



**Facultad de
Ciencias Forestales**

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ECOLOGÍA DE
BOSQUES TROPICALES

TESIS

**“DINÁMICA DEL CARBONO DE RAICES FINAS EN EL BOSQUE DE TERRAZA
MEDIA Y BOSQUE DE VARILLAL SECO DE LA RESERVA NACIONAL
ALLPAHUAYO MISHANA, IQUITOS, PERÚ”**

Tesis para optar el título de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales

Autor

Diego Martin Alejandro Aguilar Flores

Iquitos - Perú

2015



UNAP

Facultad de
Ciencias Forestales

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DE TESIS Nº 661

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis presentado por el Bachiller **DIEGO MARTIN ALEJANDRO AGUILAR FLORES**, titulada: **"DINAMICA DEL CARBONO DE RAICES FINAS EN EL BOSQUE DE TERRAZA MEDIA Y BOSQUE DE VARILLAL SECO DE LA RESERVA NACIONAL ALLPAHUAYO MISHANA, IQUITOS, PERÚ"** formuladas las observaciones y analizadas las respuestas, lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de:

BUENO

En consecuencia queda en condición de ser calificado:

APTO

Y, recibir el Título de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales.

Iquitos, 11 de Setiembre 2015

Ing. Abraham Cabudivo Moena, Dr.
Presidente

Ing. Benjamín Soria Solano
Miembro

Ing. Ricardo Reátegui Amasifuén, M.Sc.
Miembro

Ing. Jorge Miguel Espiritu Pezantes, M.Sc.
Asesor

Conservar los bosques benefician a la humanidad ¡No lo destruyas!

Ciudad Universitaria "Puerto Almendra", San Juan, Iquitos-Perú

www.unapiquitos.edu.pe

Teléfono: 065-225303

TESIS

**“DINÁMICA DEL CARBONO DE RAICES FINAS EN EL BOSQUE DE
TERRAZA MEDIA Y BOSQUE DE VARILLAL SECO DE LA RESERVA
NACIONAL ALLPAHUAYO MISHANA, IQUITOS, PERÚ”.**

(Aprobado el día 11 de septiembre del 2015 según Acta de Sustentación N° 661)

MIEMBROS DEL JURADO Y ASESOR



Ing. ABRAHAN CABUDIVÓ MOENA, Dr.

PRESIDENTE



Ing. RICARDO REATEGUI AMASIFUEN, M.Sc.

MIEMBRO



Ing. BENJAMIN SORIA SOLANO.

MIEMBRO



Ing. JORGE M. ESPÍRITU PEZANTES, M.Sc.

ASESOR

DEDICATORIA

A **DIOS**, por concederme el regalo preciado de la vida, y darme la fortaleza en cada momento: *“Y todo lo que hagáis, hacedlo de corazón, como para el Señor y no para los hombres”* Col 3:23.

A mis amados padres, **Dionicio y Liliana** por todo el apoyo incondicional en mi superación y formación, tanto en lo profesional como en lo personal.

A mis Hermanos **Adrián y Danilo**, y a mis **familiares** que también son felices con los logros y superación que uno obtiene.

AGRADECIMIENTO

Al Blgo. Jhon Del Aguila Pasquel por su asesoramiento, dirección y enseñanza en el desarrollo de la tesis.

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), por el apoyo logístico y profesional a cargo de su staff de investigadores en el programa PROBOSQUES y también por parte del personal encargado del Centro de Investigación Allpahuayo Mishana.

A todas las siguientes personas por el apoyo en el trabajo de campo y laboratorio:
Ino Sarina Huamán Freitas, Geancarlo Cohello Huaymacari, Giovanna Gonzales Grández, Franklin Ruiz Grandez, Pool Erazo Arévalo, Katherine Elias Da silva, Gerardo Flores LLampazo, Valeria Saldaña Huayllahua, Cinthya Díaz Córdova, Enrique López Lavajos, Mirko Doza Saboya, José Reyna Huaymacari, David Reyna Huaymacari, Giana Curto Utia, Paolo Díaz Narvaes y Fredy Vásquez Lazo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE	i
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. EL PROBLEMA	2
2.1. Descripción del problema	2
2.2. Definición del problema	3
III. HIPÓTESIS	4
3.1. Hipótesis general	4
3.2. Hipótesis alterna	4
3.3. Hipótesis Nula	4
IV. OBJETIVOS	5
4.1. Objetivo general	5
4.2. Objetivos específicos	5
V. VARIABLES	6
5.1. Identificación de variables, indicadores e índices.	6
5.2. Operacionalización de variables.	6

