sus raíces (Mooney, 1972). Gracias a este tipo de relaciones, esta especie presenta una mayor eficiencia en la realización de sus procesos metabólicos, como consecuencia, su tasa fotosintética aumenta y lo cual permite una mayor acumulación de carbono en los órganos de la planta. (Binkley, 1986).

En el Valle del Mantaro se realizó una investigación sobre la estimación de la biomasa sobre el suelo para *A. acuminata* en Quilcas, en el cual el mayor porcentaje de C se encontró en la biomasa arbórea en un 82% y un 18% en la biomasa de raíces. El C almacenado en el horizonte de 0–10cm obtuvo 31,5 tC/ha en promedio, con 6,12% de materia orgánica, que califica como muy rica, esto produce que la agregación y la estabilidad de la estructura y propiedades físicas del suelo aumenten. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. (Robert, 2001), horizonte de 10–30cm, se obtuvo 32,2 tC/ha, con 3,02% de materia orgánica, que califica como bien provisto, el horizonte 30–50cm obtuvo 21,3 tC/ha, con 1,92% de materia orgánica, que califica como Normal.



Carbono en el SUT Pastizal

El C almacenado en la biomasa aérea del pastizal es de 2,2 tC/ha en promedio, esto representa el 2% del C total y el C fijado en la biomasa subterránea (raíces) es de 6,5 tC/ha, que representa el 7%. La mayor cantidad de C fijado en la biomasa de raíces finas del pastizal se concentró en el estrato: 0–10cm, con 3,9 tC/ha a 4,4 tC/ha, representado el 65% de la biomasa total de raíces finas, lo que indica su distribución superficial y el estrato de 10–20cm, que representa el 21%, con 0,7 tC/ha a 2,7 tC/ha. Su sistema radicular poco profundo, favorece a una mayor mineralización de la materia orgánica, característica que varía entre especies. Además indican la mayor posibilidad que tienen estas gramíneas de explorar mayor volumen de suelo para la asimilación de los nutrientes.

El carbono almacenado en pastizales, en el horizonte de 0–10cm obtuvo 28,4 tC/ha en promedio, con 5,6% de materia orgánica, que califica como muy rico, en el horizonte 10–30cm, se obtuvo 39,7 tC/ha, con 4,01% de materia orgánica, que lo califica como rico, mientras que en el horizonte 30–50cm obtuvo 18,2 tC/ha, con 1,74% de materia orgánica, que lo califica como normal.

Los rangos del pH de pastizal, varían desde 4,0 que es clasificado como pH muy ácido, hasta 5,7 que es clasificado como pH ácido. Se considera que los sistemas con pastos, a diferencia de los cultivos anuales de ciclo corto, poseen un ciclo continuo de iniciación, crecimiento y muerte de unidades individuales (tallos aéreos, rizomas o estolones gramíneas, y ramas y raíces en leguminosas), las cuales generan materia orgánica (Fisher y Trujillo, 2000). Esto se fundamenta porque en las pasturas hay un aporte constante por rizodeposición y de las raicillas superficiales que mueren, en consecuencia se descomponen rápidamente así como la adición en las excretas de los animales. Las raíces de los pastos son de corta vida y cada año la descomposición de raíces muertas contribuye a la cantidad de

materia orgánica humificada. Así también se ha verificado que la síntesis de humus se lleva a cabo en la rizósfera, la cual es más extensa bajo pasturas. (Alegre *et al.*, 2002); Los suelos presentan una textura variable desde franco arcilloso arenoso, franco arcilloso y franco.

Carbono en el SUT Cultivo anual

El C fijado en la biomasa aérea de Haba *V. faba* es 7,5 tC/ha en promedio, representan 9% del C total y el C fijado en la biomasa subterránea (raíces) es 5,3 tC/ha en promedio, representa 6%, por lo que existe una relación de 1/1 entre la biomasa subterránea y biomasa arbórea. La mayor cantidad de carbono fijado en la biomasa de raíces finas en *V. faba* se concentró en el estrato: 0–10cm, que representa el 46% de la biomasa total de raíces finas, con 1,4 tC/ha a 3,6 tC/ha y el estrato de 10–20cm, representa el 24%, con 0,7 tC/ha a 2,4 tC/ha.

Cuando se inicia el crecimiento, en estado de plántula de esta especie, hay muy poca o nula interacción entre estas, debido a su pequeño tamaño. A medida que avanza el crecimiento, se produce una superposición tanto de forma aérea como subterránea, lo que genera modificaciones en las tasas de crecimiento y morfología y arquitectura de las plantas, lo que se ve acrecentado con aumentos en la densidad (Loomis y Connor, 2002).

El C almacenado en el cultivo de *V. faba*, en el horizonte de 0–10cm obtuvo 24,8 tC/ha en promedio, con 4,48% de materia orgánica, que califica como rico, el horizonte 10 – 30cm, obtuvo 32,4 tC/ha, con 2,74% de materia orgánica, que califica como bien provisto, el horizonte de 30–50cm obtuvo 16,5 tC/ha, con 1,29% de materia orgánica, que califica como moderado provisto.

Las prácticas de labranza han sido la causa general de la disminución de la materia orgánica de suelos. Los rangos del pH en *V. faba* varían desde 4,8 (pH ácido), hasta 7,1 (pH neutro).



Este resultado es adecuado para la mayoría de los cultivos. Lo que confirma Bravo y Aldunate, (1987), citado por Fisher y Trujillo, 2000 que mencionan que el rango de pH óptimo fluctúa entre 5,5 a 7. Aunque esta especie se adapta a

distintos tipos de suelo, de preferencia deben ser profundos, con contenido de arcilla pero con drenaje, ya que es una especie sensible al anegamiento.



Conclusiones

- La mayor cantidad de carbono fijado en promedio se encontró en el sistema de uso de tierra de plantación forestal en comparación con los demás sistemas, seguido de los bosques nativos, siendo los pastizales y el cultivo estacionario los de menor cantidad de carbono fijado.
- Los principales factores que han influido en el carbono fijado son: sistema de uso de tierra, densidad de plantación, morfología de especies, edad de la vegetación arbórea, tipo de suelo, manejo silvicultural, características climáticas y calidad del suelo.
- La capacidad de capturar carbono en el suelo a una profundidad de 50 cm, en los sistemas evaluados está en función de: textura y estructura, pH, nutrientes presentes, tipo de agregado, precipitación que interviene en el crecimiento de la vegetación arbórea y en la descomposición de la hojarasca, temperatura y profundidad del suelo.
- El carbono almacenado en el suelo del SUT Pastizal contribuyó en mayor medida al secuestro de carbono, por la gran biomasa radicular en comparación con los demás sistemas evaluados siendo significativo en los bosques nativos y plantaciones forestales que poseen cantidades similares en la concentración del carbono orgánico en el suelo, por lo que no son estadísticamente significativos, el cultivo de Vicia faba obtuvo menor valor de carbono orgánico del suelo.



Recomendaciones

- Enriquecer los bosques nativos con especies de *Polylepis incana* H&B, *Alnus acuminata* H.B.K., *Buddleja incana*, por el beneficio ambiental en el sumidero de carbono y el beneficio económico que puede tener sobre las comunidades y los dueños de los bosque.
- Instalar parcelas permanentes de muestreo para realizar monitorios y obtener información continua sobre el aumento o disminución de biomasa en diversos sistemas de uso de tierra del Valle del Mantaro.
- En base a los estudios de sumidero de carbono existentes en el Valle del Mantaro y la región, implementar un banco de datos de modelos alométricos validados de las especies nativas como instrumento base para desarrollar proyectos de mecanismos de desarrollo limpio. Asimismo incrementar investigaciones sobre la biomasa de raíces de los árboles de importancia forestal y su relación con las propiedades del suelo.
- Se debería incidir en programas de repoblamiento de las zonas altoandinas, en especial en zona de recarga de agua, con la especie *Polylepis*.



Revisión Bibliográfica

- Abrahamson, G. & Caswell, H. 1982. On the comparative allocation of biomass, energy, and nutrients in plants. *Ecology* 63: 982-991.
- Anderson, H. y Domsch, H. 1993. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 25. 393-395.
- Alegre, J.; Arévalo, L. y Ricse, A. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana. ICRAF/INIA. Perú.
- Álvarez, J.; Balboa, M.; Merino, A. y Rodríguez, R. 2005. Estimación de la biomasa arbórea en *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galacia. *Recursos Rurais Vol1 nº 1:21-30*
- Álvarez, M.; Sanín, D.; Alzate, F.; Castaño, N.; Mancera, C. y González, G. 2007. Plantas de la región Centro – Sur de Caldas – Colombia. Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados, Universidad de Caldas, Manizales. 528 p.
- ASB. 1999. Climate change working group final report, Phase I. Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land uses in the humid tropics. Nairobi, Kenya 35p.
- Aubad J, Arago P, Olall-Tarraga M, Rodríguez M. 2008. Illegal logging, landscape structure and the variation of tree species richness across North Andean forest remnants. *Forest Ecology and Management*, 255: 1892-1899.
- Binkley, D. 1986. *Forest Nutrition Management*. John Wiley & Sons, USA. 290 p.
- Cairns, M.; Brown, S.; Helmer, E.; y Baumgardner, G. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia* 111: 1-11.
- Callo, D.; Krishnamurthy, L. y Alegre, J. 2002. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. *Revista Chapingo: Ciencias Forestales y Medio Ambiente*. 8:101-106.
- Contreras, F.; Leaña, C.; Licona, C.; Dauber, E.; Gunnar, L.; Hager, N. y Caba, C. 1999. Guía para la instalación de parcelas permanentes de muestreo (PPMs). Proyecto BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.
- Dávila, V.; Retamozo, F. y Suarez, L. 2008. Almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con plantaciones de tres especies forestales en el Valle del Mantaro. Tesis. Huancayo, Perú. UNCP.
- Dames, F.; Scholes, C. y Straker, J. 1998. Litter production and accumulation in *Pinus patula* plantations of the Mpumalanga, South Africa. *Plant and Soil* 203: 183-190.
- Drexhage, M.; Chauviere, M.; Colin, F. y Nielsen, N. 1999. Development of structural root architecture and allometry of *Quercus petraea*. *Canadian Journal of Forest Research* 29, 600–608.
- Dwyer, M.; Ma, L.; Stewart, W.; Hayhoe, N.; Balchin, D.; Culley, B. & McGovern, M. 1996. Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Can. J. Soil Sci.* 76: 23-28
- Fisher, M. & Trujillo, W. 2000. Fijación de carbono por pastos tropicales en las sabanas de los suelos ácidos neotropicales. En: *Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales*. (Eds. C. Pomareda y H. Steinfeld). CATIE/FAO/SIDA. San José, Costa Rica. 115 p.



- Fitter, A. 1991. The ecological significance of root system architecture: an economic approach. In: *Plant Root Growth: an Ecological Perspective*. pp 229–243. Blackwell Scientific Publishers, London.
- Fogel, R. 1983. Root turnover and productivity of coniferous forest. *Plant and Soil* 71: 75- 85.
- FONAM. 2005. Conferencia “Servicios ambientales aplicados al manejo de cuencas”. Ciclo de Conferencias por el día del Medio Ambiente. UNALM, Lima. Presentación de Justo J. Soto.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2001. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 167 p.
- Gamarra, J. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Hualhuas, Junín. Tesis. Huancayo, Perú. UNCP. 98 p.
- Gayoso, J. 2002. Medición de la captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. *Rev. For. Iber.* 1: 1-13.
- Harrison, F.; Harkness, D. y Bacon, J. 1990. The use of bomb C for studying organic matter and N and P dynamics in a Woodland soil. In: Harrison, F.; Ineson, P.; Heal, W.; (Eds), *Nutrient Cycling In Terrestrial Ecosystems; Field Methods, Applications and Interpretation*. Elsevier, Barking. p 246-258.
- Hernández, L. & Fiala, K.1992. Root biomass dynamics in the savanna community of *Paspalum notatum* in Cuba. *Ekologia (CSFR)* 11:166
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2014. Anuario de estadísticas ambientales 2014. Perú. 574 p.
- INRENA. 2001. Cooperación Técnica de Finlandia – INDUFOR. Lineamientos para la Gestión Forestal.
- Kavvadias, A.; Alifragis, D.; Tsiontsis, A.; Brofias, G. y Stamatelos, G. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *For Ecol Manag* 144:113–127
- Kögel-Knabner, I. 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 34:139–162.
- Kitayama, K. y Aiba, I. 2002. Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Ecology*, 90, 37–51.
- Lapeyre, T.; Alegre, J. y Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú. UNALM. 61 p.
- Loomis, S. y Connor, J. 2002. Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios. 591 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Arlington.
- Madeira, V.; Melo, M.; Alexandre, A. y Steen, E. 1989. Effects of deep ploughing and superficial disc harrowing on physical and chemical soil properties and biomass in a new plantation of *E. globulus*. *Soil Till. Res.* 14, 163-175.
- Maser, C. y Trappe, M. 1984. The seen and unseen world of the fallen tree. Technical report U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 56 p.
- Mooney, H.A. 1972. The carbon balance of plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 3: 315-346.
- Orme, D.; Davies, G.; Burgess, M.; Eigenbrod, F.; Pickup, N.; Olson, A.; Webster, J.; Ding, S.; Rasmussen, C.; Ridgely, S.; Stattersfield, J.; Bennett, M.; Blackburn, M.; Gaston, J. y Owens, P. 2005. Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature*.2005;436:1016–1019.
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). 2003. Guía de buenas prácticas del uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (GBP UTCUTS). Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del protocolo de kyoto. Capítulo 4. 132 p. 12may2013: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf-languages.html>.



- Palomino, E. 2003. Determinación de las reservas totales de carbono en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* L. en Marcará – Carhuaz. Tesis. Huaraz, UNCP. 80 p.
- Pérez, E. 2013. Estimación de la biomasa sobre el suelo para *Alnus acuminata* H.B.K., para Qillcas – Perú. Tesis Pregrado Huancayo, Perú. UNCP. 89 p.
- Pérez, C.; Armesto, J. & Ruthsatz, B. 1991. Descomposición de hojas, biomasa de raíces y características de los suelos en bosques mixtos de coníferas y especies laurifoliadas en el Parque Nacional Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 64, 479-490. Obtenido de http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1991/3/Perez_et_al_1991.pdf
- Pritchett, T. 1990. Suelos Forestales. Ed. Limusa, S.A. Mexico, D.F. 634 p.
- Raich, W. 1983. Effects of forest conversion on the carbon budget of a tropical soil. *Biotropica* 15, 177-184.
- Rigueiro, A.; Mosquera, R.; Gonzalez, P. & Romero, R. 2004. Silvopastoral systems as a fire prevention technique. *Actas del Congreso Internacional Silvopastoralism and sustainable management*, Lugo, 18-24 abril 2004. 185 p.
- Robert, M. 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96e.pdf>
- Rodríguez, R.; Jiménez, J.; Aguirre, A. & Treviño, J. 2006. Estimación del Carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL*. 9(2): 179-187.
- Salgado, L. 2004. El mecanismo de desarrollo limpio en actividades de uso de la tierra, cambio de uso y forestería (LULUCF) y su potencial en la región latinoamericana. Chile
- Sánchez-Hernández, R.; Ordaz-Chaparro, M.; BenedictoValdés, S.; Hidalgo-Moreno, I. y Palma-López, J. 2006. Regeneración estructural de un suelo arcilloso por aportes de vermicompost en la Chontalpa, Tabasco, México. *Univ. Ciencia* 22: 13-26.
- Schlatter, E.; Gerding, V. y Calderón, S. 2006. Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*, X Región, Chile. *Bosque* 27 (2): 115-125.
- Silva, R.; Da Silva, I.; De Barros, N. y De Sá Mendonça, E. 2011. Effect of compaction on microbial activity and carbón and nitrogen transformations in two oxisols with different mineralogy. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1141-1149, 2011
- Schwartz, E. 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal en América Latina Documento de Trabajo. Informe Nacional Perú. ESFAL/N/19, INRENA, FAO, Roma, 2004.
- Siltanen, M.; Thurland, M. y Casanova, J. 1987. Evaluación de producción de biomas en función al suelo de cinco rodales de *Polylepis incana*. Puno, Perú. Proyecto Arbolandino Intercooperation.
- Snowdon, P.; Eamus, D.; Gibbons, P.; Khana, P.; Keith, H.; Raisonand, J. & Kirschbaum, M. 2000. "Synthesis of allometrics, review of root biomass and design of future woody biomass sampling strategies". T 17. National Carbon Accounting System.
- Trasmonte, G.; Silva, Y.; Ochoa, A.; Lindo E.; Giraldez, L.; Baldeon, S.; Galindo, G. y Garay, O. 2010. Clima y Agricultura en el Valle del Mantaro. Instituto Geofísico del Perú. Cambio Climático en la Cuenca del rio Mantaro. 117-124.
- Tisdall, M. y Oades, M. 1982. Organic matter and water stable aggregates. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Tosi, A. 1960. Zonas de vida natural del Perú. Lima, Instituto Internacional de Ciencias Agrícolas. Zona Andina, 271 p. (II CA, boletín técnico N° 5).
- Vogt, A.; Vogt, J.; Palmiotto, A.; Boon, P.; O'Hara, J. y Asbjornsen, H. 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant Soil* 187, 159-219.
- Yaranga, R. y Custodio, M. 2013. Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria* 4(2013) 313-319.
- Zutta, B.; Rundel, P.; Saatchi, S.; Casana, K.; Gauthier, P. y Soto, A. 2012. Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques Andinos vulnerables y cada vez más importantes. *Rev. Peru. Biol.* 19: 205- 275 212.



CAPITULO 5

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA DEL BOSQUE COSTERO

*Por: José Eloy Cuellar Bautista
Neptali Zelaya Ortíz
Araceli López León*

Resumen Ejecutivo

El presente estudio se realizó en la cuenca de Chancay en Lambayeque, en el ecosistema de Bosque Seco, categoría semidenso tuvo como objetivo cuantificar el carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra (SUT): Bosque Primario Remanente BPR (con predominancia de Algarrobo), Plantación Frutal PF (Mango), Pastizal PZ y Cultivo CTA (Maíz), para ello se formaron tres clústeres compuestos por cuatro SUT, seleccionados bajo un muestreo estratificado por conveniencia respetando criterios de inclusión como el tipo de especies que predominan, la densidad vegetativa, el área de 5 000m² y la edad de uso de los sistemas mayor a 7 años y menor a 10 años. Para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron la metodología y protocolo establecidos por el INIA y la Universidad de Gottingen, para el análisis de biomasa aérea en los cinco depósitos de carbono (IPCC); arbóreo, arbustivo/herbáceo, hojarasca/madera muerta, biomasa de raíces y suelo, se delimitó la parcela y se obtuvieron datos de diámetros, alturas y pesos, luego se colectaron muestras de vegetación arbustiva/herbácea y hojarasca/madera muerta, muestras de suelo y raíces hasta 100cm de profundidad. Obteniendo como resultados; BPR almacena 70,9 tC/ha, PF almacena 34,8 tC/ha, PZ almacena 39,0 tC/ha y finalmente CA almacena 24,6 tC/ha, Lo cual demuestra que se trata de un ecosistema muy frágil y con baja capacidad de captura y almacenamiento de carbono. Concluyendo que la pérdida del carbono debido al cambio de uso del bosque es altamente significativo, recomendando que se debe promover el cuidado y conservación de los Bosques Secos del Norte, para mejorar la capacidad de almacenamiento del carbono.



Objetivo

Determinar el patrón de cambios en la biomasa y carbono que se produce por el cambio de uso del bosque mediante evaluaciones destructivas y no destructivas para comprender la dinámica del carbono en el ecosistema Costero.

La Cuenca de Chancay

En el norte del país la situación socioeconómica se hace más vulnerable al cambio climático por los niveles de pobreza y el aumento progresivo de la desertificación, traducidos en 7 000ha deforestadas de una extensión aproximada de 715 000 ha de bosques secos solo en la Región Lambayeque; estos vienen siendo causados por la tala indiscriminada para la producción de carbón vegetal que se utilizan en las pollerías de la ciudad de Chiclayo y Lima así como para el aprovechamiento de leña que se utiliza en las cocinas rurales (Guzmán, 2012). Existe una presión creciente sobre los bosques de la región, que sobrepasa su capacidad de carga; según estudios técnicos realizados por el Proyecto Algarrobo, se depreda a razón de 2m³/ha/año, volúmenes mayores al ritmo de recuperación del bosque que es de 1m³/ha/año, considerados volúmenes brutos (Ocampo, 1999 citado en NORBOSQUE-PIURA, 2007).

Ubicación Política y Geográfica

- Región : Lambayeque
- Provincias : Chiclayo, Ferreñafe, Olmos.
- Distrito : Salas, Olmos.
- Área de Estudio : Cuenca del Chancay.
- Zona : Pitipo, Salas y Olmos.



Figura 103. Ubicación de los clusters de estudio.

Aspecto biofísico

En el norte del Perú, se encuentran los bosques tropicales secos, que se extienden por la costa a través de los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque y el norte de La Libertad. Esta faja costera abarca casi 3 080 km² y constituyen la principal formación vegetal natural, con un área de 3 230 263ha, de las cuales el 67% se encuentra en Piura, el 19% en Lambayeque y el 14% en Tumbes y a lo largo del piso inferior del valle del Marañón. Las dos áreas están comunicadas a través del paso de Porculla (2 100 msnm), la depresión más baja de los Andes en el Perú, a esta ecorregión también se le conoce con el nombre de bosque seco ecuatorial. Este ecosistema, comprende una franja costera de 100 a 150 km de ancho, que llega desde 0°30' hasta los 5° Latitud Sur, desde la península de Santa Elena (Ecuador) hasta la cuenca media del río Chicama, departamento de La Libertad, y en el valle del Marañón hasta los 9° Latitud Sur. En el Departamento de Tumbes llega hasta el nivel del mar y luego se va alejando hacia las vertientes occidentales de la cuenca del Pacífico, hasta poco más de los 1 500msnm; y en el valle del Marañón, ocupa el piso inferior hasta los 2 800 msnm.



Figura 104. La Cuenca Chancay.

El clima es del tipo tropical, cálido y seco, con altas temperaturas, más fresco hacia el este por el aumento de la altitud. La temperatura media anual está entre 23° y 24° C. Las precipitaciones son en verano (diciembre a marzo), muy variables, y excepcionalmente altas cuando se produce el Fenómeno El Niño. Lo normal son lluvias cerca de los 500 mm/año en la parte norte y 100 mm/año en la parte sur, con nueve meses



de sequía. Las neblinas matutinas y vespertinas son de gran importancia para la vegetación. Las lluvias hacen reverdecer el bosque y las estepas, cambiando totalmente la fisonomía de un bosque seco a un bosque intensamente verde e intrincado. El relieve es mayoritariamente llano, con ondulaciones, montañoso al este y al sur, comprendiendo los cerros de Amotape en Piura y Tumbes. Tiene suelos de tipo árido, variables, predominan los arenosos, salinos, francos y arcillosos. En las planicies predominan los suelos arenosos y salinos; en los valles los aluviales y en las vertientes y cadenas de cerros los pedregosos. Los suelos de las planicies tienen un alto contenido de sales que afloran a la superficie con la evaporación de las aguas.



Figura 105. El Carbón de algarrobo es la actividad más importante.

Si continúa el ritmo de la deforestación a razón de la tasa anual actual, los bosques naturales del Perú desaparecerían en aproximadamente 300 años afectando a las cuatro próximas generaciones. Afortunadamente, la tasa de deforestación ha venido decreciendo en los últimos años, principalmente por la falta de financiamiento para la ampliación de la frontera agrícola y se espera que siga decreciendo aún más en el futuro, debido a una mayor cultura forestal y al cumplimiento de la normativa forestal vigente. El 57% de la cobertura total prácticamente ha desaparecido, como los bosques densos (tipificados por contener más de 140 árboles por ha), predominando los bosques ralos y muy ralos (entre 30 y 70 árboles por ha). El bosque está conformado por especies como el algarrobo, hualtaco, zapote, guayacán, mango, entre otras (Guzmán, 2012; MINAM 2011; FAO, 2004).

Recursos de flora y fauna

Es una zona biodiversa que posee una gran variedad de especies endémicas, es decir, especies que solo habitan en un ámbito geográfico muy reducido. Se registran 55 especies endémicas de aves, 8 de mamíferos y 1 000 especies de plantas (de las cerca de 5 000 existentes). Esto la convierte en una de las cuatro áreas de endemismo más importante a nivel mundial. La Torre y Linares (2008) del análisis de clasificación reconoce al menos seis grupos distintos de ensamblajes de especies de árboles con un contenido entre tres a 25 parcelas:

- A. Un bosque estacionalmente seco que crece por debajo de los 100m y esta distribuido a lo largo de las planicies costeras del sur del departamento de Piura (Provincias de Sechura, Piura y Paita). Esta compuesto principalmente por las siempreverdes *P. pallida* y *Capparis scabrida* Kunth, y en menor medida por *Capparis aviceniifolia* Kunth, todas arbustivas, aunque en ocasiones llegan a formar pequeños árboles. La flora acompañante esta compuesta por *Parkinsonia praecox* (Ruíz & Pav.) Hawkins, *Galvezia fruticosa* Gmel., *Encelia canescens* Lam. y *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd.
- B. Un bosque estacionalmente seco que crece entre los 100 y 400 m y compuesto principalmente por *P. pallida*, *C. lutea* y *A. macracantha*. Esta formación, que se encuentra en las faldas inferiores del sur del departamento de Piura (Provincias de Piura, Sullana y Talara, principalmente), se acerca al litoral al norte de Talara debido a la influencia orográfica de la Cordillera de los Amotapes y la presencia de los tablazos (Máncora y Talara). Estas características favorecen la presencia de lluvias más intensas y también la de especies con requerimientos hídricos más exigentes (p.ej. *B. graveolens*). La flora acompañante conspicua está compuesta por *Armatocereus cartwrightianus* (Britton & Rose) Backeb. ex A.W. Hill, *Caesalpinia glabrata* Kunth, *C. avicenniifolia*, *C. scabrida*, *Loxopterygium*



huasango Spruce ex Engl., *Neoraimondia arequipensis* (Meyen) Backeb., *P. praecox*. Además hemos encontrado presencia importante de arbustos de *E. canescens* y pequeños árboles de *G. ulmifolia* Lam.

- C. Un bosque estacionalmente seco que crece entre los 200 y 350m y compuesto principalmente por *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch., *C. scabrada*, *C. lutea* y *G. ulmifolia*. Esta formación se encuentra restringida a un área al sur de Piura, en la provincia de Morropón.
- D. Un bosque estacionalmente seco que crece entre los 220 y 470 m y compuesto principalmente por *Coccoloba ruiziana* Lindau, *C. glabrata*, *L. huasango*, *C. lutea* e *Ipomoea carnea* Jacq. Estos bosques constituyen la franja inferior de los bosques estacionalmente secos de colina y montaña y se distribuyen de norte a sur del departamento de Piura, siguiendo la dirección de la cordillera, en las Provincias de Sullana, Ayabaca y Morropón.
- E. Un bosque estacionalmente seco que crece entre los 280 y 350 m y compuesto principalmente por *Alseis peruviana* Standl., *Simira rubescens* (Benth.) Bremekamp ex Steyermark, pero también con elementos conspicuos de *Terminalia valverdae* A.H. Gentry, *L. huasango*, *Piscidia carthagenensis* Jacq., *Pithecellobium excelsum* (Kunth) Benth., *Eriotheca ruizii* (K. Schum.) A. Robyns. Esta formación se encuentra distribuida en el extremo norte de la provincia de Sullana.
- F. Un bosque estacionalmente seco que crece entre los 390 y 750 m y compuesto principalmente por *E. ruizii*, que es la especie más conspicua y abundante, acompañada por *P. excelsum* y *Erythrina smithiana* Krukoff. Están presentes conspicuamente también *Maytenus sp.1*, *Celtis iguanaea* (Jacq.) Sarg., *Leucaena trichodes* (Jacq.) Benth., *Albizia multiflora* (Kunth) Barneby & J.W. Grimes, *A. macracantha*, *L. huasango* y *B. graveolens*. Esta formación es característica de las faldas y

laderas occidentales de los Andes del extremo sur de la provincia de Huancabamba.

Aspectos socioeconómicos

En la Región Lambayeque, los espacios territoriales abarcan el 95% del área total de los bosques secos, comprendidos entre los distritos más pobres de la región como son Morrope (71,7%), Salas (79,8%) y Olmos (57,9%) cuyos espacios abarcan el 95% del área total de los bosques secos de Lambayeque (Brack y Mendiola 2010). Al respecto Farroñan (2011), manifiesta que la problemática forestal de la región Lambayeque está caracterizada por una deforestación anual de 7 000 a 10 000 ha para ser convertidos a leña, carbón, cajones de fruta y una recurrente ampliación de la frontera agrícola. Esto debido a las limitadas acciones para la conservación de los bosques secos, el escaso control del tráfico de productos forestales y la tala ilegal. El MINAM (2013), por su parte indica que la huella ecológica de la región Lambayeque, según el componente cultivo, es el que tiene un mayor valor per cápita 0,57hag/persona (héctareas globales por persona) en comparación con la biocapacidad de regeneración del planeta, seguido por los pastos y bosques; alcanzando su mayor índice en el año 2012. En ello, se sustenta que las acciones referidas a forestación y reforestación a nivel de cuencas están basados en Planes de Manejo Forestal no ajustados a los intereses de las comunidades y el desarrollo sostenible, esto tiene un mayor agravante al aumento de la superficie de tierras por salinización debido al uso no eficiente del agua de riego, principalmente en el valle de Chancay-Lambayeque (Farroñan, 2011).



Figura 106. Los bosques secos constantemente se cambian a otros usos.



Estos problemas se deben a que las acciones para crear conciencia ambiental en la ciudadanía son limitadas, no hay control del tráfico ilícito de productos forestales y de la tala ilegal, y los escasos planes de manejo forestal no se ajustan a las necesidades de la población ni a los de desarrollo sostenible, de acuerdo a los índices de la huella ecológica de Lambayeque se muestra que para el año 2003 se consumió 0,16 hectáreas globales de bosque por persona y para el año 2012 se consumió 0,22 hectáreas globales de bosque por persona logrando un aumento de 0,38 hectáreas globales por persona entre estos años, siendo este un indicador del consumo desmesurado de materia prima proveniente de los bosques.



Figura 107. Suelos predominantes de los bosques secos.

El ecosistema de los bosques secos se encuentra sometido a un proceso fuerte de explotación permanente por una creciente demanda de carbón y leña con fines comerciales, a lo cual se



Figura 108. Bosques denso de algarrobo.

suman pobladores que, en su afán de obtener ingresos para subsistir, recurren a prácticas inconvenientes caracterizadas por la tala, rozo y quema, sin tomar en cuenta la capacidad y recuperación de los bosques. A través de una ordenanza y con el fin de evitar su deforestación, el Gobierno Regional de Lambayeque declaró en situación de emergencia por dos años los bosques secos del departamento, que constituyen un ecosistema singular altamente amenazado. La principal causa de la destrucción de estos bosques en la actualidad y en el futuro es la deforestación, esta ha ocasionado hasta la actualidad la destrucción de 9,2 millones de hectáreas siendo este el 12% de la superficie boscosa, anualmente se obtiene un promedio de 261 158 ha deforestadas, con una tasa de 725 ha deforestadas por día. La causa de la deforestación en el Perú tiene en primer lugar a la agricultura migratoria ya que esta consiste en retirar los árboles para acondicionarlo en terrenos agrícolas, también se menciona como causa a la extracción ilegal de especies importantes y a la tala para construir caminos, finalmente tenemos a los incendios forestales que muchas veces se da de manera natural. (MINAM, 2011; INRENA, 2007; FAO, 2004).



Figura 109. Bosque de algarrobo semi denso.



A diferencia de los bosques tropicales, de interés maderable, los bosques secos, generan una oferta principalmente de recursos no maderables, obtenidos de sus flores, hojas y frutos. Es decir que la utilización del bosque seco implica el manejo de las copas de los árboles para el desarrollo de las actividades productivas. Según los resultados de parcelas de estudios, los datos de producción y de productividad, la cobertura vegetal genera una biomasa (frutos y hojas) y una disponibilidad de recursos que no es aprovechada en su totalidad. En el caso del algarrobo, por ejemplo, considerando los parámetros del área del bosque, con producción de 46k/árbol/año, se estima una oferta de 2,3 t/ha de frutos al año, de la cual se aprovecha solamente alrededor del 15%, básicamente para la alimentación animal. Existe aquí un gran potencial para la industrialización de este fruto. (MINAM, 2011; INRENA, 2007).

Características de las zonas de estudio

Pitipo

El distrito de Pítipo está ubicado en la costa norte del Perú – Región Chala. Está situado en la parte norte y central de la Provincia de Ferreñafe, a 26,9km de la ciudad de Chiclayo y a 7,8km de la ciudad de Ferreñafe. Tiene una extensión geográfica de 376,05km, tiene como límites al Norte: Jayanca y Mochumí, al Sur: Mesones Muro y Chongoyape, al Este: Cajamarca y al Oeste: Illimo y Túcume, se ubica entre las siguientes coordenadas 79° 47' 21" long Este de Greenwich y 6° 34' 24" long Oeste de Greenwich latitud sur, se sitúa a 37 metros sobre el nivel del mar, el clima es Caluroso, bueno para la agricultura, la fertilidad de sus tierras y lo bondadoso de su clima lo hace un distrito netamente agricultor, donde predominan los cultivos de arroz, azúcar, pan llevar y árboles frutales como el mango, ciruela, guabas, mamey, etc. Cuenta con fértiles tierras, en especial para verano donde los árboles frutales se encuentran maduros. En general cuenta con un paisaje muy variado.

Salas

Su capital es el pueblo de Salas, situado en la margen derecha del riachuelo de su nombre (tributario

del río Motupe), a 77km al norte de la ciudad de Chiclayo y a 190 msnm. A tenido cambios en su ubicación inicial en el lugar llamado Algarrobo, a 4km de su actual ubicación; por los años 1700, habría sobrevenido una terrible epidemia que diezmó a la población, determinando que los sobrevivientes abandonaran la primitiva ubicación para trasladarse al actual Salas. Está situado en el extremo oriental de la provincia de Lambayeque, alejado del mar y pegado a la cordillera Occidental de los Andes, cuyos contrafuertes cortan su territorio. Asimismo está subdividido en las regiones Chala y Yunga. Sus límites son: al Norte, con los departamentos de Piura y Cajamarca; al Este, con los distritos de Cañaris e Incahuasi; al Sur, con el de Jayanca; al Oeste, con los de Motupe, Chóchope y Olmos. En cuanto al relieve y fisiografía, las partes bajas del suelo de este distrito son más o menos llanas; pero sus partes norte y oriente son accidentadas, existiendo cerros como Angelina, Trompetero, Chonto, Zurita, Andamarca, Agua Brava, Potrerillo, Peche, Tempón y otros. Las principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería, la medicina folklórica y otros.

Olmos

El distrito se instala en la ciudad Olmos, en la margen derecha del río del mismo nombre, a 115km al norte de Chiclayo; el mismo que está situado a una altura de 175 msnm, entre las coordenadas geográficas 5° 59' 6" de latitud sur 80° 31' 43" de longitud occidental. El relieve del suelo, es casi llano y suave, presentando algunas elevaciones de poca altitud, destacando cerros, lomas, quebradas y pampas. Además se aprecia la conocida "Cuesta de Ñaupe" que da paso a la carretera Panamericana Norte antigua. El territorio presenta estribaciones andinas en plena ceja de sierra occidental, en tanto que al oeste se configura una zona con sucesiones de desiertos y pampas, así como llanuras aluviales y quebradas secas que se activan de manera violenta cuando ocurren lluvias intensas. Por su latitud, le corresponde un clima cálido con un promedio de temperaturas por encima de los 25° centígrados y con máximas que sobrepasan los 30°



en los meses de enero a marzo. Estas condiciones climáticas traen como consecuencia la formación de bosques secos tipo sábana en la mayor parte del territorio. El clima aunado a las características desérticas de la Costa y a la existencia de cursos de agua subterránea ha permitido la presencia de formaciones arbóreas como algarrobo, zapote y overo. La ganadería es la principal actividad económica, con una producción de 60 000 cabezas de ganado caprino, 30 000 de ovino (criollo y de pelo) y 10 000 de vacuno. Todas ellas aprovechan los forrajes y recursos naturales de los bosques secos. La agricultura cuenta con casi dos mil hectáreas de cultivo en producción que gira en torno al limón y pan llevar, en los últimos tiempos la fruticultura ha cobrado importancia y es por ello que se exporta mango de calidad e incluso se cultiva ají.



Figura 110. Una finca con frutales de exportación, bosques y plantaciones.

Sistema de Uso de la Tierra Evaluado

Bosque Primario Remanente (BRP)

Se evaluaron terrenos cubiertos por especies arbóreas forestales como manifestación dominante, y con fracción de cubierta igual o superior al 20%. Asimismo, se incluyen las superficies arboladas que no alcanzan el 20% de cubierta, pero que se caracterizan únicamente por su aprovechamiento forestal. El referente patrón del estudio viene a ser el Santuario Histórico de Pómac con una

extensión de 5 887,3 ha, situado en el valle del río Lercanlech (también llamado La Leche), en el distrito de Pítipo, provincia de Ferreñafe - Lambayeque y se extiende sobre una planicie a 70 msnm, cubierta en gran parte de algarrobal en diferentes densidades, lo que da paso a que este mismo sea denso, semi-denso o ralo, chaparral o matorral.



Figura 111. Plantación de un frutal de mango.

El Bosque Semi-denso elegido para la investigación, tiene una igual proporción entre Algarrobo *P. pallida* y Sapote *Capparis scabrida*, acompañado de especies arbustivas como Vichayo *Capparis ovalifolia* y Canutillo o Palo Negro *Grabowskia boerhaaviaefolia*.



Figura 112. Conformación arbórea de un bosque seco semi denso.



Figura 113. Vista de un pastizal en la costa de Lambayeque.

También incluye arbustos de Cuncuno *Vallesia glabra* Overo *Cordia lutea* en menor proporción, en asociación con Faique *Acacia macracantha*, la Caña Brava *Gynerium sagittatum*, el Junco o Carrizo *Phragmites australis*, la Sacuara *Cortaderia cubata*, la Chilca *Baccharis lanceolata*, el Sauce *Salix chilensis*, el Pájaro Bobo *Tessaria integrifolia*, el Cerecillo *Muntingia calabura* y el Guásimo *Guazuma ulmifolia*. Estos últimos propios de los bosques ribereños, también llamados “bosques de galería” como en caso de Bosque Pómac ubicados en una estrecha franja adyacente a ambas orillas del río Lercanlech.

Plantación de frutal (PF)

Es el área de los Bosques Secos del Norte el cual está formado por árboles de frutales de *Mangifera indica* (mango), esta especie arbórea brinda frutos los cuales son comercializados en todo el país e incluso son exportados. De hecho, las parcelas de estudio constituyeron de plantaciones para exportación en los tres clúster, teniendo como variedades a *M. indica* var. *HADEN* y *M. indica* var. *KHEN*; cuyo porte de copa fue de tipo achaparrado con DAP no mayor de 25cm.

Pastura

Para los Pastizales (P), en el contexto del estudio, vendría a concebirse como el uso de suelo dedicado a la producción de hierba o pasto de forma permanente natural, no se evaluó pastos cultivados, porque no es una actividad predominante en la zona por un periodo de cinco años o más, y utilizadas principalmente para aprovechamiento ganadero, con las mayores asociaciones vegetales entre especies.

Cultivo de maíz

Cultivos (C) en este caso esta representado por el cultivo comercial de maíz *zea mays* para el mercado y se caracterizan por que su ciclo de vida es menor o igual a un año y los productos que generan son comercializados. Hay cultivos que son permanentes pero su producción se da cada año a la que se le conoce como temporada de producción, en caso del estudio, la especie de referencia viene a ser las parcelas con cultivo de *Zea mays* (Maíz).



Figura 114. Cultivo de maíz.



Presentación de resultados

1. Biomasa total a nivel de los sistemas de uso de la tierra

1.1. Biomasa total en el SUT Bosque Primario Remanente

1.1.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT Bosque Primario Remanente BPR (Cuadro 80), en las diferentes evaluaciones se

evidencia una concentración de biomasa que va de 71,8 t/ha a 100,4 t/ha de biomasa aérea y el promedio es 85,9 t/ha. A nivel de depósitos el arbóreo aporta el 64,4% de la biomasa total seguido de depósito arbustivo herbáceo con 23% y finalmente el depósito hojarasca y madera muerta con 12,6% de la biomasa total del SUT.

Cuadro 80. Biomasa aérea total del Bosque Primario Remanente

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Pitipo	BPR	65,8	21,5	13,1	100,4
Salas	BPR	52,1	20,8	12,7	85,6
Olmos	BPR	48,1	16,9	6,8	71,8
Promedio		55,3	19,7	10,9	85,9

1.1.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 81 y Figura 115, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades. Se puede observar que más del 50% de las raíces

se encuentran en el horizonte de 0 a 40cm, donde se evaluó hasta 100cm de profundidad.

Cuadro 81. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces t/ha
0-10	0,39
10-20	0,36
20-30	0,30
30-40	0,27
40-50	0,22
50-60	0,20
60-70	0,18
70-80	0,14
80-90	0,11
90-100	0,11
TOT	2,28

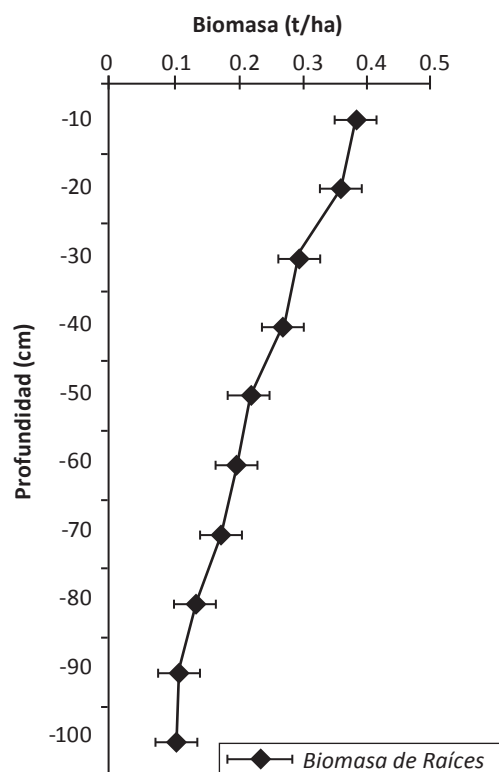


Figura 115. Biomasa de raíces en el SUT Bosque Primario Remanente.



1.2. Biomasa total en el SUT Plantación Frutal

1.2.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT Plantación Frutal (Cuadro 82), en el cual se evaluó el mango, se evidencia una concentración de biomasa en un rango de 27,1 t/ha a 29,9 t/ha de biomasa aérea y el promedio es de 28,6 t/ha. A nivel de depósitos

es evidente que el arbóreo aporta el 57,3% de la biomasa total, mientras que el depósito arbustivo herbáceo el 42,6% de la biomasa total, finalmente el depósito hojarasca y madera muerta aporta el 0,1% de la biomasa total del SUT.

Cuadro 82. Biomasa aérea total de la Plantación Frutal (PF)

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Pitipo	P. Frutal	16,8	12,0	0,13	28,9
Salas	P. Frutal	15,2	14,6	0,05	29,9
Olmos	P. Frutal	17,1	9,9	0,1	27,1
Promedio		16,4	12,2	0,1	28,6

1.2.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 83 y Figura 116, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades, se puede observar que más del 50% de las

raíces se encuentran en el horizonte 0 a 70cm, inclusive la distribución de estas tiene una distribución diferente a otros SUT.

Cuadro 83. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	0,10
10-20	0,09
20-30	0,08
30-40	0,08
40-50	0,07
50-60	0,06
60-70	0,04
70-80	0,03
80-90	0,01
90-100	0,00
TOT	0,56

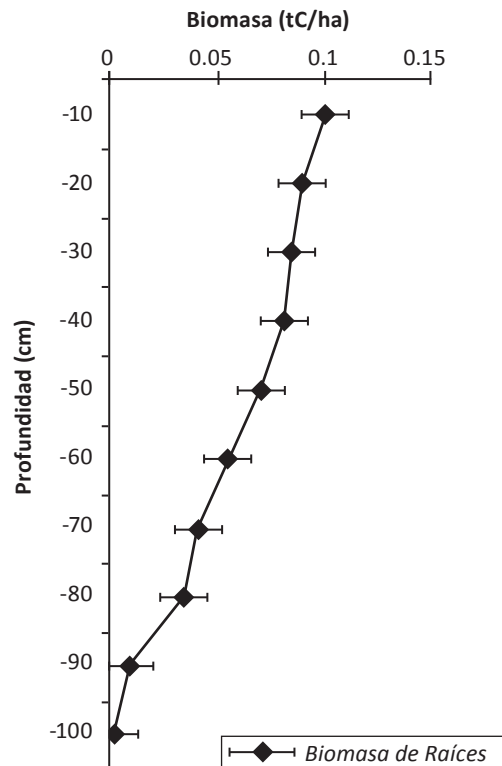


Figura 116. Biomasa de raíces en el SUT Plantación Frutal.



1.3. Biomasa total en el SUT Pastizal

1.3.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT Pastizal (Cuadro 84), se evidencia un rango de producción de biomasa aérea de 9,5 t/ha a 24,3 t/ha y el promedio es de 14,6 t/ha. A nivel de depósitos, el depósito arbustivo-herbáceo aporta el 83,5% de la

biomasa total, mientras que el depósito arbóreo el 11% y finalmente el depósito hojarasca y madera muerta el 5,5% de la biomasa total del SUT.

Cuadro 84. Biomasa aérea total del SUT Pastizal

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Pitipo	PZ	0,0	9,5	0,02	9,5
Salas	PZ	0,0	9,9	0,04	9,9
Olmos	PZ	4,9	17,2	2,2	24,3
Promedio		1,6	12,2	0,8	14,6

1.3.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 85 y Figura 117, se muestra la biomasa de raíces a diferentes profundidades. Se puede observar que más del 50% de las raíces

se encuentran en el horizonte 0 a 50cm, se ha evaluado hasta una profundidad de 100cm.

Cuadro 85. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	0,13
10-20	0,11
20-30	0,09
30-40	0,08
40-50	0,07
50-60	0,05
60-70	0,05
70-80	0,05
80-90	0,04
90-100	0,01
TOT	0,68

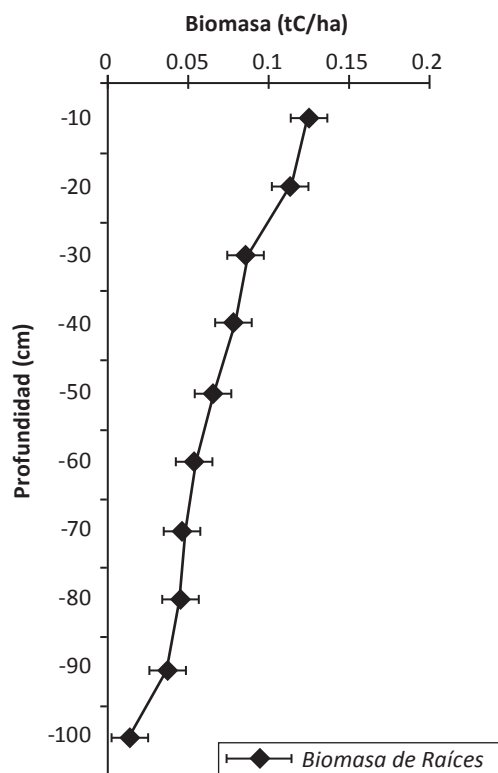


Figura 117. Biomasa en las raíces en el SUT Pastizal.