VI. MARCO TEÓRICO	7
6.1. Calentamiento global y ciclo del carbono	7
6.2. Stock y flujos de carbono	9
6.3. Relación de biomasa y carbono	10
6.4. Raíces finas	11
6.5. Variables climáticas	12
VII. MARCO CONCEPTUAL	14
VIII. MATERIALES Y MÉTODO	16
8.1. Área de estudio	16
8.2. Zona de muestreo	16
8.3. Materiales y equipo	19
8.4. Método	20
8.4.1. Tipo y nivel de investigación	20
8.4.2. Diseño estadístico	20
8.4.3. Análisis estadístico	22
8.4.4. Procedimiento	24
IX. RESULTADOS	30
9.1. Stock de carbono de raíces finas en el bosque de terraza media (Alp A) y bosque de varillal seco (Alp C).	30
9.2. PPN de carbono de raíces finas en el bosque de terraza media (Alp A) y bosque de varillal seco (Alp C).	33
9.3. Relación entre la PPN de carbono de raíces finas y la precipitación en el bosque de terraza media (Alp A) y bosque de varillal seco (Alp C).	37
9.4. Relación entre la PPN de carbono de raíces finas y la temperatura en el bosque de terraza media (Alp A) y bosque de varillal seco (Alp C).	39

X. DISCUSIÓN	41
XI. CONCLUSIONES	46
XII. RECOMENDACIONES	47
XIII. BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXO	55

LISTA DE CUADROS

N°	Titulo	Pág.
1	Variables, indicadores e índices.	6
2	Combinación de las muestras para el bosque de terraza media como para el bosque de varillal seco, con sus respectivas repeticiones en diferentes tiempos.	21
3	Codificación de cada muestra extraída.	26
4	Stock total de carbono de raíces finas en el bosque “Alp A”.	30
5	Stock total de carbono de raíces finas en el bosque “Alp C”.	31
6	Prueba de t-student para el stock de carbono de raíces finas en los dos tipos de bosques	32
7	PPN de carbono de carbono de raíces finas en los dos tipos	33
8	Prueba de t-student para la PPN de carbono de raíces finas en los dos tipos de bosques.	34
9	Prueba de Friedman para la PPN de carbono de raíces finas entre diferentes periodos de muestreo del bosque de “Alp A” y el bosque de “Alp C”.	36
10	Prueba de correlación de Pearson entre la PPN y la precipitación en el bosque de “Alp A” y “Alp C”.	38
11	Prueba de correlación de Pearson entre la PPN y la temperatura en el bosque de “Alp A” y “Alp C”.	40
12	Peso seco estimado hasta el tiempo 12 para cada experimento de cada tipo de bosque.	59
13	PPN de carbono de raíces finas obtenido en el primer muestreo del bosque de “Alp A”.	61
14	PPN de carbono de raíces finas obtenido en el primer muestreo del bosque de “Alp C”.	62
15	PPN de carbono de raíces finas obtenido en el segundo muestreo del bosque de “Alp A”.	63

16	PPN de carbono de raíces finas obtenido en el segundo muestreo del bosque de “Alp C”.	64
17	PPN de carbono de raíces finas obtenido en el tercer muestreo del bosque de “Alp A”.	65
18	PPN de carbono de raíces finas obtenido en el tercer muestreo del bosque de “Alp C”.	66
19	PPN de carbono de raíces finas obtenido en el cuarto muestreo del bosque de “Alp A”.	67
20	PPN de carbono de raíces finas obtenido en el cuarto muestreo del bosque de “Alp C”.	68
21	Datos de precipitación registrados en la estación climatológica de Moralillo del año 2014.	69
22	Datos de precipitación registrados en la estación climatológica de Moralillo del año 2015.	70
23	Formato de laboratorio para el peso seco de muestras de raíces.	71
24	Formato de campo para la extracción de raíces, y anotación de temperatura del suelo.	73

LISTA DE FIGURAS

N°	Titulo	Pág
1	a) Elaboración de las canastillas con el tubo de plástico como molde. b) las canastillas elaboradas para ser llevadas al campo.	24
2	Ubicación de las canastillas en las sub parcelas.	25
3	Stock total de carbono por tipo de bosque.	32
4	PPN de carbono de raíces finas en dos tipos de bosque, en diferentes periodos de muestreo.	34
5	Variación de la PPN de carbono de raíces finas entre diferentes periodos de muestreos en cada tipo de bosque.	35
6	Diagrama de dispersión de la PPN de carbono de raíces finas con respecto a la precipitación en el bosque "Alp A".	37
7	Diagrama de dispersión de la PPN de carbono de raíces finas con respecto a la precipitación en el bosque "Alp C".	37
8	Diagrama de dispersión de la PPN de carbono de raíces finas con respecto a la temperatura en el bosque "Alp A".	39
9	Diagrama de dispersión de la PPN de carbono de raíces finas con respecto a la temperatura en el bosque "Alp C".	39
10	Mapa de ubicación del bosque de "Alp A" y "Alp C"	56
11	Experimento instalado en el suelo.	57
12	Experimento extraído del suelo.	57
13	Colocación de la arena sobre el plástico.	57
14	Extracción de las raíces manualmente durante 40 minutos	57
15	Raíces encontradas durante la extracción en cada experimento.	57
16	Lavado de las raíces extraídas de los experimentos instalados en el campo.	58
17	Secado de las raíces a temperatura ambiente.	58
18	Separación de raíces finas de las raíces gruesas.	58
19	Raíces listas para ser empaquetadas y llevadas a la estufa.	58