1.4. Biomasa total en el SUT Cultivos

1.4.1. Biomasa sobre el suelo

En el SUT Cultivos (Cuadro 86). En el cual se evaluó el cultivo de maíz, se evidencia un rango de biomasa aérea que va desde 10,6 t/ha a 13,3 t/ha y el promedio es de 12,2 t/ha. A nivel de depósito el arbustivo-herbáceo

aporta el 89,3% de la biomasa total, mientras que el depósito herbáceo el 10% y finalmente el depósito hojarasca y madera muerta el 0,7% de la biomasa total del SUT.

Cuadro 86. Biomasa aérea total del SUT Cultivos

Sector	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Pitipo	Cultivos	0,0	13,2	0,09	13,3
Salas	Cultivos	3,6	9,1	0,07	12,8
Olmos	Cultivos	0,0	10,5	0,08	10,6
Promedio		1,2	10,9	0,1	12,2

1.4.2. Biomasa debajo del suelo

Biomasa de raíces finas

En el Cuadro 87 y la Figura 118, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades. Se puede observar que más del 50% de las raíces se encuentran en el horizonte 0 a 40cm

de profundidad, así mismo cabe mencionar que hasta el horizonte 0 a 70cm se alberga el 85% de las raíces finas en los SUT Cultivo.

Cuadro 87. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	0,20
10-20	0,17
20-30	0,15
30-40	0,15
40-50	0,14
50-60	0,11
60-70	0,10
70-80	0,08
80-90	0,05
90-100	0,05
TOT	1,2

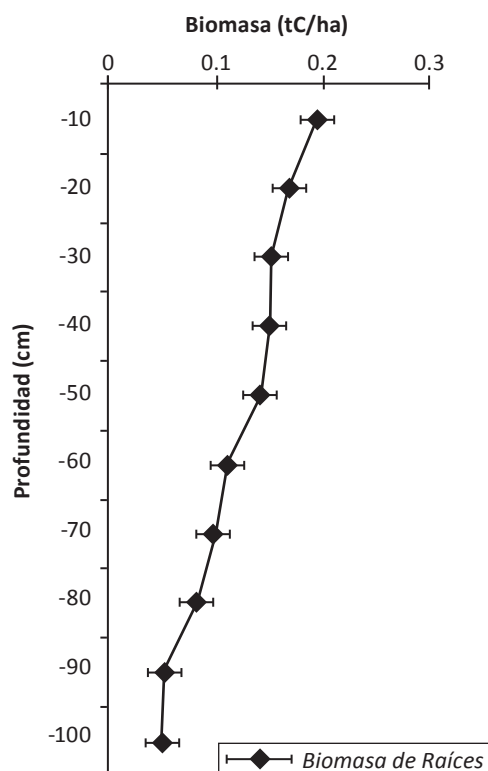


Figura 118. Biomasa de raíces en el SUT Cultivo.



2. Almacenamiento de Carbono en los SUT

2.1. Carbono en el SUT Bosque Primario

Remanente

2.1.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de C obtenido para la biomasa aérea del Bosque Primario Remanente de 44,7 tC/ha, reporta una variación con una mínima de 40,9 tC/ha y máxima de 50,3 tC/ha (Cuadro 88). El aporte del depósito arbóreo

representa el 61,9% del C total mientras que el depósito arbustivo-herbáceo aporta el 22,1% del C total, finalmente el depósito hojarasca y madera muerta aporta el 16% del C total almacenado en el SUT.

Cuadro 88. Carbono aéreo total del SUT Bosque Primario Remanente

Sector	SUT	Depósito (tC/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Pitipo	BPR	32,9	10,8	6,6	50,3
Salas	BPR	26,1	10,4	6,4	42,9
Olmos	BPR	24,1	8,5	3,4	40,9
Promedio		27,7	9,9	5,5	44,7

2.1.2. Carbono en las raíces finas

En el Cuadro 89 y Figura 119 se muestra el C almacenado a diferentes profundidades, se observa

que más del 50% de las raíces se encuentran en el horizonte 0 a 40cm de profundidad.

Cuadro 89. Carbono en las raíces finas del SUT Bosque Primario Remanente a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	0,20
10-20	0,18
20-30	0,15
30-40	0,14
40-50	0,11
50-60	0,10
60-70	0,09
70-80	0,07
80-90	0,06
90-100	0,06
TOT	1,16

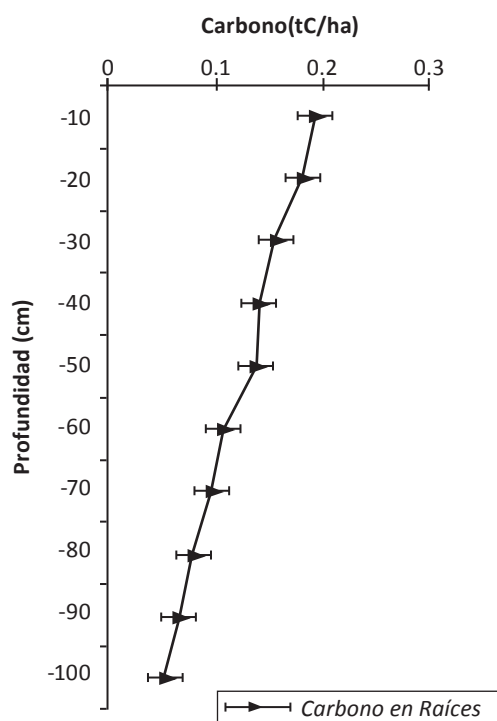


Figura 119. Carbono en las raíces en el SUT Bosque Primario Remanente.



2.1.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 90 y Figura 120 se muestra el C total almacenado en el suelo de 0 a 100cm de profundidad, notándose que en los primeros

20cm se encuentra más del 50% del C total almacenado, además en el horizonte 75-100cm no se reporta C almacenado.

Cuadro 90. Carbono en el SUT Bosque primario remanente a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en el suelo tC/ha
0 - 10	3,02
11 - 30	2,04
30 - 50	1,34
50 - 75	0,49
75 - 100	0,00
TOT	6,89

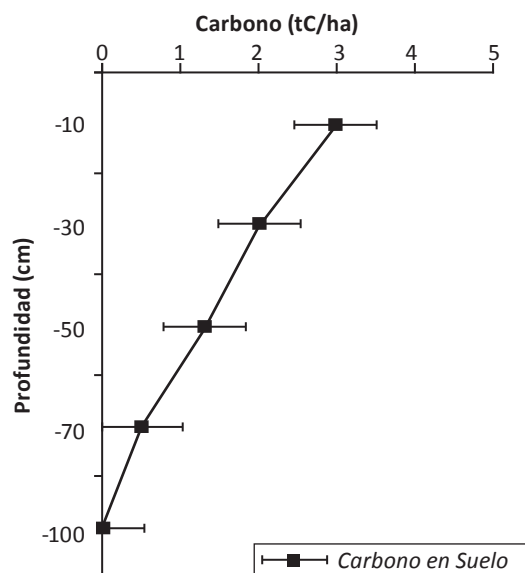


Figura 120. Carbono en el suelo del SUT Bosque Primario Remanente.

2.2. Carbono en el SUT Plantación Frutal

2.2.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de C obtenido para la biomasa aérea del SUT Plantación Frutal es de 13,8 tC/ha, reporta una variación con una mínima de 12,1 tC/ha y máxima de 14,9 tC/ha (Cuadro 91). El aporte del depósito arbóreo

representa el 55,4% del C total, mientras que el depósito arbustivo-herbáceo el 43,9% del C total y finalmente el depósito hojarasca y madera muerta el 0,7% del C total almacenado en el SUT.

Cuadro 91. Carbono aéreo total del SUT Plantación Frutal

Sector	SUT	Depósito (tC/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Pitipo	P. Frutal	8,4	6,0	0,1	14,4
Salas	P. Frutal	7,6	7,3	0,1	14,9
Olmos	P. Frutal	7,1	5,0	0,1	12,2
Promedio		7,7	6,1	0,1	13,9



2.2.2. Carbono en las raíces finas

En el Cuadro 92 y Figura 121 se muestra el C almacenado en las raíces finas a diferentes profundidades, se observa escasa presencia de

estas e incluso a partir de los 80cm desaparece del SUT. Se observa que más del 50% de las raíces se encuentran en el horizonte 0-40cm de profundidad.

Cuadro 92. Carbono en raíces finas del SUT Plantación Frutal a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	0,05
10-20	0,04
20-30	0,04
30-40	0,04
40-50	0,04
50-60	0,03
60-70	0,02
70-80	0,02
80-90	0,00
90-100	0,00
TOT	0,28

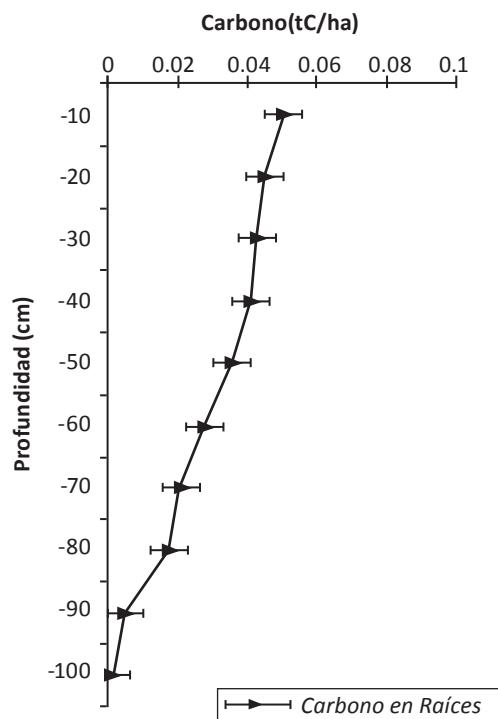


Figura 121. Biomasa de raíces en el SUT Plantación Frutal.

2.2.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 93 y Figura 122, se muestra el C total almacenado de 0 a 100cm de profundidad,

notándose que en los primeros 30cm se acumula más del 50% del C total almacenado en el SUT.

Cuadro 93. Carbono en el suelo del SUT Plantación Frutal a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en el suelo tC/ha
0 -10	1,87
11 - 30	2,44
30 - 50	0,99
50 - 75	0,75
75 - 100	0,75
TOT	6,80

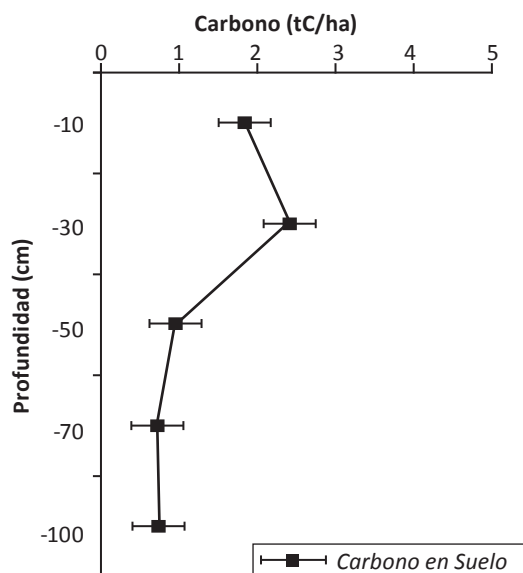


Figura 122. Carbono en el suelo del SUT Plantación Frutal.



2.3. Carbono en el SUT Pastizal

2.3.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de carbono total almacenado para el SUT Pastizal es 7,4 tC/ha, con una mínima de 4,9 tC/ha y máxima de 12,2 tC/ha. (Cuadro 94). A nivel de depósitos el arbustivo-

herbáceo aporta el 82,4% del C total, mientras que el depósito arbóreo el 10,8% y finalmente el depósito hojarasca y madera muerta el 6,8% de C total del SUT.

Cuadro 94. Carbono aéreo total del SUT Pastizal

Sector	SUT	Depósito (tC/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Pitipo	Pz	0,0	4,8	0,1	4,9
Salas	Pz	0,0	5,0	0,1	5,1
Olmos	Pz	2,5	8,6	1,1	12,2
Promedio		0,8	6,1	0,4	7,4

2.3.2. Carbono en las raíces finas

En el Cuadro 95 y la Figura 123 se muestra el Carbono almacenado a diferentes profundidades, se puede observar que más

del 50% del C almacenado en las raíces finas se encuentra en el horizonte 0 a 30cm de profundidad.

Cuadro 95. Carbono en raíces finas del SUT Pastizal a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	0,06
10-20	0,06
20-30	0,04
30-40	0,04
40-50	0,03
50-60	0,03
60-70	0,02
70-80	0,02
80-90	0,02
90-100	0,01
TOT	0,34

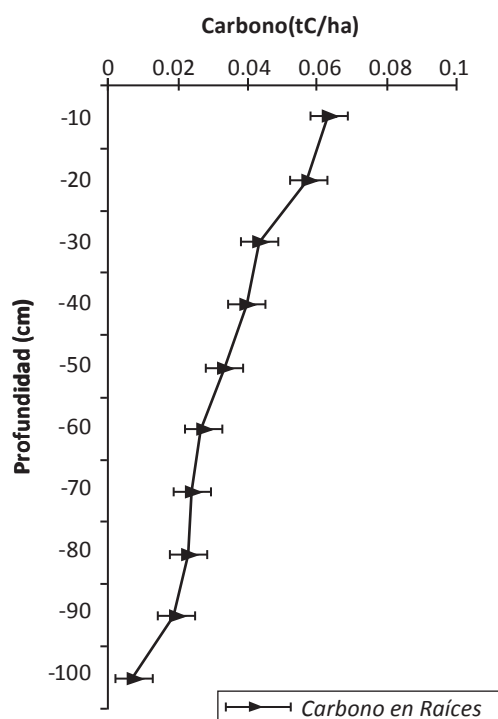


Figura 123. Carbono en las raíces en el SUT Pastizal.



2.3.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 96 y Figura 124 se muestra el C total almacenado en el suelo de 0 a 100cm de profundidad, notándose que en los primeros

40cm se acumula más del 50% del total de C almacenado en el SUT. Cabe mencionar que en el horizonte 30 a 50cm se acumula la mayor cantidad de carbono en un 49,1%.

Cuadro 96. Carbono en el suelo del SUT Pastizal a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en el suelo tC/ha
0 -10	1,77
11 - 30	2,51
30 – 50	4,67
50 – 75	0,28
75 - 100	0,28
TOT	9,51

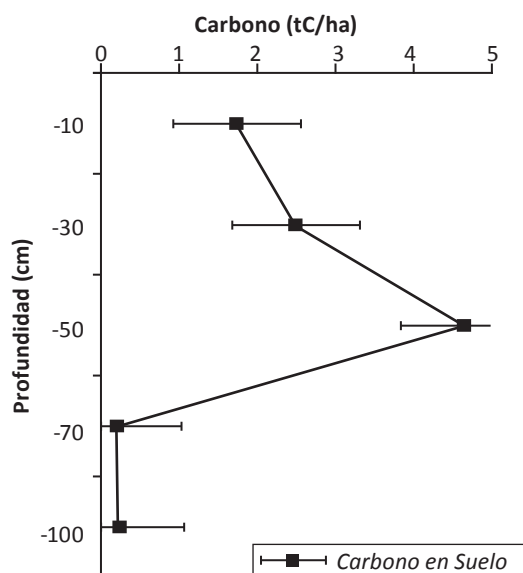


Figura 124. Carbono en el suelo del SUT Pastizal.

2.4. Carbono en el SUT Cultivo

2.4.1. Carbono sobre el suelo

La cantidad media de carbono obtenido para el SUT Cultivo Anual es 6,2 tC/ha, con una mínima de 5,2 tC/ha y máxima de 6,7 tC/ha (Cuadro 97). El aporte del depósito arbustivo-herbáceo

representa el 88,7% del C total, mientras que el depósito arbóreo aporta el 9,2% del C total y finalmente el depósito hojarasca y madera muerta el 1,6% del C total acumulado en el SUT.

Cuadro 97. Carbono aéreo total del Cultivo

Sector	SUT	Depósito (tC/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Arbóreo	Arbustivo herbáceo	Hojarasca y madera muerta	
Pitipo	Cultivos	0,0	6,7	0,1	6,8
Salas	Cultivos	1,8	4,6	0,1	6,5
Olmos	Cultivos	0,0	5,2	0,1	5,3
Promedio		0,6	5,5	0,1	6,2



2.4.2. Carbono en las raíces finas

En el Cuadro 98 y Figura 125, se muestran el carbono almacenado en diferentes profundidades del depósito raíces finas en el SUT

cultivo, donde se puede observar que más del 50% del carbono lo contienen las profundidades de 0 a 40cm.

Cuadro 98. Carbono en raíces finas del SUT cultivos a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Biomasa total en las raíces tC/ha
0-10	0,10
10-20	0,08
20-30	0,08
30-40	0,08
40-50	0,07
50-60	0,03
60-70	0,02
70-80	0,02
80-90	0,02
90-100	0,01
TOT	0,51

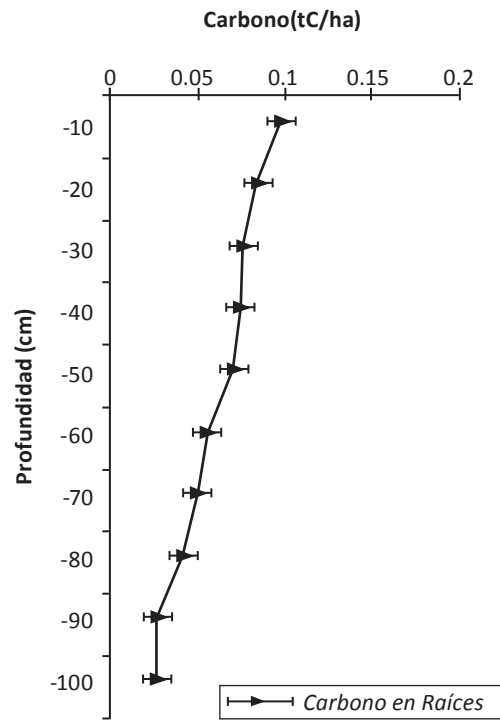


Figura 125. Carbono en las raíces en el SUT Cultivo.

2.4.3. Carbono en el suelo

En el Cuadro 99 y Figura 126, se observa que la mayor cantidad de carbono en el suelo lo

contiene la profundidad de 30-50cm en un 37,2% del total de carbono en el SUT Cultivo.

Cuadro 99. Carbono en el suelo del SUT Cultivo anual a diferentes profundidades (tC/ha)

Profundidad (cm)	Carbono total en el suelo tC/ha
0 -10	1,30
11 - 30	1,78
30 - 50	2,05
50 - 75	0,19
75 - 100	0,19
TOT	5,51

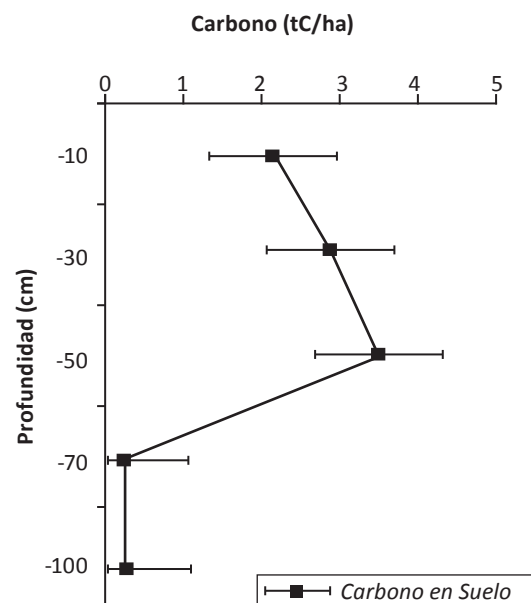


Figura 126. Carbono en el suelo del SUT Cultivo.



En el Cuadro 100, se muestra el total de carbono almacenado en los depósitos de carbono de los cuatro sistemas de uso de la tierra evaluados.

Cuadro 100. Carbono Total almacenado en el Bosque Costero

Sistema de uso de la tierra	Carbono Almacenado a Nivel de Depósitos (tC/ha)					Stock de C total (tC/ha)
	Arbórea	Arbustiva y herbácea	Hojarasca y madera muerta	Raíces	Suelo	
Bosque Primario	27,7	9,9	5,5	1,2	6,9	51,2
Plantación Frutal	7,7	6,1	0,1	0,3	6,8	21,0
Pastizal	0,8	6,1	0,4	0,3	9,5	17,1
Cultivo anual	0,6	5,5	0,1	0,3	5,5	12,0

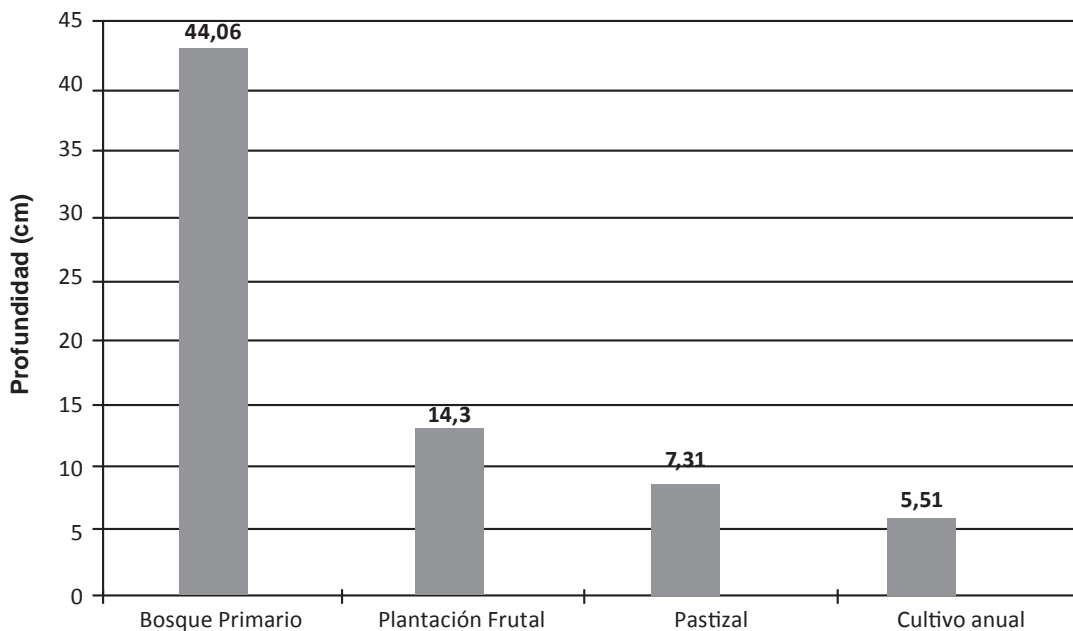


Figura 127. Carbono almacenado en el SUT suelo a diferentes profundidades.

En la Figura 127, se puede observar que el Bosque Primario almacena la mayor cantidad de carbono, seguido de las plantaciones frutales,

los pastizales y en menor cantidad almacenada los cultivos anuales.



Stock de Carbono total por SUT (tC/ha)

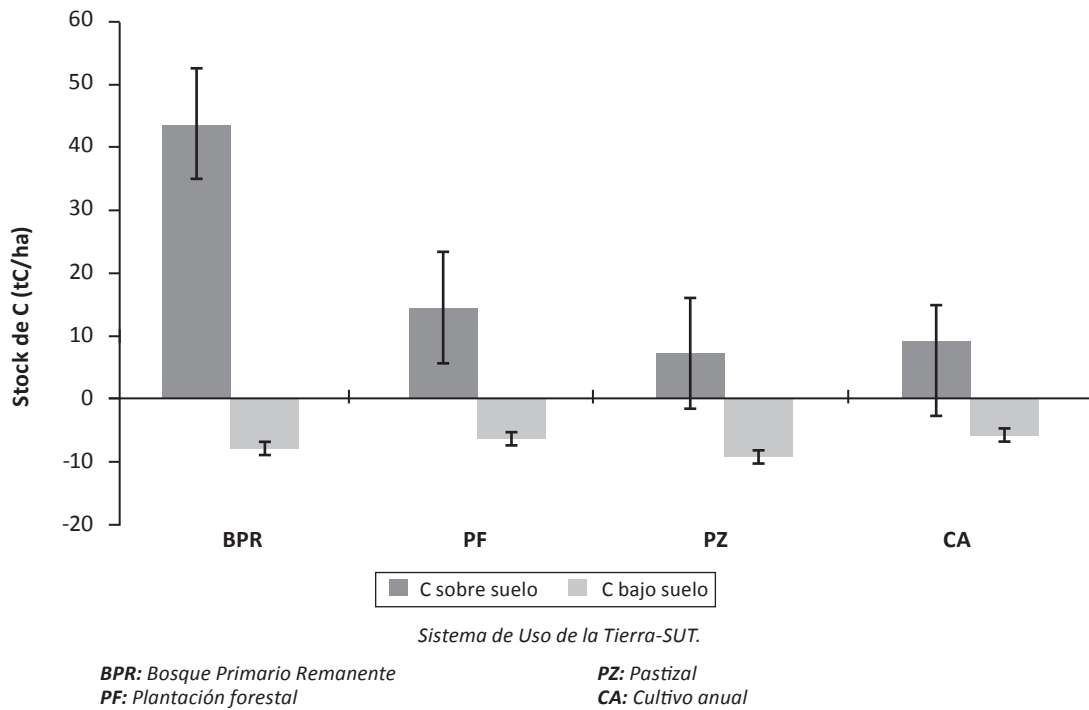


Figura 128. Comparación del Almacenamiento sobre y bajo suelo.

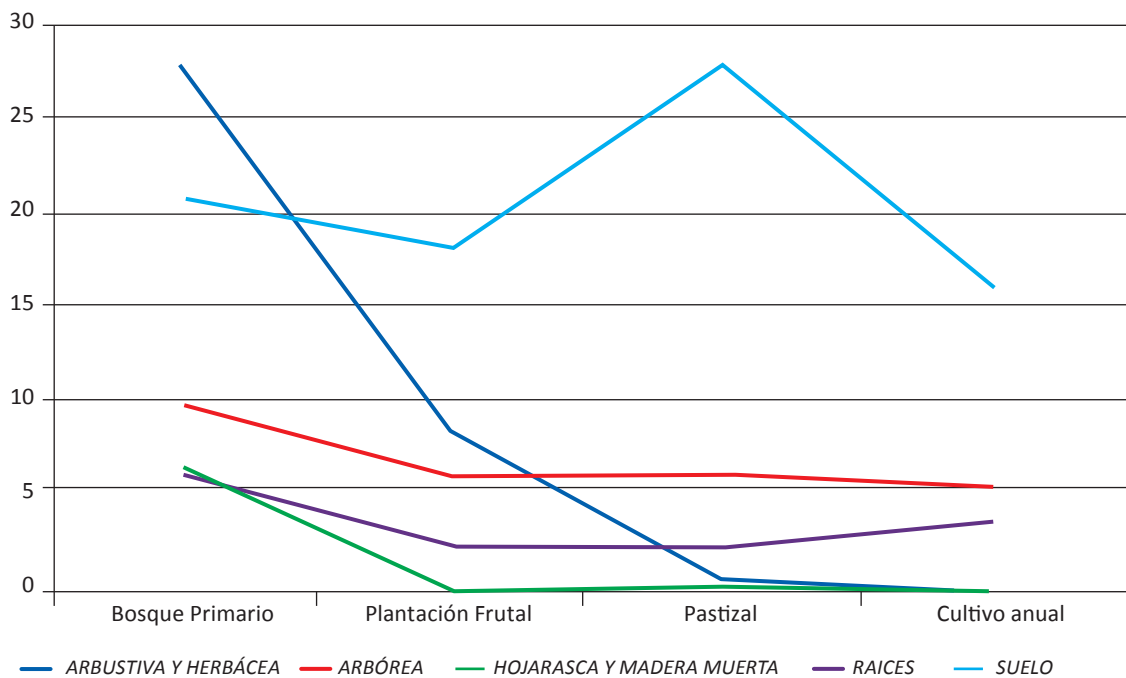


Figura 129. Patrón de cambios del carbono almacenado en el Bosque costero.

En las Figuras 128 y 129, se muestra que el carbono bajo el suelo tiene diferencias no significativas, mientras que para el carbono

sobre el suelo las diferencias en cuanto a almacenamiento son muy significativas, siendo el BPR el que más almacena.

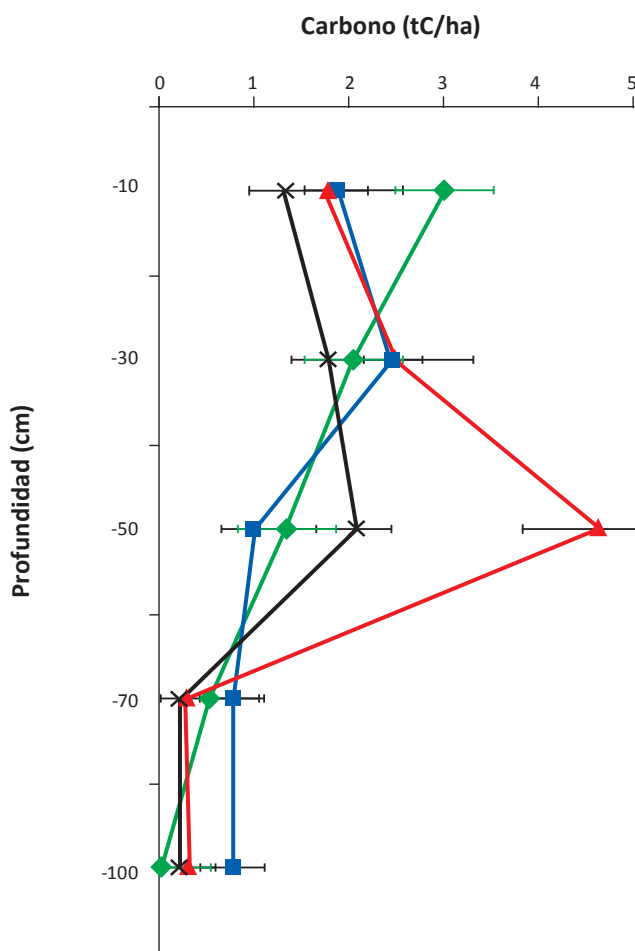


Figura 130. Patrón de cambios del Carbono en el Depósito Suelo.

Analizando el patrón de cambios del carbono en el depósito suelo, podemos denotar claramente que los pastizales almacenan la mayor cantidad en los 50cm de profundidad, mientras que los

bosques primarios remanentes en los primeros 10cm de profundidad; las plantaciones frutales lo contienen en los 30cm de profundidad y los cultivos en los 50cm de profundidad.



Discusiones

Con respecto al Carbono almacenado

La capacidad de almacenamiento en la zona de estudio fue de 97,2 tC/ha, que supera las proyecciones de almacenamiento de C en Zonas áridas o desérticas a las que hace referencia (Lal *et al.*, 1998; citado por Robert, 2002) para edades entre 7 a 12 años. De los resultados, el mejor SUT para almacenar C a nivel de la biomasa aérea es el BPR con 44,1 tC/ha, en el cual predomina la especie *P. pallida*, a diferencia de los otros SUTs, como; PF con 14,3 tC/ha, PZ con 7,3 tC/ha y para CA con 5,5 tC/ha. Esta misma tendencia se observa en las investigaciones de Cuellar (2014) y Zanabria (2013), para bosques amazónicos y bosques andinos respectivamente. Demostrando así que las variaciones en los sistemas de uso de la tierra no son favorables para disminuir la concentración de CO₂ en la atmósfera ya que un SUT como el cultivo tiene un bajo nivel de almacenamiento de C.

En el caso del C almacenado en la biomasa de raíces del BPR es mayor respecto a los otros SUTs, siendo 6,3 tC/ha, la PF es de 2,5 tC/ha, los PZ de 2,4 tC/ha y los CA de 3,7 tC/ha. Como indica Zanabria (2013), esto se debe a factores como: variabilidad natural y la variabilidad del suelo en que se desarrollan los diferentes sistemas de uso de tierra y otros factores como la densidad de los árboles y especies de flora presenten que intervienen directamente en la biomasa de raíces. Risio *et al.* (2013) en su estudio modelo de estimación de biomasa para Caldén (*Prosopis caldenia*, Bukart) en la pampa Argentina determinó coeficientes de correlación para raíces de 0,65.

Con respecto al C en el suelo, el almacenamiento es mayor en PZ con 30,1 tC/ha, seguido del BPR con 26,9 tC/ha, luego PF con 20,6 tC/ha y los valores más bajos obtenidos corresponden a CA con 19,6 tC/ha. Otro factor importante a considerar para el almacenamiento de C bajo suelo es la zona de vida evaluada, pues el objeto del estudio son los Bosques Secos

tropicales semi densos donde la especie arbórea dominante es Algarrobo y cuya morfología cumple un papel importante en el secuestro de C. Presenta además de su raíz pivotante profunda, las raíces superficiales que se extienden a unos 5cm de la superficie, a mayor biomasa radicular mayor fijación de C en el suelo entre los primeros 20cm de profundidad. También pueden responder a que el suelo es fijado por procesos biogeoquímicos y debe evaluarse biológicamente, y otro factor importante es la edad, ya que los sistemas forestales tienden a incrementarse con la edad y los SUT evaluados no eran mayores de 12 años. El almacenamiento de C no es uniforme, sino que está en relación directa con el crecimiento de la especie donde a mayor edad la cantidad de C capturado es depositado en el suelo. (Lapeyre, 2004; citado por Zanabria, 2013), Acosta *et al.* (2001) indica que casi el 75% del C de los ecosistemas se encuentra en el suelo; que en efecto, según Gayoso (2000), en los bosques nativos de Chile se encontró que el C varía entre 34,9% y 48,2%, según el componente; y en rodales de *P. radiata*, de 23 años, las raíces corresponden al 25,4% de la biomasa aérea. Por su parte, De Petre *et al.* (2008), en su estudio del bosque nativo de El Espinal-Argentina encontró 103,1 tC/ha para *P. nigra* y 26,5 tC/ha para *P. affinis*: en comparación con los resultados de Pece *et al.* (2003), 9,2 tC/ha/año al evaluar Algarrobo del Parque Chaqueño considerando 8 años de edad de la especie. Ibrahim *et al.* (2007) encontró en Colombia, valores de entre 52,3 y 81,3 tC/ha para los bosques riparios y para las pasturas mejoradas sin árboles, respectivamente; en Nicaragua, las pasturas degradadas presentaron menor cantidad 63,1 tC/ha y los bosques secundarios presentaron 139,2 tC/ha; y en Costa Rica las pasturas degradadas presentaron 21,7 tC/ha. Además, en el mismo estudio encontró un rango entre 95,1 y 139,5 tC/ha para las plantaciones forestales y las pasturas mejoradas sin árboles, respectivamente.



La presencia de suelos con textura franco-arenoso, pH alcalino (presencia de carbonatos) en estas profundidades sumado al pasado de Fenómenos del Niño ocurridos en la región posibilitan el lavado de MO, mineralización acelerada o la lixiviación de MO a mayores profundidades, y la no presencia de C, algo que corresponde a pruebas de fertilidad efectuados en las mismas zonas del estudio, sin presencia de MO después de los 40cm (SERNANP, 2011). Según Espinoza (2005), es usual que la vegetación de sabana mayor a 20 años, almacene la mayor cantidad de C en las raíces, el cual es posteriormente convertido en C orgánico en el suelo. En caso de los Bosques Secos Semi Densos estudiados, la relación biomasa radicular-suelo es diferente pese a compartir características de ecosistemas de sabana, probablemente por la edad de uso (10 años promedio) en que la tasa de recambio no ha sido efectiva, es decir la biomasa total aún no ha sido convertida en materia orgánica del suelo por completo. Esta tasa de degradación de la materia orgánica en los suelos varía gradualmente en cada tipo de suelo. Según la localización del ecosistema Bosques Secos, Brack y Mendiola (2010), refieren que los suelos son de tipo árido, variables, con predominancia de los arenosos, salinos, francos y arcillosos. En las planicies predominan los suelos arenosos y salinos; en los valles, los aluviales; y en las vertientes y cadenas de cerros, los pedregosos. Los suelos de las planicies tienen, por lo general, un alto contenido de sales, que afloran a la superficie con la evaporación de las aguas. Para Lambayeque, según el Mapa de suelos (INRENA, 2009) la distribución de bosques secos corresponde a las asociaciones con dominio de Arenosol háptico (ARh) – Solonchak háptico (SCh) y Cambisol eutrítico (CMe)-Vertisol eutrítico (VRe); mientras a nivel mundial la Soil Taxonomy global map (USDA) hace referencia a suelos Inceptisoles, Vertisoles y Entisoles. (Dalal, Carter y Sagggar, 1999; citados por Espinoza, 2005) en estudios mundiales, indican que en Ultisoles y Alfisoles, la tasa de recambio de la materia orgánica es más rápida que la observada en

Inceptisoles y Vertisoles. En los suelos tropicales la tasa de recambio es más rápida que en los suelos de zonas templadas, estas diferencias se deben al contenido y el área superficial de las arcillas, así como a las condiciones climáticas (efecto neto de precipitación y potencial de evapotranspiración) variables intervinientes que no están consideradas en los protocolos ni criterios de inclusión del estudio, pues los clústeres seleccionados muestran heterogeneidad climática, distante de la homogeneidad botánica seguida para su elección. Para el estudio esto justifica la nulidad de C de las comparaciones en medición de Salinidad y pH, en un diagnóstico relacionado a lo indicado por Brack y Mendiola, 2010.

Por su parte, la no presencia de C en los CA entre los 40 a 100cm de profundidad refiere a malas prácticas de labranza. Comparaciones de labranza conservacionista con labranza convencional han proyectado de 20 a 80% más de C en los suelos, después de 40 años de labranza conservacionista. En diversos estudios de campo, otros investigadores han reportado incrementos de aproximadamente 30% de C en el suelo, debido a la no-labranza comparada a la labranza convencional (Kern y Johnson, 1993; citado por Espinoza, 2005). En diversos estudios se ha demostrado que la disminución de los macro agregados (>2.000 μ m) del suelo y el incremento de las fracciones pequeñas (<53 μ m) en los sistemas de cultivo han puesto de manifiesto las fluctuaciones de las tasas de recambios de la materia orgánica en los sistemas de labranza de entre 3 a 5 años y de 2 a 4 años para la labranza mínima y convencional (Espinoza, 2000; Hernández y López, 2002). De acuerdo a las evaluaciones previas con los dueños de parcelas de cultivo anual de *Z. mays*, evaluados en Salas, Pitipo y Olmos, con edades entre 4 a 6 meses, instalados en suelos rotativos de 2-6 años entre leguminosas y pastos. Lo que da razón al postulado de los efectos de pérdida de capacidad de secuestro por la labranza convencional. Por otra parte, Six *et al.* (2000) propusieron un modelo del ciclo



de formación y destrucción de los agregados del suelo. Los procesos representados en el modelo son el resultado de una interrelación entre macro agregados, el ciclo de la MOS y factores de control como la perturbación por labranza. El ciclo comienza cuando se forma un agregado, luego se hace inestable y eventualmente es destruido. La perturbación ocurrida por la labranza (u otra forma de intrusión androgénica), acorta el “ciclo de vida” de un macro agregado disminuyendo la formación de nuevos micro agregados y la captura de C dentro de ellos.

En general, muchos autores desde Pieri (1989); Dixon (1995); Lal y kimble (1998); Robert (2002); Espinoza (2005) y Hernández (2013) han considerado a los suelos como un sumidero de C, debido a la capacidad que tienen para almacenar este elemento en forma orgánica (1500 Pg a 1m de profundidad). Sin embargo, el contenido de C y la capacidad para fijar CO₂ en los suelos áridos son muy bajos, pero gracias a las grandes extensiones que ocupan estos suelos, se puede llegar a tener una gran contribución en la captura de C y al mismo tiempo evitar la desertificación. Lo anterior, explica porque los Bosques Secos no siguen la conclusión de que los ecosistemas forestales contienen más C por unidad de superficie que cualquier otro tipo de SUT, pues aunque se cumple para los Bosques Andinos y Amazónicos evaluados con la misma metodología, en los Bosques Secos de Lambayeque se encontró valores menores en almacenamiento de carbono en suelo respecto de sistema Pastizal en casi 7 tC/ha de diferencia. Por lo tanto, es necesario enfatizar que la dinámica del carbono en los suelos consta de los aportes de material vegetal muerto, su pérdida por mineralización y su acumulación por humificación; este último lento en bosques secos por la mineralización acelerada, donde los principales factores como la vegetación, el clima y las propiedades del mismo suelo influyen sobre la evolución de la materia orgánica almacenada (Lal *et al.*, 1998 citado por Robert, 2002).

SUT Bosque primario remanente

Se reportó un total de 44,1 tC/ha almacenados, si comparamos con otros ecosistemas, Cuellar (2014), determinó que en el BPR amazónico se almacena 156,1 tC/ha, con una clara diferencia entre los valores de bosques secos y bosques amazónicos, esto se debe a la densidad de árboles en los dos escenarios ya que el primero es un bosque ralo (Risio *et al.*, 2013) y el segundo es un bosque con alta densidad (MINAM, 2011). Por otra parte Zanabria (2013), en la evaluación del bosque andino reporta 54,4 tC/ha, para bosques con predominancia del *Alnus sp.*, y 95,7 tC/ha para bosques con predominancia de *Polylepis sp.*, comparando estos valores con el bosque seco se demuestra que los bosques andinos tienen mayor capacidad de almacenamiento de carbono en relación al bosque seco. Finalmente, los bosques amazónicos son los ecosistemas con mayor capacidad para almacenar carbono, seguidos por los bosques andinos y finalmente los bosques secos.

Como indica Hernández y López (2002), en los bosques, las actividades que alteran la dinámica del carbono en los suelos son: la deforestación, la agricultura de roza, tumba y quema, la agroforestería y la forestación. De aquí que, es importante tomar en cuenta, que aun cuando se elimine la biomasa superior de un bosque con la deforestación, la materia orgánica que queda sobre y dentro del suelo (entre 50 y 60%), puede conservarse si se adoptan medidas conservacionistas de manejo apropiados para la zona. En la investigación los aportes de almacenamiento de C en suelo y raíces evidencian relaciones directas en la tendencia general del patrón comparado del Bosque primario. En la biomasa radicular del Bosque primario remanente compuesto con predominancia de *P. pallida*, aporta 2,3 t/ha almacenados en el depósito de raíces finas hasta 1m de profundidad. Por su parte el carbono almacenado en el suelo es 6,9 tC/ha tomado a diferentes profundidades de 0 a 100cm con mediciones en 5 capas u horizontes determinados por las diferencias de color y textura de la calicata central que



corresponden a las muestras de los anillos de densidad. En total el BPR almacena 9,14 tC/ha bajo suelo a diferentes profundidades hasta 1m de profundidad. Para el caso de los últimos 25cm se evidenció que no existe almacenamiento de C orgánico en el depósito suelo, lo que está relacionado al tipo de suelo arenoso, cuya textura evidencia lavados ocasionados por las variaciones de fenómenos como El Niño que en Olmos se evidencia por la presencia de lluvias en tiempo de sequía (ENFEN, 2014), y las BPR ribereños o de lecho de río correspondientes a Pitipo. Para todos los casos, los ajustes de los criterios de selección hacen efecto al rango de edad (>10 <12 años) y cobertura vegetal con asociaciones arbustivas de *Prosopis spp*, Vichayo *Capparis ovalifolia*, Overo *Cordia lutea* y Faique *Acacia macracantha*, sin asociación de pasturas propias de Bosques Ralos, condicionando menor biomasa de raíces o menor %C en suelo. Al respecto, Lino (2009), encontró en Bolaina, carbono almacenado en el suelo de 32,1 tC/ha (47,4%) de los cuales las raíces comprenden el 11,7%. Por su parte Fernández (2012) encontró en Ucayali un aporte captura de 17,7 tCO₂ en las raíces finas. Flores (2009), en su estudio de captura de C en Algarrobo (*Prosopis angustifolia*) de bosque nativo boliviano determinó un aporte de C al suelo de 0,11 tC/ha de C promedio. Este último siendo comparable a los resultados obtenidos del Cuadro 90, donde el total de captura en suelo que obtuvimos fue de 6,9 t/ha que corresponde al 75%. De hecho este importante aporte en los Bosques Secos concuerda con Iquise (2007), quien sobre los bosques amazónicos de Huánuco, concluyó que para sistemas menores de 10 años la mayor contribución de C corresponde al carbono edáfico.

SUT Plantación Frutal

El valor total obtenido fue de 14,3 tC/ha almacenado. Si comparamos con la plantación frutal de cacao; 47,2 tC/ha almacenado, esta diferencia puede ser explicada debido a que en el frutal de Cacao hay 625 plantas/ha y en el frutal de mango hay 170 plantas/ha, relacionando de

esta manera el número de especies por hectárea lo cual puede influir considerablemente en la cantidad de almacenamiento de C (Lapeyre *et al.*, 2004, mencionado por Salazar, 2012). Por otra parte Cuellar (2014), determinó que hay 21,2 tC/ha para el SUT Purma Baja, demostrando que a la misma edad, la Purma tiene mayor capacidad de almacenamiento de carbono. Las raíces finas de la *M. indica* en forma de biomasa radicular aporta 0,6 t/ha distribuidas a diferentes profundidades hasta 1m de profundidad, lectura que corresponde directamente a la cantidad de C almacenado en las raíces finas con un total de 0,3 tC/ha. De otra parte el cambio de depósito de C presenta aproximaciones que no corresponden directamente con las raíces, en el caso del suelo, su mayor aporte de almacenamiento se presenta entre 10-30cm de profundidad (2,5 tC/ha), que bien puede corresponder a las proyecciones de captura con estimaciones mayores en los primeros 20cm de profundidad pero no necesariamente responde a una mayor presencia de biomasa de raíces lo que debe estar relacionado a la existencia pasada de C o los flujos dinámicos de los nutrientes del suelo por tratarse de un SUT agroforestal manejado cuyo objetivo es de producción para la exportación en especies de *M. indica var. KHEN* y *M. indica var. HADEN*. En relación a la no presencia (o casi nula) de biomasa radicular en los últimos 20cm de profundidad y la evidente muestra de C orgánico en suelo (Figura 120), se puede inferir que otra vez la clase textural y tipología física del suelo está sujeta al manejo y uso del suelo, donde la morfología de la especie frutal (distribución de raíces, porte achaparrado, producto para exportación) hace efectivo otro resultado en el tratamiento a diferencia del BPR y lo observado por Cuellar (2014), Fernández (2012), Zanabria (2013) en Bosques Andinos y Amazónicos.

Así, Hidalgo (2009), determinó una captura de 123 tC/ha en suelos de los sistemas agroforestales de la selva alta de Tingo María, Zanabria (2013) en Huancayo obtuvo 117,2 tC/ha en el suelo para plantaciones de *P. radiata Don* y Fernández



(2012) en Ucayali encontró en biomasa radicular y suelo de Palma aceitera 4,7 tC/ha; comparados a los resultados de PF en Bosques Secos con 7,0 tC/ha son más significativos a nivel de captura en suelo para este ecosistema con 6,8 tC/ha correspondiente al 96%.

SUT Pastizal

El valor resultante de almacenamiento a nivel de biomasa aérea es 7,3 tC/ha. Infiriendo que este SUT no tiene capacidad suficiente de almacenamiento de C con respecto al BPR. A nivel del suelo tienen mayor presencia de materia orgánica. Según Cuellar (2014), para pastizales en el bosque amazónico es de 27,5 tC/ha. La diferencia de los valores ya mencionados es fundamentada de acuerdo a la cobertura vegetal existente en estos dos sistemas, debido a que los bosques amazónicos presentan mayor cantidad de arbustivas en comparación a los bosques secos. Zanabria (2013), determinó 2,3 tC/ha para los pastizales, señalando que el almacenamiento de C en este SUT es bajo ya que los pastos no cuentan con xilema en su tallo, de manera que la biomasa se acumulará en sus raíces. La variación existente entre el dato de bosque seco con el bosque andino probablemente sea por el uso del ecosistema, ya que en el bosque andino predomina la actividad del pastoreo.

Iquise (2007), indica que los pastos tienen cantidades limitadas de C en la parte aérea, pero aportan mayores cantidades de C en el suelo; los pastos son los que mayor aportan a la captura de C en los Bosques Secos, esto a razón que las raíces vivas, consideradas como biomasa de C, pueden contribuir con la mayor parte del C del suelo en las tierras de pastoreo (FAO, 2007). La distribución de la biomasa radicular en los pastos cumple con la tendencia esperada de 0 a 100cm con un aporte total de 0,67 t/ha de biomasa total que corresponde directamente a la capacidad de almacenamiento total de 0,3 tC/ha. Esta misma distribución se desprende de la tendencia normal en el depósito suelo, y se expresa un mejor almacenamiento entre 30-50cm con 4,67 tC/ha lo que afecta la lectura de

la biomasa respecto al C en el suelo, esto porque probablemente el pasado de uso de suelo (siembra de legumbres), ha incrementado la presencia de C fijado al suelo no necesariamente expresado junto a la línea de tendencia de la biomasa radicular presente, acumulando en total 9,5 tC/ha. Para los principales factores que afectan negativamente el contenido de carbono en los pastizales son el sobrepastoreo y el fuego. Como consecuencia del sobrepastoreo, el 70% de los suelos de pastoreo están degradados (Pieri, 1989; citado por Robert, 2002) Por otra parte, el fuego es el responsable de que se emita a la atmósfera hasta el 30% del C almacenado en el suelo; es por ello que el protocolo de Kyoto incluye a los suelos de pastoreo para captura de carbono debido a que ocupan grandes extensiones y almacenan entre 200 y 400 Gt de C (FAO, 2004). Además la siembra de pastos es recomendada para que la recuperación de los suelos degradados como parte de la práctica de rozo, tumba y quema, sea mayor, evitando una pérdida de C entre 40 y 50%. se evidencia una tendencia diferente en los pastos, ello podría deberse a criterios de manejo asociado a otras especies y el retardo del periodo de sucesión o rotación de los asentamientos vegetativos, componiendo aglomeraciones de biomasa pasada existente de otras especies de florística (Cuellar, 2014), a diferencia de la Plantación frutal (PF) y el cultivo anual (C), por la tendencia de captura en el suelo en relación a la biomasa de raíces a 1m de profundidad.

SUT Cultivo

Se determinó un valor de 5,5 tC/ha almacenados en este sistema. Comparando con otros resultados, en cultivos de maíz en el bosque amazónico se almacenan 11,7 tC/ha en el bosque amazónico (Barbarán mencionado por Cuellar, 2014). Al contrastar los datos se observa una disminución significativa del cultivo en bosque seco respecto al cultivo en bosque amazónico, esta diferencia probablemente se deba a la variabilidad del clima, tipo de suelo y manejo del cultivo, a su vez Zanabria (2013), indica que el cultivo con predominancia de *Vicia*



faba almacena 7,6 tC/ha en bosques andinos, indicando con este último dato que existe una similitud entre el cultivo de bosque seco y bosque andino.

Otros estudios en Bosques Amazónicos, donde Fernández (2012) encontró que el C en los sistemas de uso de la tierra en pasturas y palma aceitera son similares a las cantidades existentes en un bosque, almacenando cantidades de 3,6, 4,8 y 4,8 tC/ha en pastos, palma aceitera y bosques primarios respectivamente. Por su parte, en Bosques Andinos, Zanabria (2013) encontró un aporte de captura en raíces de 19,9 tC/ha, 13,5 tC/ha, 6,5 tC/ha y 5,4 tC/ha para Bosque de *P. incana*, plantación forestal *E. globulus*, Pastizal y cultivo de *Vicia faba*, respectivamente; mientras que para carbono en suelo obtuvo, 77,1 tC/ha, 78,1 tC/ha, 86,4 tC/ha y 70,1 tC/ha para Bosque primario *P. incana*, plantación forestal *E. globulus*, Pastizal y cultivo *Vicia faba*, respectivamente.

Además, la distribución de la media poblacional de bosques secos en las tres provincias, donde se ubicaron los clústeres de estudio, muestra que existe una mayor captura de C en el clúster Salas con 36,3 tC/ha, seguido por la evaluación en Pitipo con 33,9 tC/ha y con menor captura global se encontró a Olmos con 26,9 tC/ha. Esto podría deberse a las asociaciones vegetales de cobertura que se desarrollan en las cuatro diferentes parcelas evaluadas, también puede referir un manejo sostenible de otros sistemas de uso mayor con tecnología silvopastoril y finalmente, responder a los indicadores de las variables carbono bajo suelo y SUT evaluados. En lo respecta a la biomasa radicular en cada SUT evaluado.

La tendencia de BPR hacia CA en el clúster Pitipo - Ferreñafe, tiene un comportamiento distinto en el tratamiento para Pastizal donde se encontró 3,4 tC/ha como el valor mínimo de captura para este clúster, que podría estar relacionado su uso pasado como cultivo con labranza convencional. Para el caso de Salas

la tendencia decreciente sufre variación de incremento de Pastizal a Cultivo (ver Figura 126) que para el análisis transversal incrementan la captura de carbono para este Clúster con 8,7 tC/ha y 9,7 tC/ha, respectivamente. Particularmente, Olmos, presenta las evidencias de C en bajos niveles respecto de los otros dos clúster de estudio. Ello denota el aporte de 26,9 tC/ha totales almacenados con niveles bajos en PF con 3,3 tC/ha y C con 2,9 tC/ha esta diferencia en la capacidad de los depósitos de C en Olmos, se explica por la predominancia de suelos franco-arenosos y variabilidad climática diferentes respecto a los otros dos clústeres. Además, como indica SENAMHI en su Boletín ENFEN (2014) la variabilidad climatológica de la zona en Olmos a efectos del Fenómeno del Niño, presenta temporada de lluvias mientras que en Salas y Pitipo se declara temporada de sequía, estas precipitaciones explican porque se da el lavado de MO en el suelo sumados a percolación e infiltración de suelos arenosos predominantes a profundidad de 50cm a 100cm.

El total almacenado en el cultivo de *Z. mays* es 6,1 tC/ha, la biomasa total en el Cultivo es 1,2 t/ha que sigue la tendencia decreciente para la evaluación a diferentes profundidades. Dicho aporte principal es la captura total en la biomasa de raíces de 0,6 tC/ha, sin embargo al igual que el Pastizal la tendencia del C almacenado en el depósito suelo se desprende de la tendencia entre los 10-50cm con 1,8 tC/ha a 2,1 tC/ha siendo creciente de un total de 5,5 tC/ha capturados dando razón a las variaciones por tipo de suelo y otras variables intervinientes del estudio. Esta particularidad se desprende de la fisiología de las raíces en *Z. mays* pivotantes y horizontales. Espinoza (2005), indica que los sistemas de cultivo disminuyen el C orgánico del suelo, especialmente en sistemas de manejo que acentúan la erosión y conducen a la disminución de la fertilidad de los suelos. Por otra parte, los sistemas de cultivo continuo, donde existe una inadecuada aplicación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, traen consigo una disminución drástica en los



niveles del C del suelo. Los sistemas de cultivo incrementan el C y N recalcitrante del suelo y disminuyen la cantidad de la fracción lábil de C, comparado con los suelos del bosque; que para nuestro estudio justifica en menor valor aportado de los Bosques Secos con 19,6 tC/ha correspondiente al 20% de almacenamiento. Por otra parte, el Cultivo tiene una mejor respuesta por las relaciones vegetales con otras especies de herbáceas a nivel de suelo que incrementan la captura en raíces en los primeros 20cm, el aporte en el almacenamiento en raíces con 3,7 tC/ha corresponde al 25%, es mayor que el aporte de raíces de los SUT Plantación Frutal y Pastizal ubicándose después del BPR con el 42% de almacenamiento

radicular. Por lo que podemos decir que la captura de C no es deficiente pues responde a las variaciones de condiciones de manejo la labranza y las asociaciones vegetativas de otras tierras de uso mayor. En los suelos agrícolas, las pérdidas de C se deben a los procesos de erosión y de mineralización de la materia orgánica. Las pérdidas de suelo por erosión van de 1 a 10 t/ha/año, y en casos extremos hasta 50 t/ha/año, que representa a nivel global una pérdida de carbono de 150 a 1 500 t/año, que no necesariamente tiene arreglo con intensificación del riego agrícola para un incremento de la biomasa. (Lal *et al.*, 1998; citado por Robert 2002; (Gregorich *et al.*, 1998).



Conclusiones

- El carbono almacenado en la biomasa aérea del Bosque Primario Remanente (BPR) es 44,06 tC/ha siendo mayor que los otros SUT, correspondiendo 14,3 tC/ha para Plantación Frutal (PF), 7,3 tC/ha para Pastizal (PZ) y 5,51 tC/ha para Cultivo Anual (CA), de esta manera se acepta la hipótesis planteada que BPR almacena mayor cantidad de carbono con respecto a los otros sistemas de uso de la tierra en los Bosques Secos de la Región Lambayeque.
- En el SUT Bosque Primario Remanente (BPR) se reportó; 50,20 tC/ha en el clúster Pítipo, 42,76 tC/ha en el clúster Salas y 39,21 tC/ha en el clúster Olmos, con un promedio de 44,06 tC/ha almacenados en este SUT. Concluyendo que el BPR del clúster Pítipo almacena mayor carbono ya que es un bosque mínimamente intervenido a diferencia de los otros que tienen mayor influencia de la actividad humana.
- En el SUT Plantación Frutal (PF), se reportó 14,41 tC/ha en el clúster Pítipo, 14,90 tC/ha en el clúster Salas y 13,59 tC/ha en el clúster Olmos con un promedio de 14,30 tC/ha almacenado en la biomasa aérea. Cifra muy inferior a otros frutales debido al modelo de manejo agronómico del frutal de exportación.
- En el SUT Pastizal (PZ) se reportó 4,76 tC/ha en el clúster Pítipo, 4,98 tC/ha en el clúster Salas y 12,17 tC/ha en el clúster Olmos, indicando un promedio de 7,30 tC/ha almacenados. Cifra inferior en 37,6% con respecto al pastizal amazónico y 32% superior al pastizal andino.
- En el SUT Cultivo (CA), se estudio al cultivo de maíz, los datos fueron 6,63 tC/ha en el clúster Pítipo, 6,39 tC/ha en el clúster Salas y 5,28 tC/ha en el clúster Olmos, obteniendo como promedio 5,51 tC/ha almacenados en la biomasa aérea del sistema, cantidad inferior en 20,8% al mismo cultivo en la amazonia que estaría explicado por la variedad comercial del cultivo y el clima.
- Finalmente, cualquier variación o modificación del sistema de uso de la tierra influye considerablemente en la capacidad de almacenamiento de carbono, esto se ha demostrado debido a que el Bosque Primario Remanente almacena mayor carbono en la biomasa aérea que un cultivo.



Recomendaciones

- Se debería incidir en programas de enriquecimiento del Bosque Seco, utilizando especies nativas propias de la zona de manera que no se cambie el paisaje natural.
- Continuar con los estudios de determinación de las reservas totales del carbono en los Bosques Secos, para un mejor control en la dinámica del carbono.
- Establecer parcelas permanentes de medición en carbono para tener Base de Datos continuos y actualizados, siguiendo el patrón de cambios que se produce en el carbono en los ecosistemas Costeros.



Revisión Bibliográfica

- Acosta M, K Quednow, J Etchevers, C Monreal. 2001. Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas de vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 18 al 20 de octubre del 2001. 11 p.
- Brack, A. y Mendiola, C. 2010. Bosque Seco Ecuatorial. En: Ecología del Perú. Capítulo 7. Enciclopedia virtual Perú ecológico. 2010. 25oct2013: <http://www.peruecologico.com.pe/libro.htm>
- Cuellar, E. 2014. Efecto del cambio de uso del bosque tropical en la biomasa y el carbono almacenado, cuenca de Aguaytía, Perú. Trabajo de titulación (Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible). Lima. Universidad Nacional Federico Villarreal. 2014. 148 p.
- De Petre, A.; Ola, U.; Ali, S. y Reynero, N. 2008. Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal. Proyectos de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos (PIARFON). Área Captura de Carbono. Resumen de resultados. Argentina Banco Mundial - N° 4085-AR. 2008. 15p.
- Dixon K. 1995. Sistemas agroforestales y gases de invernadero. *Agroforestería en las Américas* 2(7): 22-26.
- ENFEN. 2014. Debilitaciones de las condiciones cálidas frente al litoral. Comunicado N009-2014. Comité multisectorial encargado del estudio nacional del Fenómeno el Niño (ENFEN). Lima, IMARPE-IGP-SENAMHI. 2014. 20 p.
- Espinoza, Y. 2005. Secuestro de Carbono en el Suelo. *Revista Digital CENIAP HOY*. Número 7 enero-abril 2005. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP). Maracay, Aragua: Venezuela. 2005. ISSN: 1690-4117. Consulta: 21/12/2013. Disponible en: http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n7/arti/espinoza_y/arti/espinoza_y.htm
- Espinoza, Y. 2000. Dynamics and mechanism of stabilization of C and N in soil. Ph.D. Diss. 2000. Kansas State Univ., Manhattan.
- Farroñan, T. 2011. Problemas ambientales en la región Lambayeque. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental. Lambayeque, Perú. 2011. p 12-23.
- Fernández, K. 2012. Efecto de un cambio de uso de la tierra típico a la biomasa de raíces finas, en la zona de Neshuya-Curimana, Ucayali-Perú. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa: Perú, 2012. 92 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2007. Perspectivas alimentarias. Análisis de los mercados mundiales. Semillas oleaginosas, aceites y harinas oleaginosas. Sistema Mundial de Información y Alerta sobre la Agricultura y la alimentación (SIMIA).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2004. National forest resources assessment WP 94. Rome. Consultado el 22 de abril de 2012. Tomado de: <http://www.fao.org/docrep/008/ae578e/AE578E00.html>



- Flores, J. 2009. Cuantificación de captura de carbono en las especies de Kacha Kacha (*Aspidosperma quebracho blanco*) y algarrobo (*Prosopis angustifolia*) en el bosque nativo de la comunidad Alto Oruro. Tesis. Cochabamba: Bolivia. UMSS, 2009. 82p.
- Gayoso, J. 2000. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Revista Forestal iberoamericana Vol 1 No 1. 2000. Universidad Austral de Chile. IUFRO.
- Guzmán, G. 2012. Nuevas iniciativas de competitividad en los bosques Secos de Lambayeque. IDESI LAMBAYEQUE. 2012. 25p.
- Gregorich, G.; Greer, J.; Anderson, W. y Liang, C. 1998. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil & Tillage Research* 47: 291-302.
- Hernández, J. 2013. Carbon sequestration in soils. Boletín PADI - ICBI. No 2 V. 2. Julio 2013 Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Mexico, 2013. ISSN 2007-6363.
- Hernández, M. y López, D. 2002. El tipo de labranza como agente modificador de la materia orgánica: un modelo para suelos de sabana de los Llanos Centrales Venezolanos. *Interciencia* 27(10): 529-536.
- Hidalgo, P. 2009. Determinación de las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal de la selva alta de Tingo María”, Tesis PhD. Lima, Perú. UNFV. 174 p.
- Ibrahim, M.; Chacón, M.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Ponce, G.; Vega, P. y Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en biomasa arbórea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. En *Agroforestería de las Américas* N° 45. p 27 – 36.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). 2009. Aportes al reglamento a la nueva Ley Forestal, para el manejo sostenible de los “Bosques temporalmente secos” de la Costa Norte del Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). 2007. Perú Forestal en Números.
- Iquise, R. 2007. Carbono Almacenado en Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra del Distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, Perú. Trabajo de titulación (Ingeniero Forestal). Tingo María, Huánuco, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 89p.
- Lal, R. y Kimble, J. 1998. Pedospheric processes and the carbon cycle. In Lal, R; Kimble, KM; Follett, RF; Stewart, BA. eds. *Soil processes and the carbon cycle*. Estados Unidos, CRC Press. p. 1-8.
- La Torre, M. y Linares, R. 2008. Mapas y clasificación de vegetación en ecosistemas estacionales: Un análisis cuantitativo de los bosques secos de Piura. *Revista Peruana de biología*. Vol. 15. Núm. 1. 31-42 p.
- Lino, K. 2009. Determinación del stock de biomasa de Carbono en las sucesiones secundarias de Bolaina en la cuenca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú. Trabajo de titulación (Ingeniero Forestal). Pucallpa, Ucayali. Universidad Nacional de Ucayali. 82p.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2011. Plan nacional de acción ambiental PLANAA – Perú 2011-2021. 80 p.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2013. Calculo de la huella ecológica departamental y por estratos socioeconómicos. Dirección general de investigación e informática. Lima. 36 p.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2010. Mapas de Bosques Secos y bosques Relictos [mapa en línea] DGEVFPN, 2010. [fecha de consulta: 19 agosto 2013]. Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/index.php?accion=verMapa&idElementoInformacion=1067>
- NORBOSQUE-PIURA. 2007. Programa Regional de Manejo Sostenible de los Boques Secos. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Gobierno Regional de Piura. 15 p.
- Pece, G.; Benítez, C.; Galíndez, M. y Acosta, M. 2003. Bosques y forestaciones como sumideros de carbono en el Parque Chaqueño. *Estadística Forestal FCF-UNSE* (9): 23-62,2003. Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). 15p



- Pieri, H.1989. Fertilité des terres de savannas. CIRADIRAT ED.Montpellier, France, 444 p.
- Robert, M. 2002. Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. Estudios FAO Ser.: Riego y Drenaje Series. Vol. 96.Informes sobre recursos mundiales de suelos. México DF: Food & Agriculture Org. 61 p.
- Risio, L.; Herrero, C.; Bogino, S. y Bravo, F. 2013. Estimación de biomasa aérea y subterránea en bosques nativos de *Prosopis caldenia* en la pampa semiárida Argentina. 6to Congreso Forestal Español. 01-113. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Montes, 2013.14p ISBN: 978 8493796495
- Salazar, E. 2012. Cuantificación del carbono en la biomasa aérea de tres diferentes usos de la tierra en la cuenca de Aguaytía sectores: Irazola, Curimáná y Campo Verde – región Ucayali. Tesis. Tingo María, Perú. UNAS. 138p.
- SERNANP. 2011. Plan Maestro Santuario Histórico de Bosque de Pómac 2011-2016. Lima, 2011. 175pp. ISBN 9786124567544
- Six, J., E.T. Elliott, and K. Paustian. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32:2099–2103.
- Zanabria, R. 2013. Determinación del carbono total en diferentes sistemas de uso de la tierra en el valle del Mantaro, Junín. Tesis. Huancayo, Perú. UNCP. 143 p.



CAPITULO 6

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS HUMEDALES COSTEROS

*Por: José Eloy Cuellar Bautista
Mayvelinne Fierro Hilario*

Resumen Ejecutivo

La presente investigación está orientada a generar información sobre la cantidad de carbono almacenado en los humedales costeros, para determinar con precisión el almacenamiento en este ecosistema y contribuir al conocimiento del mismo para su conservación y manejo sostenible. En el Perú, la relación del hombre con los Humedales se da desde la época de las culturas Preincaicas hasta los años actuales. Los Humedales nos proveen una variedad de productos para la subsistencia del poblador rural, en el aprovechamiento artesanal de la totora y la pesca para el consumo humano, así también nos brinda servicios ambientales como la captura del CO₂, recarga de acuíferos, depuración de las aguas, etc. En el país existen 10 humedales protegidos por la Convención Ramsar, uno de ellos es el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, ubicado en el Distrito de Chorrillos, Provincia de Lima, Departamento de Lima. Se evaluó siguiendo la metodología INIA - Universidad de Göttingen, con modificaciones en las dimensiones, se utilizó como área de 1x1m, con seis repeticiones para mayor certeza. El C almacenado en el humedal es de 68,4 tC/ha, desagregando a nivel de especies para la totora es 36,4 tC/ha y el junco es 32,0 tC/ha, con lo cual se demuestra que el humedal costero es una buena opción para el almacenamiento de Carbono y con el beneficio adicional de manejo del agua dulce y conservación de la biodiversidad. Estos resultados nos obligan a realizar una mejor gestión de los humedales, ya que todos tenemos el compromiso de aportar en pro de nuestro medio ambiente en el que nos desenvolvemos más aun frente al problema de cambio climático que a todos nos afecta.



Objetivo

Determinar el patrón de cambios en la biomasa y carbono que se produce por el cambio de uso del bosque mediante evaluaciones destructivas y no destructivas para comprender la dinámica del carbono en el ecosistema de humedales.

Los humedales

De acuerdo con la Convención de Ramsar (1997), citado por Ramsar (2012), Los humedales son extensiones de marismas¹, pantanos o turberas cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. Son sistemas que no son ni verdaderamente terrestres ni acuáticas, pueden ser ambas cosas al mismo tiempo o ser estacionalmente acuático o terrestre. Este carácter dinámico de los humedales afecta a las comunidades de flora y fauna hasta tal punto que los humedales son hábitats completamente diferentes a los acuáticos o terrestres. (Stolk 2006, citado por Ttimp, 2012).

El Perú, posee humedales en la Costa, Sierra y Selva, siendo uno de ellos, el Refugio de vida silvestre Los Pantanos de Villa, ubicada en la ciudad capital que tiene una superficie de 263,3ha son considerados ecosistemas que sirven para mitigar los efectos del cambio climático; porque pueden absorber grandes cantidades de Gases de Efecto Invernadero desde la atmósfera, almacenando el carbono en los tejidos vegetales y en el suelo. Algunos ejemplos de las actividades de adaptación basadas en los ecosistemas son: La defensa de las costas a través del mantenimiento y/o la restauración de los manglares y de otros humedales costeros, para reducir inundaciones y la erosión costeras; la gestión sostenible de los manglares continentales y las planicies inundables, para mantener el flujo y la calidad del agua; La conservación y restauración de los bosques, para estabilizar las laderas terrestres y

regular los flujos hídricos; el establecimiento de diferentes sistemas agroforestales, para hacer frente al riesgo cada vez mayor de las nuevas condiciones climáticas; La conservación de la diversidad biológica agrícola, para proporcionar acervos genéticos para la adaptación de los cultivos y la ganadería al cambio climático.

Los humedales desempeñan muchas funciones esenciales como protección contra tormentas y mitigación de crecidas; estabilización de costas y control de la erosión; recarga y descarga de acuíferos; depuración de aguas; retención de nutrientes sedimentos y contaminantes; y estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente lluvia y temperatura. En particular las turberas, son importantes 'depósitos' de carbono y, por lo tanto, la función de su conservación debe ser tomada en cuenta en la elaboración de las estrategias de mitigación del cambio climático (Patterson, 1999 citado por Ttimp, 2012).



Figura 131. Humedales de Pantanos de Villa.

Se han podido identificar cinco grandes sistemas de humedales (Stolk *et al.*, 2006) y son: Estuarios, desembocaduras de los ríos en el mar, donde el agua alcanza una salinidad equivalente a la media del agua dulce y salada (por ejemplo, deltas, bancos fangosos y marismas); Marino-Costeros, áreas entre tierra y mar (por ejemplo, playas, manglares y arrecifes de coral); Fluviales, tierras anegadas periódicamente como resultado del desbordamiento de los ríos (por ejemplo, llanuras de inundación, bosques inundables,

1. El agua de una marisma puede ser sólo de mar, aunque normalmente es una mezcla de agua marina y dulce denominada salobre.



islas fluviales y lagos de meandro); Palustres, áreas que contienen aguas relativamente permanentes (por ejemplo, pantanos, turberas, marismas y ciénagas); y lacustres son zonas cubiertas de aguas permanentes caracterizadas por una baja circulación (lagunas, lagos, lagos glaciales y cráteres de volcanes). Los humedales son importantes para la gente debido a una gran variedad de razones desde el sostenimiento de la vida y la provisión de agua hasta la herencia cultural. El suministro continuo de estos servicios depende de la integridad y la salud del humedal y sus recursos. (Palomino, 2007).

Los Humedales frente el cambio Climático presentan características peculiares, suelen ser ecosistemas sensibles al ser afectados por la variación del clima y los fenómenos extremos del tiempo. Cambios en la temperatura, en los patrones de precipitación, aumento del nivel del mar, son entre otros casos, variación del clima que pueden producir sensibles impactos en los humedales. (Maya, 2005 citado por Ttimp, 2012).

Las Estrategias relacionadas al Carbono, en los humedales según la FAO (2001) indica que son tres las estrategias que pueden adoptarse en relación con el carbono presente, y son las siguientes:

Absorción de Carbono, consiste en aumentar la tasa de acumulación de carbono mediante la creación o ampliación de sumideros de carbono. El potencial de C mediante actividades de forestación y reforestación depende de la especie, el lugar y el sistema de ordenación y, por consiguiente, es muy variable. Los índices normales de absorción, expresados en toneladas de carbono (tC) por hectárea y año, son de 0,8 a 2,4 tC en los bosques boreales de 0,7 a 7,5 tC en las zonas templadas y de 3,2 a 10tC en los trópicos. (Brown *et al.*, 1997). El potencial de absorción de las actividades agroforestales es todavía más variable, y depende de la densidad de plantación y de los objetivos de producción del sistema.

conservación del carbono, radica en impedir o reducir la emisión de carbono existente en los sumideros actuales. Si bien el medio eficaz para reducir las concentraciones atmosféricas de CO₂ es la reducción de emisiones a partir de la combustión de productos fósiles, en relación con el uso de la tierra y la silvicultura, la conservación de los niveles actuales de C de los bosques ofrece desde el punto de vista técnico las mayores posibilidades para una atenuación rápida del cambio climático. El potencial de conservación de C, si se frenara por completo el fenómeno de la deforestación se podría conservar de 1,2 a 2,2 Gt de C anuales (Dixon y Krankina, 1995). Los incendios provocan la liberación de grandes cantidades de carbono de los bosques cada año. Las condiciones meteorológicas derivadas del cambio climático, como la intensificación del fenómeno del niño, aumentan el riesgo de incendios. Las prácticas de control de los incendios pueden favorecer la conservación de las existencias de carbono en los bosques. Por ello las medidas de prevención y lucha contra los incendios deben ir acompañados de cambios en la política de uso de la tierra y de medidas dirigidas a afrontar las necesidades de la población rural.

Sustitución del Carbono, es reducir la demanda de combustible fósil aumentando la utilización de madera, ya sea en productos de madera duraderos (es decir la sustitución de materiales como el acero y el cemento con un alto consumo de energía) o como combustibles. Si se sustituye el biocombustible que se utiliza actualmente por la energía derivada de combustibles fósiles, se liberan a la atmósfera 1,1 Gt de carbono por año adicionales. (IPCC, 2000). La utilización de biocombustibles traerá como consecuencia una reducción de la emisión de CO₂ a la atmósfera. La utilización de este combustible dependerá en gran medida del desarrollo de tecnologías que permitan utilizarlos en forma eficiente. Existen ya varias iniciativas encaminadas a la absorción y conservación del C, como las actividades realizadas conjuntamente.



Figura 132. Ubicación del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa.

Descripción del Sistema de Uso de la Tierra Evaluado

Los Pantanos de Villa

A. Ubicación

Limita por el norte con el Asentamiento Humano La Sagrada Familia, el Asentamiento Humano Las Garzas de Villa, La Urbanización Los Huertos de Villa, la Urbanización La Encantada. Por el sur con el Club Hípico del Perú. Por el este con el Cerro Las Delicias de Villa. Por el oeste con el Océano Pacífico.

B. Superficie

El área que ocupan los Pantanos de Villa se localiza en el departamento de Lima, al sur de la ciudad de Lima, en el distrito de Chorrillos, aproximadamente entre los $12^{\circ}11'42''$ - $12^{\circ}13'18''$ LS y $76^{\circ}58'42''$ - $76^{\circ}59'42''$ LW. Tiene un área de 263,3 ha.

C. Clima

El clima del área presenta una estación invernal caracterizada por cielos grises, intensa humedad y suaves lloviznas entre junio y setiembre, y una estación cálida o de verano entre diciembre y marzo. Presenta precipitaciones totales que alcanzan un promedio anual de 60mm. La

temperatura media anual es de $18,6^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa fluctúa entre 85 a 99% El anticiclón del Pacífico Sur, produce subsidencia generando abundante nubosidad estratiforme, que explica la escasa precipitación y la predominancia de vientos de componente sur que en promedio alcanzan, velocidades de 3m/s.

D. Geografía

Es una zona de desierto desecado subtropical, en la provincia biogeográfica del Desierto Pacífico. Presenta un rango altitudinal de 0 a 5 msnm con una temperatura promedio de 15°C a 26°C , el periodo de junio a setiembre presenta una leve llovizna. La Zona Reservada de los Pantanos de Villa se estableció el 29 de mayo de 1989 mediante Resolución Ministerial N° 00144-89-AG/DGFF. A partir del 20 de enero de 1997 la Convención RAMSAR reconoce esta zona como Humedal de Importancia Internacional para Aves Acuáticas.

Inicialmente su extensión fue de 396 hectáreas, sin embargo, posteriores mediciones con sistemas de última generación (GPS geodésicos) han demostrado que hubo un error en dicho dato de superficie, por lo cual se tramitó y publicó la Resolución Ministerial N° 0909-



2000-AG que establece con mayor precisión una extensión de 263,2 hectáreas.

E. Geología, Litología y Geomorfología

Se ubica dentro de una depresión plana de 1 530 ha, que esta rodeados de colinas entre los 100 y 300msnm como el Morro Solar, Cerro Zig Zag y Lomo Corvina; además de una línea de playa recta, pues acondiciona el microclima en la zona continental húmeda de la interfase mar-continente en la que existen los pantanos. Litológicamente están compuestos de areniscas tipo cuarcita y limonitas que conforman las dominancias de monte-islas, relacionadas con los procesos geológicos-tectónicos del cretácico y cuaternario. Las rocas cretácicas vienen formando la cadena de cerros que rodean a los Pantanos de Villa, así como el substrato rocoso cuaternario del acumulado de Villa. Los sedimentos predominantes son areniscas de diferentes tamaños de grano, tonalidad y composición mayormente de cuarzo.

Con relación a la geomorfología, los Pantanos de Villa constituyen una zona de acumulación y modelado fluvio-marino-eólico en un ambiente de ensenada litoral y deltaica marginal del río Rímac, en la cual se han desarrollado ambientes lagunares e hidromórficos, los denominados humedales, de la zona costera en el Perú.



Figura 133. Vegetación en los Pantanos de Villa.

F. Zonificación

La Zonificación del área natural protegida los Pantanos de Villa se encuentra establecida de acuerdo a lo dispuesto en la Ley de Áreas Naturales Protegidas (Ley N°. 26834), a las características físicas del área natural

protegida, las diversas asociaciones vegetales que contiene y al uso u ocupación por parte de la población aledaña o visitante. Se reconocen las siguientes zonas:

- Zona de protección estricta: Aquellos espacios donde los ecosistemas han sido poco o nada intervenidos, o incluyen lugares con especies o ecosistemas únicos, raros o frágiles, los que, para mantener sus valores, requieren estar libres de la influencia de factores ajenos a los procesos naturales mismos, debiendo mantenerse las características y calidad del ambiente original. En la Zona Reservada de los Pantanos de Villa, la zona de protección estricta comprende los cuerpos de agua.
- Zona de recuperación: Zona transitoria, aplicable a ámbitos que por causas naturales o intervención humana, han sufrido daños importantes y requieren un manejo especial para recuperar su calidad y estabilidad ambiental. En la Zona Reservada de los Pantanos de Villa, la zona de recuperación comprende los sectores de gramadales y totorales del área natural protegida entre la Av. Hernando Lavallo y su límite sur, además de los sectores comprendidos en los lotes de las manzanas U e Y de los Huertos de Villa y una porción entre las avenidas Huaylas y 12 de octubre.
- Zona Silvestre: Zonas que han sufrido poca o nula intervención humana y en las que predomina el carácter silvestre, pero que son menos vulnerables que las áreas incluidas en las de protección estricta. En esta zona es posible la investigación científica, educación y la recreación sin infraestructura permanente ni vehículos motorizados. La zona silvestre comprende el área que circunda la laguna principal del área protegida.
- Zona de uso especial: Espacios ocupados por asentamientos humanos preexistentes



al establecimiento del área natural protegida, o en los que, por situaciones especiales, ocurre algún tipo de uso agrícola, pecuario, agrosilvopastoril u otras actividades que implican la transformación del ecosistema natural. La zona de uso especial, comprende el sector entre las avenidas Huaylas y Doce de Octubre, actualmente ocupado por campos deportivos.

- Zona de amortiguamiento: Se denomina así a aquellas zonas adyacentes al área natural protegida que por su naturaleza y ubicación, requieren un tratamiento especial para garantizar la conservación del área natural protegida. Para definir la zona de amortiguamiento se ha tomado en cuenta el acuífero subterráneo adyacente, las fuentes de agua como afloramiento de Villa Baja y la línea costera adyacente. El espacio que ocupa está definido por la Panamericana Sur, la línea costera y la Av. Alameda Sur y las líneas de cumbres del conjunto de cerros Zigzag.

G. Conformación

El área protegida presenta una serie de hábitats con diversidad biológica particular en cada uno de ellos. El hábitat de los juncales: donde su principal planta es el junco, también en este lugar se observa palmeras de abanico y la casuarina (especies introducidas). El hábitat de los canales y drenajes: cuya función principal es abastecer las lagunas, formando cuerpos de agua que constituyen hábitat para diversas especies. Presentan lenteja de agua, planta acuática que sirve de alimento para varias especies. El hábitat de los gramadales: esta zona ocupa la más amplia extensión. Presenta suelos salinos y arenosos, y una vegetación pequeña en la que resaltan la grama dulce, la grama salada y el sporobol. El hábitat de los totorales: cuya planta principal es la totora, esta sirve de cobijo y espacio de anidación para diferentes especies. En ella viven también libélulas, mosquitos y otros

insectos que son parte de la cadena trófica del ecosistema.

- Flora: está representada por 67 especies de plantas y por asociaciones características: gramadal en suelos arenosos cuya especie predominante es la grama salada *Distichlis spicata*; totoral en áreas inundadas y bordes de los espejos de agua, siendo la especie predominante la totora *Typha domingensis*; zona arbustiva, que se caracteriza por la apariencia de un matorral denso; y vega de cyperaceas en suelos saturados caracterizada por la presencia de *Scirpus americanus* y *Paspalum vaginatum*.
- Fauna: Está representada principalmente por unas 14 especies de peces y algunos reptiles y roedores. Hay 208 especies de aves, de las cuales un 70% son migratorias. Entre estas últimas se pueden mencionar al zambullidor grande *Podiceps major*, el Zambullidor Picogrueso *Podilymbus podiceps*, la Garza Grande *Ardea alba*, el Huaco Común *Nycticorax nycticorax*, el Pato Colorado *Anas cyanoptera*, el Pato Gargantillo *Anas bahamensis*, el Aguila Pescadora *Pandion haliaetus*, la Polla de Agua *Gallinula chloropus*, la Gallareta *Fulica americana*, el Playero Patiamarillas Mayor *Tringa melanoleuca* y el Chorlo Gritón *Charadrius vociferus*, entre otras.

Totora

Descripción botánica

- Familia : Cyperaceae
- Nombre científico : *Schoenoplectus californicus* (C.A.Mey) Soya'k
- Nombre vulgar : "Totora"

Descripción

Es una hierba perenne, de escaso porte, fasciculada, con raíces fibrosas. El tallo es cespitoso, erecto, liso, trigono, sin presentar tuberosidades en la base. Las hojas de la sección inferior presentan vainas foliares carentes de láminas; las superiores las desarrollan



ocasionalmente. La inflorescencia es un agregado simple y pseudolateral de espiguillas; tiene una bráctea erecta, que semeja una continuación del tallo. Las espigüelas son hermafroditas, abundantes, sésiles, ovoides u oblongas. Presenta glumas espiraladas, deciduas, ovadas, redondas en la parte posterior, con una nervadura media fuerte y una lateral inconspicua u obsoleta; la raquilla es persistente. Las flores son hermafroditas; los estambres son tres, y los estilos dos.



Figura 134. Evaluación de la biomasa de totora.

Junco

Descripción botánica

- Familia : Cyperaceae
- Nombre científico : *Scirpus americanus* Pers.
- Nombre común : "Junco"

Descripción

Hierba perenne con rizoma rastrero; tallos de hasta 20cm de altura, trígonos. Inflorescencia en glomérulos de 8-10mm largo, compuestos por 1-3 espiguillas castañas. Las flores son regulares y hermafroditas. El androceo tiene 6 o solo 3 estambres, el gineceo, 3 carpelos con un solo estilo y 3 estigmas filamentosos. El fruto es capsular. Las plantas de esta familia son hierbas raramente anuales, por lo común vivaces o perennes, de hojas angostas o reducidas a las respectivas vainas.

Las flores se agrupan en inflorescencias complejas generalmente en anteras. Las familias se componen de unas 300 especies es su mayor parte de lugares húmedos de los países templados y fríos.



Figura 135. Evaluación de la biomasa del junco.

Metodología

La toma de muestras fue mediante el muestreo Aleatorio Simple Cuadrulado se asignó una distribución uniforme de los puntos para la toma de muestra y se escogió al azar. En total se tomaron 12 muestras, siendo la unidad de Análisis, solo individuos de la especie de Totora y una especie de Junco, ya que algunas otras especies se reportan rara vez y generalmente cuando hay perturbación del área. En cuanto a los criterios de Inclusión fue que las especies estén conservadas y de criterio de exclusión: que las especies estén deterioradas o muertas.

Para poder determinar el carbono almacenado, primero se debe tener la estimación del Factor conversión del C para ello se realiza mediante dos métodos: Método de Walkley y Black (1934), la materia orgánica es oxidada con una mezcla de K_2CrO_7 mas H_2SO_4 , la dilución concentrada se calienta y se generara calor. Este método proporciona una estimación fácilmente oxidable de carbono orgánico y es usado como una medida de carbono orgánico total. El porcentaje de materia orgánica es igual al porcentaje de C orgánico multiplicado por el factor 1 724, porque la materia orgánica contiene el 58% de C (Kalra y Maynond 1991, citado por Ttimp, 2012).

En la presente investigación, además se utilizó el Método de poder calorífico, se basa en la cantidad de energía que requiere una planta para fijar un mol de C, método de Eduarte y Segura (1998). El método para determinar la fracción de carbono en la biomasa, esta se basa en dos principios: ley universal de la termodinámica y la Ley de Hess.



Presentación de resultados

1. Biomasa total en el nivel del sistema de uso de la tierra

1. Biomasa total en el SUT Humedal

1.1.1 Biomasa sobre el suelo

En el SUT Humedal Cuadro 101 y Figura 136, se muestran las diferentes evaluaciones en las cuales se evidencia una concentración de biomasa en un

promedio de 65,8 t/ha. Se puede observar que el tallo aéreo representa el 61,4% de la biomasa total, seguido del tallo sumergido con 25,2% de la biomasa total y finalmente la hojarasca con el 13,3% de la biomasa total del SUT.

Cuadro 101. Biomasa aérea total del SUT Humedal

Especie	SUT	Depósito (t/ha)			Biomasa total (t/ha)
		Tallo aéreo	Tallo sumergido	Hojarasca	
Junco	Humedal	17,4	9,2	0	26,6
Totora	Humedal	23,0	7,4	8,8	39,2
Total		40,4	16,6	8,8	65,8

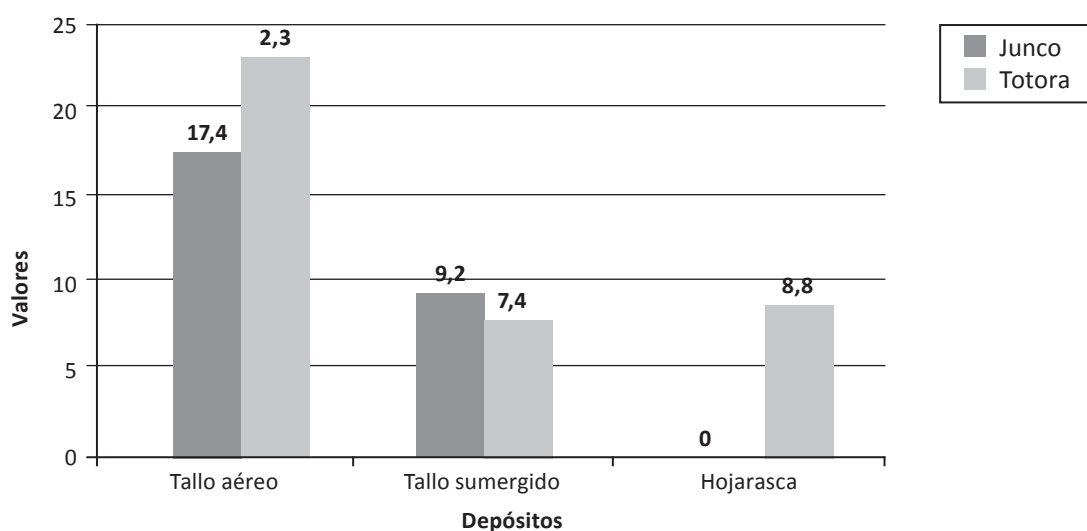


Figura 136. Biomasa de raíces en el SUT Humedal.

1.1.2 Biomasa de raíces finas

Se realizaron evaluaciones a la biomasa de las raíces a una profundidad de 0 a 30cm. En el Cuadro 102 y Figura 137, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades. Se

evidencia que la totora tiene una mayor cantidad de raíces representando el 82,9% de la biomasa, mientras que el junco representa el 17,1% de la biomasa total de raíces en el SUT.

Cuadro 102. Biomasa de raíces finas a diferentes profundidades

Especie	SUT	Raíces	(t/ha)
Junco	Humedal	2,0	2,0
Totora	Humedal	9,7	9,7
Total		11,7	11,7



Biomasa de Raíces t/ha

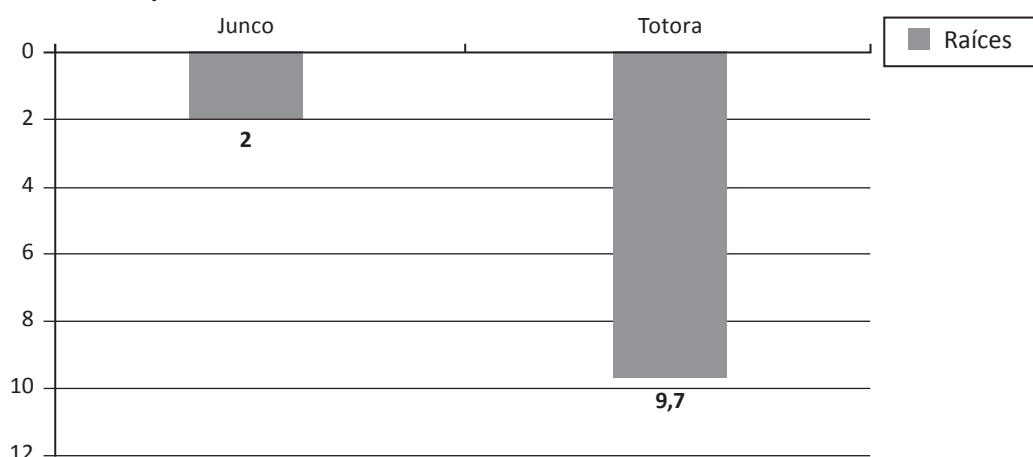


Figura 137. Biomasa de raíces en el SUT Humedal.

2. Carbono total en el nivel del sistema de uso de la tierra

2.1. Carbono en el SUT Humedal

2.1.1. Carbono sobre el suelo

En el SUT Humedal Cuadro 103 y Figura 138, se muestran las diferentes evaluaciones en las cuales se evidencia un valor total de almacenamiento de C en promedio de 32,9 tC/ha. Además a nivel de depósito el tallo aéreo representa el 61,4%

del C total, el tallo sumergido el 25,2% del C total y finalmente la hojarasca el 13,4% del C total almacenado sobre el suelo del SUT. También se debe mencionar que en el caso del junco en las 3 repeticiones no se encontró hojarasca.

Cuadro 103. Carbono aéreo total del SUT Humedal

Especie	SUT	Depósito (tC/ha)			Carbono total (tC/ha)
		Tallo aéreo	Tallo sumergido	Hojarasca	
Junco	Humedal	8,7	4,6	0	13,3
Totora	Humedal	11,5	3,7	4,4	19,6
Total		20,2	8,3	4,4	32,9

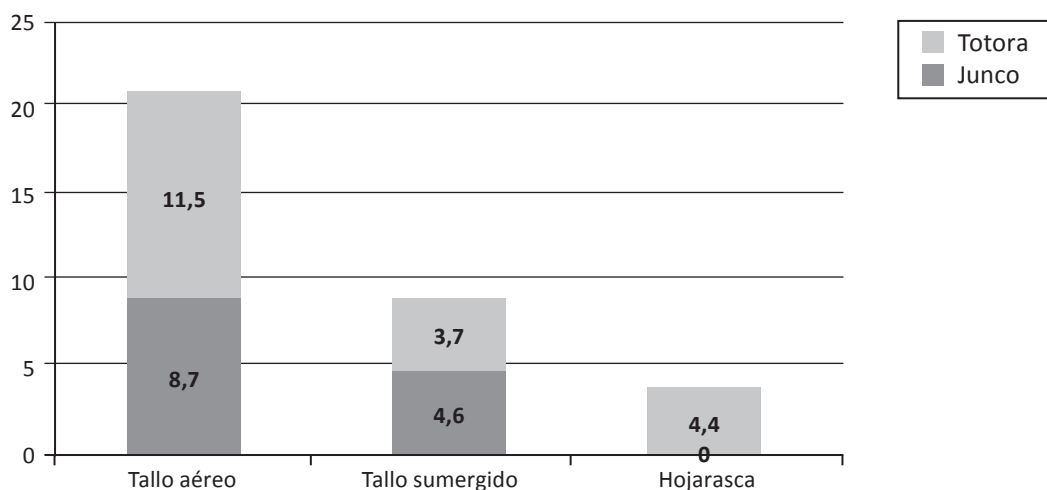


Figura 138. Carbono total sobre el suelo del humedal.



2.1.2 Carbono debajo del suelo

En el Cuadro 104 y Figura 139, se muestran la biomasa de raíces a diferentes profundidades en el horizonte 0 a 30cm, se puede observar que el depósito suelo almacena el 83,6% del total mientras que el depósito raíces el 16,4% del C total en el suelo del SUT. A nivel de especies,

se puede observar que totora presenta mayor capacidad de almacenamiento a nivel de raíces, mientras que junco a nivel de C en el suelo. Ambas especies son complementarias y predominantes en el SUT humedad.

Cuadro 104. Carbono en las raíces finas y en el suelo

Especie	SUT	Raíces	Suelo	Total (tC/ha)
Junco	Humedal	1,0	17,7	18,7
Totora	Humedal	4,8	12,0	16,8
Total		5,8	29,7	35,5

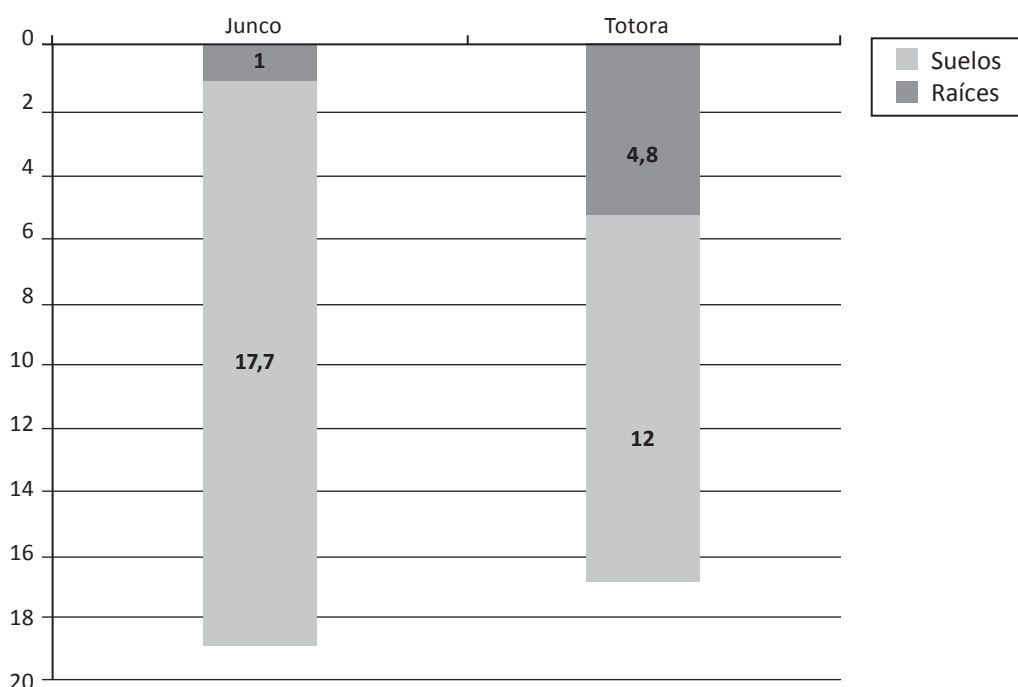


Figura 139. Carbono total en el suelo del humedal.

2.1.3 Carbono Total en el SUT Humedal

En el Cuadro 105 y Figura 140, se muestran los resultados del carbono almacenado a nivel de la biomasa aérea y el carbono en el suelo. Se puede observar que a nivel almacenamiento total de Carbono, la especie totora representa el 53,4%

mientras que el junco el 46,6% del Carbono total almacenado en el SUT, en términos generales, se podría decir que ambas especies almacenan C en cantidades similares y son complementarias en el humedal.

Cuadro 105. Carbono total en el SUT Humedal

Especie	SUT	Aéreo	Suelo	Total (t/ha)
Junco	Humedal	13,2	18,7	31,9
Totora	Humedal	19,2	16,8	36,4
Total		32,9	35,5	68,1

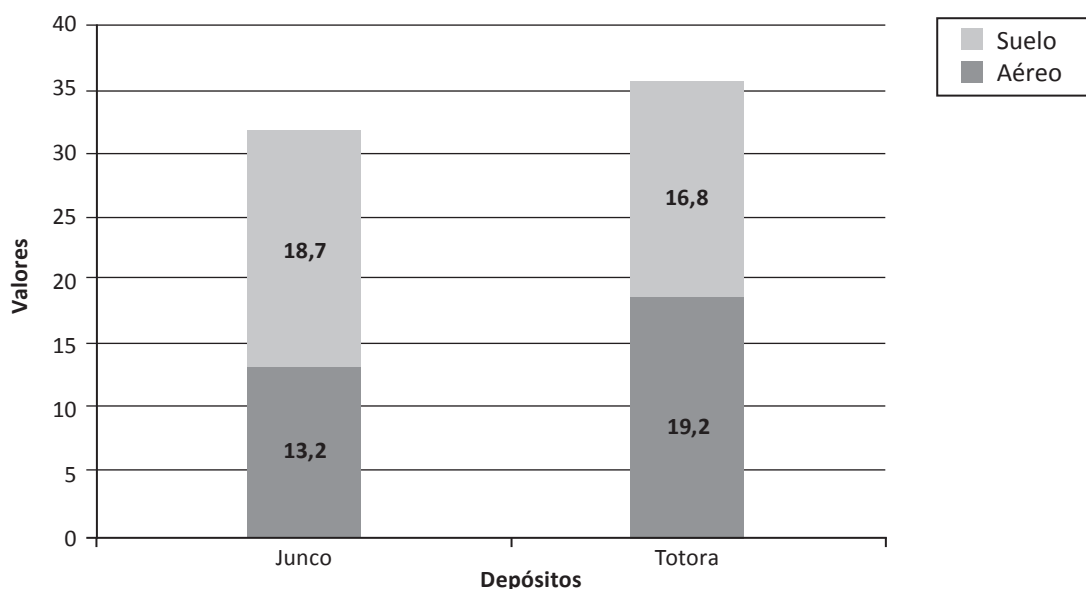


Figura 140. Carbono total en el SUT humedal.

En la Figura 141 se puede observar la relación entre el C almacenado total a nivel de depósito aéreo y el carbono en el depósito suelo, que incluye al carbono en las raíces para cada

especie en estudio. Se puede observar que el depósito aéreo representa el 48,3% del C total, mientras que el depósito suelo el 51,7% del C total almacenado en el SUT humedal.

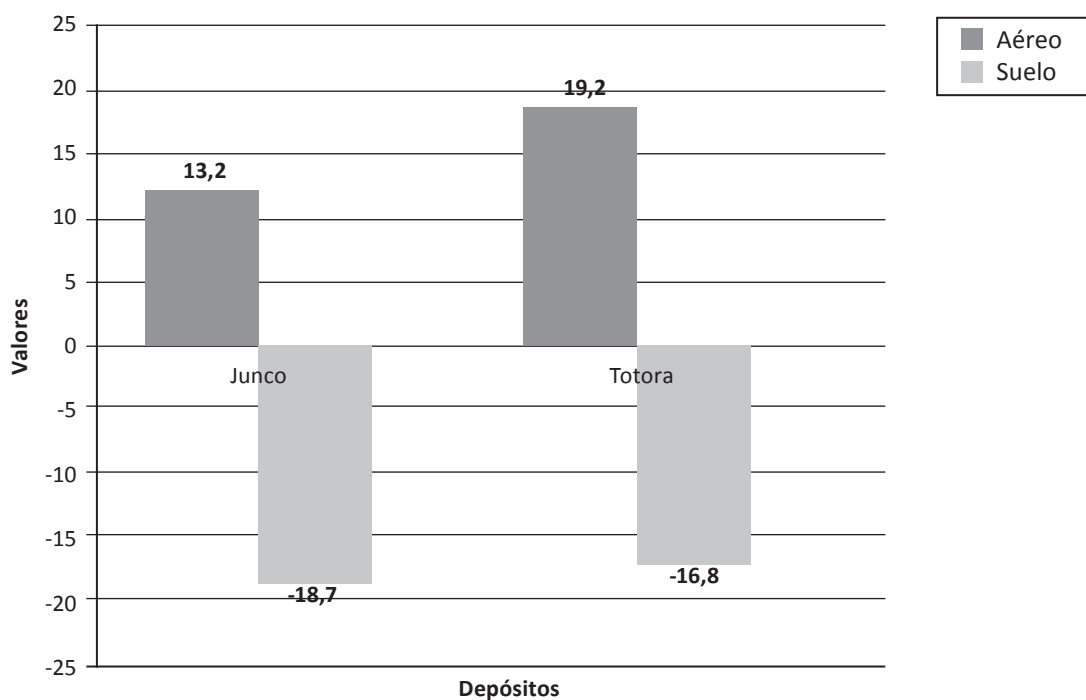


Figura 141. Relación entre el Carbono aéreo y en el suelo a nivel de cada especie.



En la Figura 142 se puede observar la relación entre el depósito de C almacenado total a nivel de depósito aéreo y el C en el depósito suelo, que incluye al C en las raíces para cada especie en estudio. De la misma forma podemos observar claramente que los depósitos a nivel

de suelo, tallo aéreo y tallo sumergido son ligeramente significativas entre las especies de Totora y Junco, mientras que el depósito raíces son muy significativos al igual que el depósito hojarasca, ya que solo la totora lo almacena.

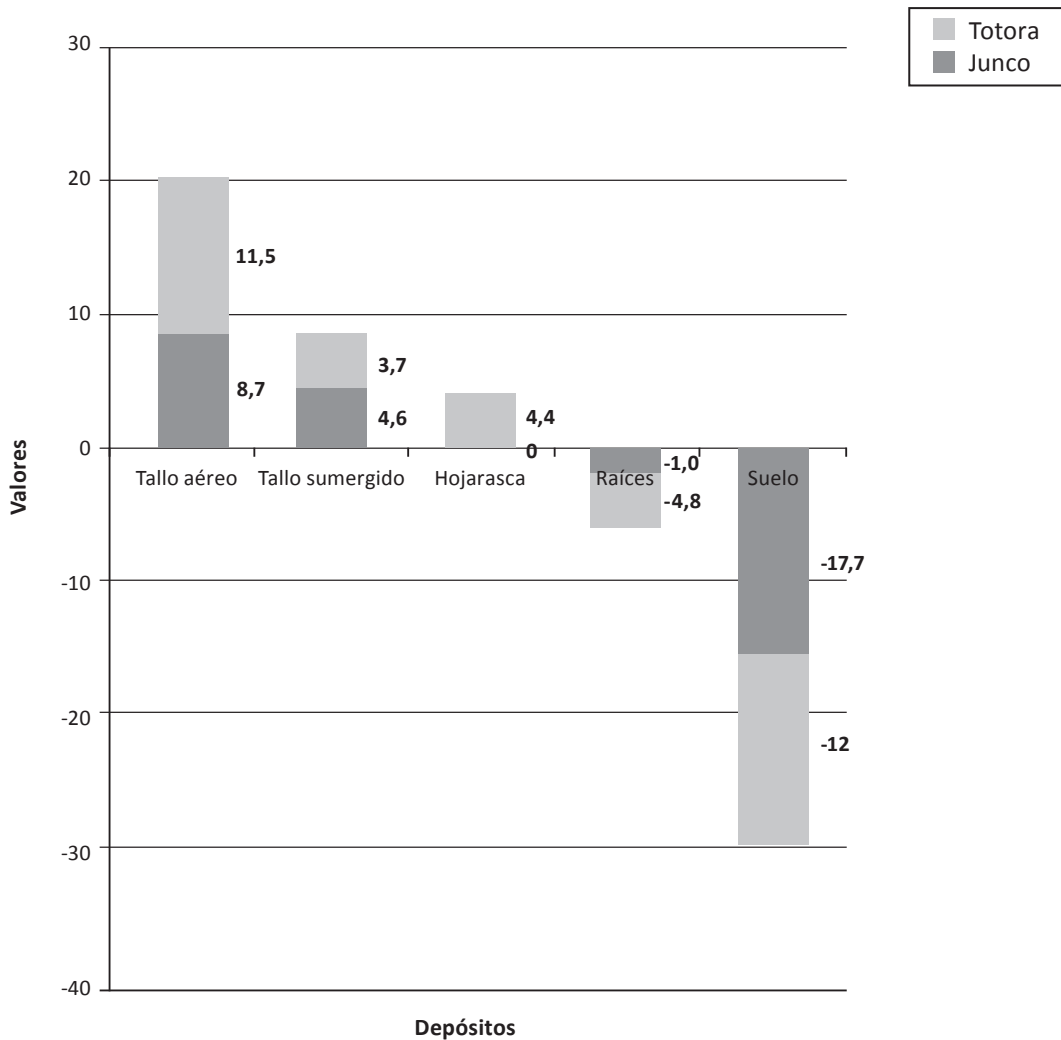


Figura 142. Relación entre el C aéreo y en el suelo a nivel de cada Depósito y Especie.



Discusión

Analizando los resultados obtenidos en la presente investigación con los resultados obtenidos por Palomino (2007), quien determinó el C almacenado en Totora con 28,9 tC/ha y Junco 18,6 tC/ha de los humedales de Puerto Viejo, distrito de Cañete, Lima; observamos un incremento en las reservas del carbono almacenado ya que nuestros resultados arrojan 36,4 tC/ha para totora y 31,9 tC/ha para junco, esto podría explicarse porque las evaluaciones que se realizaron fueron a nivel de los cinco depósitos de C, mientras que Palomino evaluó tres depósitos, además que el humedal Pantanos de Villa es un área natural protegida, por lo tanto la expresión de la biomasa y el C alcanzan sus máximos niveles, siendo las condiciones climáticas similares para estos dos ecosistemas costeros.

Asimismo se puede notar claramente que la totora tiene mayor capacidad para almacenar C en 36,4 tC/ha, tanto en los ecosistemas de costa, como en los ecosistemas andinos, esto lo puede afirmar Ttimpo (2012), quien determinó 12,7 tC/ha en el Lago Titicaca de la región Puno. La abrupta disminución puede explicarse a las condiciones climáticas distintas y a la estimación del C almacenado, ya que evaluaron el depósito aéreo y raíces de dicha especie vegetal. El sistema de uso de la tierra Totora tiene mayor fracción de conversión de C en el tallo floral aéreo, seguida por el rizoma-raíz y por último el tallo floral sumergido.

Para determinar en qué depósito de la Totora y Junco se almacena más el C, se comparan los resultados a de depósitos sobre el suelo y bajo el suelo, donde se muestra que en ambas especies el almacenamiento del carbono bajo el suelo es mayor comparado al almacenamiento de carbono sobre el suelo; si comparamos el carbono almacenado bajo el suelo, la especie Junco, tiene la capacidad de almacenar más frente a la especie Totora. En contraste si comparamos el C almacenado a nivel del

depósito sobre el suelo la especie Totora es la que más almacena comparado al Junco.

A nivel del depósito suelo determinamos 19,2 tC/ha para Totora, mientras que para la especie Junco es 13,2 tC/ha, comparado a lo obtenido por Palomino (2007), tenemos para Totora y Junco valores de 20,1 tC/ha y 11,1 tC/ha respectivamente; notamos claramente que la Totora de los humedales de Puerto Viejo almacena más cantidad de carbono orgánico en el suelo frente a los Pantanos de Villa, pero muy distinto de la especie Junco, la cual tiende a almacenar más carbono en este último ecosistema mencionado.

En un comparativo de captura de carbono aéreo con algunas especies herbáceas en el ecosistema amazónico, podemos observar que el maíz, pastos y arroz, almacenan 4,4 tC/ha, 2,3 tC/ha y 1,7 tC/ha respectivamente (Lapeyre *et al.*, 2004). Comparado con lo obtenido en Totora 19,2 tC/ha y Junco 13,2 tC/ha, son incrementos muy significativos, por lo que debería hacernos reflexionar si es válida la práctica de secar los humedales para instalar cultivos en limpio. Por otra parte, con estos resultados obtenidos, se evidencia que la Totora posee la mayor capacidad de almacenar carbono a nivel de humedales, situación que nos permite inferir que esta especie debería ser propuesta como muy importante para futuros trabajos de repoblamiento de los humedales en nuestro país.

En cuanto al contenido de materia orgánica presente en el suelo de ambas especies (Totora y Junco), se obtuvieron valores de 0,4% para ambas y comparado a lo reportado por Palomino (2007), la especie Junco a diferencia de la Totora, reporta un alto contenido de materia orgánica mayor de 4%, por ende demuestra un mayor contenido de carbono en el depósito suelo.



Conclusiones

- El carbono total almacenado en el sistema de Uso de la Tierra Humedal, representado por El Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa almacena 68,1 tC/ha.
- A nivel de especies Totorá tiene mayor capacidad de almacenar carbono con 36,4tC/ha mientras que Junco tiene capacidad para almacenar 31,9tC/ha.
- A nivel de depósitos conformantes del SUT humedal, el depósito suelo tiene capacidad para almacenar en total 35,5 tC/ha, mientras que el depósito aéreo puede almacenar en total 32,9tC/ha.
- A nivel de depósito por especie, en el Junco el depósito aéreo almacena 13,3 tC/ha y el depósito suelo 18,7tC/ha, mientras que en la Totorá el depósito aéreo almacena 19,2 tC/ha y el depósito suelo 16,8tC/ha.
- A nivel de depósitos sobre del suelo en el SUT humedal, el depósito tallo aéreo almacena 20,2 tC/ha, el depósito tallo sumergido 8,3tC/ha y el depósito hojarasca 4,4 tC/ha.
- A nivel de depósitos debajo del suelo en el SUT humedal, el depósito suelo almacena 29,2 tC/ha, y el depósito raíces almacena 5,8tC/ha.
- En el Junco el depósito hojarasca tiene un valor nulo.



Recomendaciones

- El Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa es un recurso de gran importancia económica, cultural, científica, recreativa y turística que debe ser conservado por los beneficios que posee.
- Se recomienda resembrar la especie de Totora ya que el nivel de carbono en la biomasa aérea de las especies herbáceas estudiadas indica que los más altos valores de almacenaje de carbono en su estructura corresponden a esta especie, así como los beneficios ambientales y su valor de uso artesanal para la fabricación de diversas artesanías.
- Se recomienda, que después de haber realizado la actividad de corte – cosecha, se debe colocar los residuos vegetales en lugares adecuados y utilizarlos para la realización del compost y humus de lombriz ya que serviría como materia prima para mejorar el suelo y el así se evitaría la eutrofización.
- Es recomendable realizar un manejo sostenido con las especies de flora de valor artesanal ya que con estas fibras se producen artesanías, desarrollando una constante dinámica de renovación en comparación con las otras especies que mantiene el carbono en su estructura vegetal.
- Se debe realizar concientización en la población aledaña y visitante para la conservación, valoración y respeto del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa mediante la difusión de charlas, materiales informativos, etc.
- La Municipalidad de Lima y la Municipalidad de Chorrillos deben realizar campañas de limpieza del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa y así concientizando a la población de los beneficios que nos brinda y asegurar su uso racional.
- Realizar más estudios de cuantificación de carbono con las mismas especies existentes en otros humedales del país con la finalidad de establecer comparaciones entre especies y otros sitios tomando en cuenta los diferentes factores ambientales que puedan influir.



Revisión Bibliográfica

- Brown, P.; Cabarle, B. y Livernash, R. 1997. Carbon counts: Estimating climate change mitigation in forestry projects. Estados Unidos, World Resources Institute. 25 p.
- Dixon, K. y Krankina, N. 1995. Can the terrestrial biosphere be managed to conserve and sequester carbon? En: Carbon sequestration in the biosphere: Processes and products. NATO ASI Series. Series 1. Global Environmental Change, 33, 153-179.
- Eduarte, E. y Segura, M. 1998. Determinación de carbono utilizando la calorimetría. In Ciencias Ambientales. N° 15. Costa Rica.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2001. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 167 p.
- Lapeyre, T.; Alegre, J. y Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú. UNALM. 61 p.
- Palomino, D. 2007. Estimación del servicio Ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú. UNMSM. 145 p.
- Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). 2000. Uso de la tierra, cambio del uso de la tierra. Informe especial. Montreal, Canadá. 24 p.
- RAMSAR. 2012. Manual de la convención de Ramsar. Consultado el 20 de abril de 2013. Tomado de: <http://www.ramsar.org/pdf/cop11/tourism-publication/Ramsar.pdf>
- Stolk, M.; Verweij, P.; Stuij, M.; Baker, C. y Oosterberg, W. 2006. Valoración socioeconómica de los humedales en América Latina y el Caribe. Wetlands International. Los países bajos. 36 p.
- Ttimpo, E. 2012. Estimación de la captura en la Reserva Nacional del Titicaca – Puno. Tesis de Mag. Sc. Puno, Perú. UNALM. 99 P.
- Walkley, A.; Black, A.I. 1934. An examination of the Degtjoreff method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. Soil Science 37:29-38.



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



METODOLOGÍA PARA EL INVENTARIO DE CARBONO TOTAL ALMACENADO

Esta sección tiene la finalidad de orientar a investigadores interesados en realizar futuros trabajos de inventario de carbono total almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra SUT a nivel nacional, la presente metodología tiene las siguientes ventajas:

- Permite muestrear los cinco depósitos de carbono del ecosistema en una sola parcela.
- El tamaño total de la parcela es de 2000m², cuando la mayoría de parcelas de este tipo tienen dimensiones cercanas a los 10 000m².
- El costo es menor comparado con otros diseños de parcela que se utilizan actualmente.
- Utiliza métodos de medición directos (con muestras destructivas) e indirectos (no destructivos).
- Cumple con todas las exigencias y términos para la evaluación de carbono del IPCC.

Esta sección, solo comprende las explicaciones para la toma de datos en campo, es decir

trabajos en la parcela de toma de muestras, ya que los pasos anteriores y posteriores han sido detallados en la sección de metodología y resultados del presente documento.

En cada parcela de muestreo, se determinará el carbono total almacenado que resulta de la sumatoria del carbono presente en cada uno de los cinco depósitos del ecosistema, se emplea la siguiente fórmula:

$$CT = CBAT + CS + CRF$$

Dónde:

- CT = Carbono total del SUT (tC/ha).
 CBAT = Carbono en la biomasa aérea
 CS = Carbono en el suelo
 CRF = Carbono en las raíces finas

La biomasa aérea total en un SUT, resulta de la sumatoria de los tres depósitos contenidos sobre el suelo; en la parcela de muestreo están considerados el depósito arbóreo, depósito arbustivo herbáceo y el depósito hojarasca y madera muerta, donde incluyen troncos y



ramas caídas muertas (TC), árboles muertos en pie (AMP), tocones (T), por cuestiones metodológicas están separadas.

$$\text{BAT} = \text{BA} + \text{BAH} + \text{BHMS} + \text{BTCAM}$$

Dónde:

- BAT = Biomasa aérea total (t/ha).
BA = Biomasa arbórea.
BAH = Biomasa arbustiva y herbácea.
BHMS = Biomasa de la hojarasca, materia seca.
BTCAM= Biomasa de troncos caídos, árboles muertos.

1. Delimitación de la parcela

Previamente, debemos realizar la selección de clústeres y parcelas de muestreo, en base al total de la población a evaluar, cuando se haya concluido con el mapa de distribución de parcelas, conjuntamente con el equipo de evaluación, se procede a instalar la parcela, para ello se ubica el punto central, también denominada zona intocable (Z), que será el lugar en donde se construya la calicata, luego con la ayuda de un jalón, y teniendo el norte magnético de la brújula, proyectamos una línea a 45°, con la finalidad de obtener el rumbo por donde se delimitará los primeros 20m de la línea base, de la misma forma hacemos para el otro extremo, completando así los 40m. Continuamos hasta cerrar el perímetro

de la parcela 40x50m², que contendrá las sub parcelas para la biomasa aérea, la biomasa radicular y carbono en el suelo.

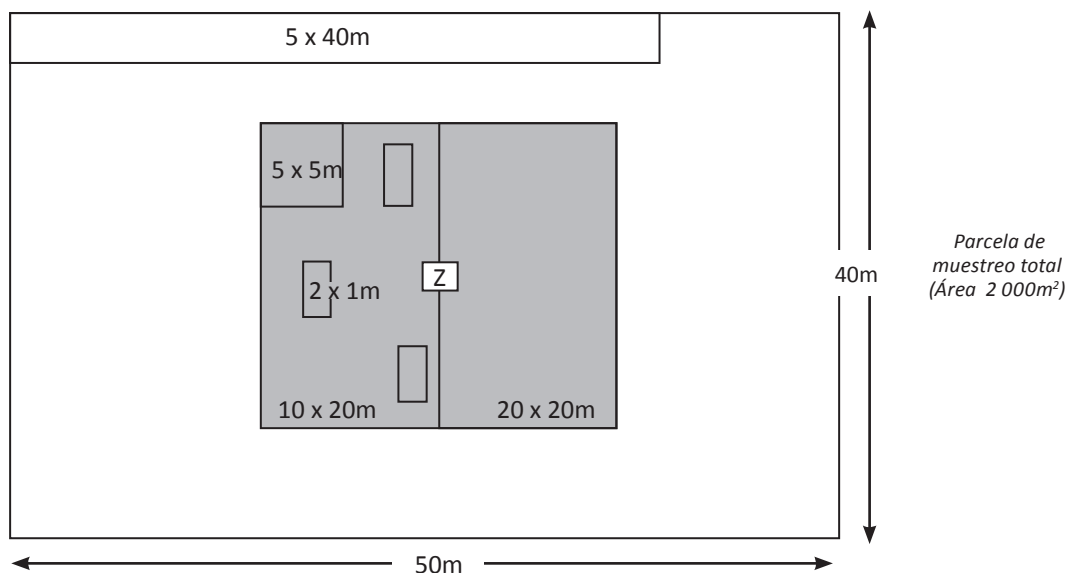
Dentro de la parcela de muestreo se establecerán cinco sub parcelas; el tamaño de éstas estará en función del componente a evaluar; la sub parcela de 20x20m², se ubica en la zona central, nos servirá para la muestra arbórea, arbustiva y herbácea. Además demarcamos la sub parcela de 10x20m² y la sub parcela de 5x5m². Continuando, se ubican los 3 cuadrantes de 2x1m² de manera aleatoria para la sub parcela de herbáceas y hojarasca. Finalmente ubicamos en un extremo la sub parcela ó transecto de 5x40m² para la biomasa de madera muerta y troncos secos.

2. Medición de la biomasa en las diferentes sub parcelas

2.1. Medición de la biomasa en el depósito arbóreo

Paso 1: Árboles con DAP de 30cm a más

- Se emplea la parcela de 50x40m, se utiliza el formato N° 1.
- Se ubica los árboles y se mide el DAP (a 1,30m de la base del árbol), para ello se utiliza la cinta diamétrica, o la forcípula según convenga.





- Estimación de la altura; debemos distanciarnos horizontalmente a 15m de la base del árbol como mínimo para efectuar la estimación de la altura total. Por otro lado, en caso de pastizales y cultivos en áreas despejadas, se utiliza el clinómetro u hipsómetro para obtener la altura de los árboles.
- Identificación de la especie: Se anota el nombre común, esto se difiere según la zona donde se trabaja. De preferencia se debe anotar otros nombres más cercanos, con la finalidad de determinar el nombre científico correspondiente de este individuo evaluado.

Paso 2: Árboles con DAP entre 10cm a 29,9cm

- Se emplea la sub parcela de 20x20m, se utiliza el formato N° 2.
- Se ubica los árboles y se mide el DAP, para ello se utiliza la cinta diamétrica, o forcípula según convenga.
- Estimación de la altura: debemos distanciarnos 10m de distancia de la base del árbol como mínimo para efectuar la estimación de la altura total. Por otro lado, en caso de pastizales y cultivos en áreas despejadas, se utiliza el clinómetro u hipsómetro para obtener la altura de los árboles.
- Identificación de la especie: se anota el nombre común, normalmente difiere según la zona donde se trabaja. De preferencia se debe anotar otros nombres cercanos con la finalidad de determinar el nombre científico correspondiente del individuo que se esta evaluando.

Paso 3: Árboles con DAP entre 5cm y 9,9cm

- Se emplea la sub parcela de 10x20m, se utiliza el formato N° 3.
- Medición del diámetro a la altura del pecho DAP.
- Se ubica los árboles y se mide el DAP, para ello se utiliza la cinta diamétrica o la forcípula según convenga.
- Estimación de la altura: para ello nos

distanciamos 8m de la base del árbol como mínimo para efectuar la estimación de la altura total. Por otro lado, en caso de pastizales y cultivos en áreas despejadas, se utiliza el clinómetro u hipsómetro para obtener la altura de los árboles.

- Identificación de la especie; se anota el nombre común, esto se difiere según la zona donde se trabaja. De preferencia se debe anotar otros nombres cercanos con la finalidad de determinar el nombre científico correspondiente de este individuo evaluado.

Paso 4: Árboles con DAP entre 1,5cm y 4,9cm

- Se emplea la sub parcela de 5x5m, se utiliza el formato N° 4.
- Medición del diámetro a la altura del pecho DAP.
- Se ubica los árboles y se mide el DAP, para ello utiliza el vernier.
- Se utiliza la regla telescópica o la wincha de 5m.
- Identificación de la especie; se anota el nombre común, esto se difiere según la zona donde se trabaja. De preferencia se debe anotar otros nombres cercanos con la finalidad de determinar el nombre científico correspondiente para cada individuo evaluado.

2.2. Medición de la biomasa en el depósito arbustivo herbáceo

Paso 5: Vegetación arbustiva - herbácea

- Se emplea la sub parcela de 2x1m² y se utiliza el formato N° 6.
- En los tres cuadrantes de 2x1m², previamente establecidas se cortan a ras del suelo todos los individuos menores a 1,49cm de diámetro, previa identificación de nombres comunes, se llena en un saco y se toma el peso total, de este se toma una sub muestra de 300g aproximadamente para ser trasladado al laboratorio.
- En el caso de pastizales se corta toda la vegetación y se coloca en un plástico grande, para separar lo vivo de lo muerto.



2.3. Medición de la biomasa en el depósito madera muerta y hojarasca

Paso 6: Hojarasca y detritos

- Se emplea la sub parcela de $2 \times 1 \text{m}^2$ para la hojarasca, para ello se utiliza el formato N° 7.
- En los cuadrantes de $2 \times 1 \text{m}^2$, después de haber cortado toda la vegetación viva, se recoge toda la hojarasca y detritos que se encuentran, se coloca en un saco y se toma el peso total, de este se saca una sub muestra de 500g aproximadamente para ser llevada al laboratorio.

Paso 7: Árboles muertos en pie (AMP), troncos caídos (TC) ambos mayores de 5cm de diámetro, tocones mayores de 10cm de diámetro (T)

- Dentro de la parcela de $40 \times 50 \text{m}^2$ se instala un transecto de $5 \times 40 \text{m}^2$, para ello se utiliza el formato N° 5.

- En el transecto de $5 \times 40 \text{m}^2$, se mide el diámetro, a los 50cm en los tocones, el DAP en el caso de árboles muertos en pie, y para los troncos caídos, se mide el diámetro en los extremos y la longitud del tronco o también puede hacerse una medición del diámetro al medio del tronco y la longitud. A todos se les mide la longitud u altura según convenga, y se determina su estado de conservación de la madera.

2.4. Evaluación de la biomasa en el depósito palma aceitera

- Se emplea la parcela de $40 \times 50 \text{m}^2$, para ello se utiliza el formato N° 8.
- Se mide la biomasa de las hojas vivas, hojas muertas, epífitos, vegetación arbustiva herbácea, según los pasos descritos en el formato.

FORMATO N° 01
Evaluación de árboles de 30cm a más de DAP (parcela de 40x50)m²

Tipo uso del suelo: _____
 Región: _____ Caserío: _____ Coordenadas: _____ / _____
 Propietario/fundo: _____ / _____ Área: _____ Ha
 Fecha: _____ Hora de inicio y finalización: _____ / _____

N°	DAP (cm)		Altura (m)	Especie	N°	DAP (cm.)		Altura (m)	Especie
	Mayor	Menor				Mayor	Menor		
1					26				
2					27				
3					28				
4					29				
5					30				
6					31				
7					32				
8					33				
9					34				
10					35				
11					36				
12					37				
13					38				
14					39				
15					40				
16					41				
17					42				
18					43				
19					44				
20					45				
21					46				
22					47				
23					48				
24					49				
25					50				

Observaciones:



FORMATO N° 02

Evaluación de individuos con DAP entre 10cm a 29,9cm (parcela de 20x20)m²

Tipo uso del suelo: _____

Región: _____ Caserío: _____ Coordenadas: _____ / _____

Propietario/fundo: _____ / _____ Área: _____ Ha

Fecha: _____ Hora de inicio y finalización: _____ / _____

N°	DAP (cm)		Altura (m)	Especie	N°	DAP (cm)		Altura (m)	Especie
	Mayor	Menor				Mayor	Menor		
1					26				
2					27				
3					28				
4					29				
5					30				
6					31				
7					32				
8					33				
9					34				
10					35				
11					36				
12					37				
13					38				
14					39				
15					40				
16					41				
17					42				
18					43				
19					44				
20					45				
21					46				
22					47				
23					48				
24					49				
25					50				

Observaciones:



FORMATO N° 03

Evaluación de individuos con DAP entre 5cm a 9,9cm (Parcela de 5x5)m²

Tipo uso del suelo: _____

Región: _____ Caserío: _____ Coordenadas: _____ / _____

Propietario/fundo: _____ / _____ Área: _____ Ha

Fecha: _____ Hora de inicio y finalización: _____ / _____

N°	DAP (cm.)		Altura (m)	Especie	N°	DAP (cm.)		Altura (m)	Especie
	Mayor	Menor				Mayor	Menor		
1					26				
2					27				
3					28				
4					29				
5					30				
6					31				
7					32				
8					33				
9					34				
10					35				
11					36				
12					37				
13					38				
14					39				
15					40				
16					41				
17					42				
18					43				
19					44				
20					45				
21					46				
22					47				
23					48				
24					49				
25					50				

Observaciones:



FORMATO N° 04

Evaluación de individuos con DAP entre 1,5cm a 4,9cm (Parcela de 5x5)m²

Tipo uso del suelo: _____

Región: _____ Caserío: _____ Coordenadas: _____ / _____

Propietario/fundo: _____ / _____ Área: _____ Ha

Fecha: _____ Hora de inicio y finalización: _____ / _____

N°	DAP (cm)		Altura (m)	Especie	N°	DAP (cm)		Altura (m)	Especie
	Mayor	Menor				Mayor	Menor		
1					26				
2					27				
3					28				
4					29				
5					30				
6					31				
7					32				
8					33				
9					34				
10					35				
11					36				
12					37				
13					38				
14					39				
15					40				
16					41				
17					42				
18					43				
19					44				
20					45				
21					46				
22					47				
23					48				
24					49				
25					50				

Observaciones:

FORMATO N° 05

Evaluación de troncos caídos, árboles muertos en pie y tocones (Parcela de 40x5)m²

Tipo uso del suelo: _____

Región: _____ Caserío: _____ Coordenadas: _____/_____

Propietario/fundo: _____/_____ Área: _____ Ha

Fecha: _____ Hora de inicio y finalización: _____/_____

N°	Diámetro (cm)		Long. (m.)	Tipo	Categoría	N°	Diámetro (cm)		Long. (m.)	Tipo	Categoría
	Mayor	Menor					Mayor	Menor			
1						25					
2						26					
3						27					
4						28					
5						29					
6						30					
7						31					
8						32					
9						33					
10						34					
11						35					
12						36					
13						37					
14						38					
15						39					
16						40					
17						41					
18						42					
19						43					
20						44					
21						45					
22						46					
23						47					
24						48					

Categoría: troncos caídos (TC), árboles muertos en pie (AMP) y tocones (T)

Tipo d: duro, i: intermedio, p: podrido

Observaciones:



FORMATO N° 06

Evaluación de la biomasa herbácea viva (Parcela de 2x1)m²

Tipo uso del suelo: _____

Región: _____ Caserío: _____ Coordenadas: _____/_____

Propietario/fundo: _____/_____ Área: _____ Ha

Fecha: _____ Hora de inicio y finalización: _____/_____

Vegetación no arbórea ($\leq 1,5$ cm. de diámetro): sub. parcela (2x1)m ²				
N° Cuadrante	Peso Total Muestra* (k)	Peso sub muestra (k)	Especie Nombre Común	Especie Nombre Científico
1				
2				
3				
4**				

* Peso de la muestra húmeda

** Opcional

Observaciones:

FORMATO N° 07
Evaluación de hojarasca y detritos (Parcela de 2x1)m²

Tipo uso del suelo: _____
 Región: _____ Caserío: _____ Coordenadas: _____ / _____
 Propietario/fundo: _____ / _____ Área: _____ Ha
 Fecha: _____ Hora de inicio y finalización: _____ / _____

Hojarasca y detritos: sub. parcela (2x1)m ²			
N° Cuadrante	Peso Total Muestra* (k)	Peso sub muestra (k)	Descripción
1			
2			
3			
4**			

* Peso de la muestra húmeda

** Opcional

Observaciones:



FORMATO N° 08

Evaluación de los individuos de palma aceitera (parcela de 40x50)m²

Tipo uso del suelo: _____

Región: _____ Caserío: _____ Coordenadas: _____ / _____

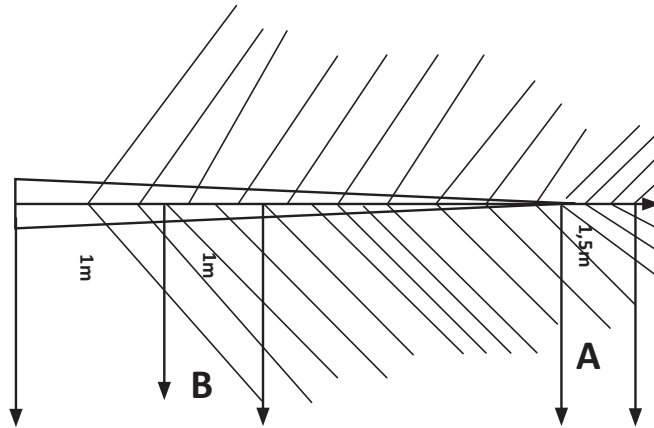
Propietario/fundo: _____ / _____ Área: _____ Ha

Fecha: _____ Hora de inicio y finalización: _____ / _____

N°	DAP (cm)		Altura (m)	Especie	N°	DAP (cm)		Altura (m)	Especie
	Mayor	Menor				Mayor	Menor		
1					26				
2					27				
3					28				
4					29				
5					30				
6					31				
7					32				
8					33				
9					34				
10					35				
11					36				
12					37				
13					38				
14					39				
15					40				
16					41				
17					42				
18					43				
19					44				
20					45				
21					46				
22					47				
23					48				
24					49				
25					50				

Observaciones:

Evaluación de la biomasa en hojas vivas de palma aceitera (Parcela de 4x50)m²



Medición de los parámetros biométricos de hojas vivas de palma aceitera Se elige la hoja intermedia, de preferencia de corte fresco y se toma medidas de 5 hojas vivas							
Nº Repetición	Ancho (cm)	Espesor (mm)	Longitud (m)	Peso Total Raquis (A + B) (k)	Peso total de Foliolos (A+B) (k)	Peso Sub muestra foliolos (A + B) (k)	Peso Sub muestra Raquis (A + B) (k)
1							
2							
3							
4							
5							

Biomasa aérea de epífitos que crecen en el tallo de la palma aceitera

Medición de la vegetación no arbórea ($\leq 1,5$ cm de diámetro): en 2m de altura del tallo de la palma aceitera				Medición de la hojarasca y detritos en 2m de altura	
Densidad de epífitos	Peso sub Muestra (k)	Peso muestra húmeda (k)	Especies	Peso sub Muestra (k)	Peso muestra húmeda (k)
Ralo					
Medio					
Denso					

De preferencia ubicar 3 individuos con presencia de epífitos en densidad Ralo, Medio y Denso.



Medición de la biomasa arbustiva y herbácea en la parcela de (2x1)m²

Nº Cuadrante	Peso Total de la muestra húmeda (k)	Peso sub muestra húmeda (k)	Especies
1			
2			
3			

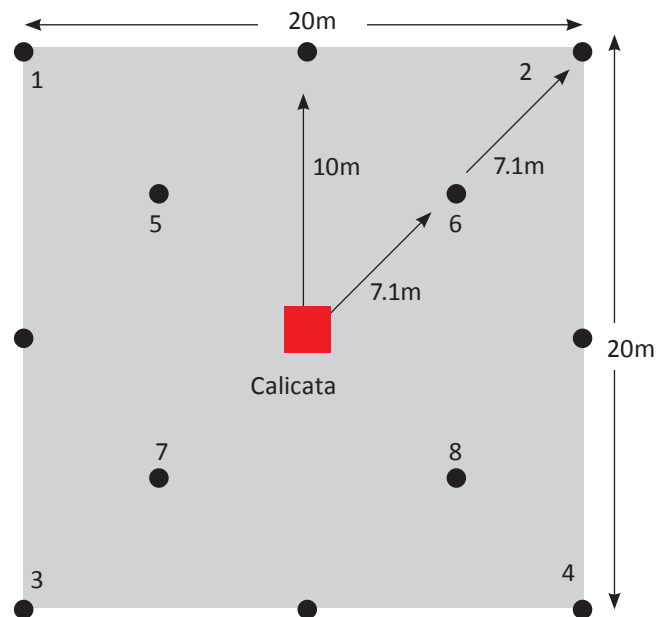
Medición de las hojas caídas muertas de palma aceitera (Parcela de 40x50)m²

Ruma de Hojas	Nº total de hojas	Peso de 1 hoja (k)	Ruma de Hojas	Nº total de hojas	Peso de 1 hoja (k)
1			11		
2			12		
3			13		
4			14		
5			15		
6			16		
7			17		
8			18		
9			19		
10			20		

Observaciones:



METODOLOGIA PARA EVALUACION EN EL SUELO



En cada parcela después de haber delimitado la sub parcela central (20x20m), se va a ubicar la parcela central que tiene 1x1x2m de profundidad antes de excavar el hoyo se acordará una área de 40cm de ancho que permanecerá como intangible, que servirá para la toma de muestras para densidad aparente y de raíces finas, luego para el carbono en el suelo se ubican los puntos 5,6,7 y 8 para ello se toma en cuenta la distancia media (7,1m) entre los vértices de la calicata y el límite de la sub parcela.

A. Medición de Materia Orgánica en el Depósito Suelo:

Luego, tomando en cuenta la distribución de la sub parcela central, en los puntos 5,6,7 y 8, se van a construir calicatas de 20x20x50cm, con

la ayuda de una pala recta y una pala pequeña, para tomar las muestras de suelo, de acuerdo con las siguientes indicaciones:

Muestra 1: de 0 a 10cm de profundidad

Muestra 2: de 10 a 30cm de profundidad

Muestra 3: de 30 a 50cm de profundidad

Muestra 4: de 50 a 100cm de profundidad (con ayuda de un barreno).

Para homogenizar la muestra se deberá tener 3 recipientes diferentes, en los cuales se irá juntando las muestras de suelo colectadas, finalmente se extrae de cada uno de ellos una muestra de 1k la misma que se llevará al laboratorio debidamente codificado.



B.- Medición de la Densidad Aparente:

Para ello debemos construir la calicata central, se trabaja en base a la medida de 1x1x1m una vez concluida la calicata, se procede a colocar los anillos en las paredes laterales de la forma como se detalla en la figura:

- Primer anillo; 10cm
- Segundo anillo: 20cm
- Tercer anillo; 40cm
- Cuarto anillo; 75cm
- Quinto anillo; 100cm

Empezar la toma de muestras desde la parte interior de la calicata. Luego estas muestras de suelo se extraen de los cilindros y se colocan en bolsas debidamente codificadas para ser llevadas al laboratorio.



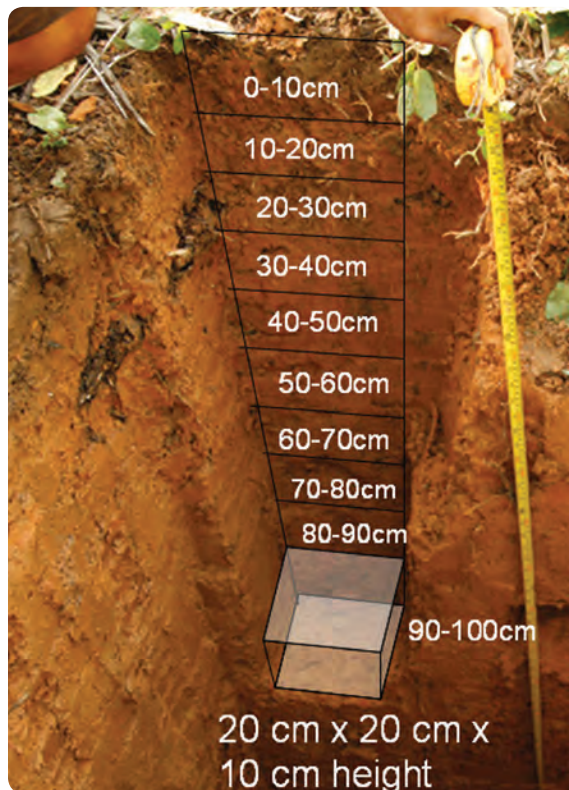
C.- Medición de la biomasa en el depósito Raíces:

B.1 Raíces Finas

En la pared central de la calicata, zona que estaba protegida como intangible, se procede a hacer pequeñas calicatas de 20x10cm. hasta llegar a 1m de profundidad, En total se colectarán 10 muestras se colocan en bolsas debidamente codificadas, para ser llevadas a una zona en donde se va a separar las raíces finas del suelo (mediante un lavado del suelo), para ello se utilizan tamices de diferentes tamaños. Recuerda que el producto es tener las raíces finas para ser llevadas luego al laboratorio.

B.2 Raíces Gruesas

Se procede a recoger las raíces encontradas durante la fase de construcción de la calicata central, y se procede con las mediciones y pesaje para luego ser llevadas al laboratorio.





Preparación de materiales y equipos en el campo.



Preparación de la parcela y sub parcelas.



Medición de Diámetro a la Altura del Pecho DAP.



Medición de diámetro de latizales bajos, utilizando el vernier.



Medición de la altura total de los árboles.



Medición del peso de la hojarasca.



Reconocimiento de especies en nombre local.

Medición de la biomasa aérea total Fase de campo



Toma de muestras de madera muerta.



Toma de muestras de detritos y hojarasca.



Toma de muestras destructivas de herbáceas vivas.



Ubicación de parcelas por muestreo aleatorio al azar.



Medición de biomasa de árboles muertos, utilizando la forcípula.



Preparación de las parcelas.



Medición de Diámetro a la Altura del Pecho DAP.



Medición de la altura.



Medición de la biomasa en hojas vivas.



Medición de biomasa de epifitos.



Medición de la biomasa en hojas vivas.

Medición de la biomasa en palma aceitera Fase de campo



Medición de la biomasa muerta.



Biomasa de hojas muertas.



Toma de muestras de herbáceas vivas y hojarasca.



Pesado de hojas de palma aceitera.



Ubicación de la sub parcela y calicata central.



Materiales y equipos.



Preparación de la calicata central.



Calicata central culminada 2 x 1 m de profundidad.



Toma de muestras para medir la densidad básica



Muestra de suelo debidamente codificadas.



Toma de muestras de raíces en calicatas auxiliares.

Medición de la biomasa en el suelo Fase de campo



Limpieza y selección de muestra de suelos.



Toma de muestra de suelo en calicatas auxiliares II.



Toma de muestra de suelo en calicatas auxiliares I.



Toma a profundidades de 0 a 10, 10 a 30 y 30 a 50 cm.



Limpieza y selección de muestra de raíces finas.

Procesamiento de Muestras en la Fase de Laboratorio

Biomasa aérea



Codificado de muestras en el laboratorio.



Pesado de las muestras en el laboratorio.



Secado de las muestras en la estufa a 75°C.



Molido de las muestras secas.



Calcinación de las muestras en la mufia.

Biomasa en raíces



Lavado de raíces finas fase I.



Lavado de raíces finas fase II.



Tamización de raíces finas.



Selección de raíces finas.



Secado de muestras a 40° C.



Pesado de raíces secas.

Esta investigación nos presenta evidencias de que con el actual uso que se le está dando al bosque peruano, estamos perdiendo la biomasa, la capacidad para regenerar y de volver a su estado fisiográfico natural, luego de intervenciones severas destruyéndose la diversidad biológica y favoreciendo al cambio climático, los resultados nos permitirán mejorar el conocimiento sobre la dinámica del carbono en el ecosistema, de tal manera que permitan crear bases para el manejo forestal sostenible y la política de pagos por servicios ambientales en el país. Sin embargo, esta es solo una contribución desde la investigación y para surtir el efecto deseado es necesario que los actores público, privado y sociedad involucrada con la conservación del bosque peruano tomen conciencia de la gravedad de la situación actual y se formulen medidas de gestión apropiadas.

ISBN: 978-9972-44-028-1



Financiamiento de la publicación:

**Programa Presupuestal 0130 “Competitividad y
Aprovechamiento Sostenible de los recursos forestales y de
fauna silvestre**