20	Regresión logarítmica del peso obtenido en los 4 tiempos de extracción de un experimento del bosque de “Alp A”.	60
21	Regresión logarítmica del peso obtenido en los 4 tiempos de extracción de un experimento del bosque de “Alp C”.	60
22	Curva de distribución de los datos de stock de carbono (MgCha^{-1}) del bosque de “Alp A”.	74
23	Curva de distribución de los datos de stock de carbono (MgC ha^{-1}) del bosque de “Alp C”.	74
24	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del bosque de “Alp A”.	74
25	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del bosque de “Alp C”.	75
26	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del primer muestreo del bosque de “Alp A”.	75
27	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del segundo muestreo del bosque de “Alp A”.	75
28	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del tercer muestreo del bosque de “Alp A”.	76
29	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del cuarto muestreo del bosque de “Alp A”.	76
30	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del primer muestreo del bosque de “Alp C”.	76
31	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del segundo muestreo del bosque de “Alp C”.	77
32	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del tercer muestreo del bosque de “Alp C”.	77
33	Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del cuarto muestreo del bosque de “Alp C”.	77

RESUMEN

El estudio se realizó en un bosque de terraza media y un bosque de varillal seco, ubicados dentro de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú. El objetivo fue evaluar la dinámica del carbono de raíces finas en estos dos tipos de bosque, para lo cual se utilizó el método de puntos de muestreo (Girardin *et al.* 2010, 2013), el cual permitió obtener el stock de carbono y la productividad primaria neta (PPN) de carbono de raíces finas. Los resultados muestran que el mayor stock de carbono de $4,86 \text{ MgCha}^{-1}$ se encontró en el bosque de varillal seco, mientras que en el bosque de terraza media el stock de carbono fue de $4,62 \text{ MgCha}^{-1}$. La mayor PPN de carbono lo obtuvo el bosque de terraza media con un total de $3,66 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$ mientras que el bosque de varillal seco obtuvo un promedio de $2,62 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Concluyéndose que entre ambos bosque no existe diferencia significativa estadísticamente en la dinámica de carbono en raíces finas.

Palabras clave: Stock de carbono, PPN, raíces finas, puntos de muestreo.

I. INTRODUCCIÓN

Las raíces cumplen una función prioritaria para las plantas, que es la de proveer agua y nutrientes del suelo, de tal manera que ayudan en el crecimiento y soporte de las plantas. Asimismo realizan la mayor parte de fijación de carbono debajo del suelo. Por lo tanto, juegan un rol ecológico clave, siendo uno de los componentes principales para el desarrollo de los ecosistemas.

En ese sentido, las raíces tienen gran relevancia en los biomas terrestres y el ciclo de carbono (C). Por un lado, con la ganancia de biomasa contribuyen a formar el reservorio de carbono en el suelo, que puede alcanzar hasta el 20% de la biomasa aérea (Jackson *et al.* 1997). Por otro lado, representan una fuente considerable de emisión de dióxido de carbono (CO₂) a partir de su respiración y la de los organismos heterótrofos presentes en el suelo (Céspedes *et al.* 2012).

Los bosques de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana están influenciados por características ecológicas heterogéneas que inducen una gran variación en la estructura y fisiología de las raíces finas. En ese contexto, este estudio es importante para evaluar la dinámica de carbono presente en las raíces finas en dos tipos de bosque, y algunos de los patrones asociados que influyen en este ciclo. De esta manera, ayudar a mejorar el entendimiento del ciclo de carbono en estos bosques ante el cambio climático.

II. EL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

Durante las últimas décadas se ha demostrado que los bosques funcionan como reservorios de carbono, lo que ayuda a mantener un equilibrio en la dinámica de ciclo de carbono. Sin embargo, la deforestación y degradación de los bosques junto a la industrialización y quema de combustibles fósiles han permitido el incremento de CO₂ y otros gases en la atmósfera. En ese sentido, se ha reportado que las emisiones de CO₂ a causa de la deforestación en los bosques tropicales representan aproximadamente el 20% de las emisiones totales generadas por la actividad del hombre (Denman *et al.* 2007).

A pesar que muchas instituciones han mostrado interés en investigar la dinámica del ciclo del carbono en bosques tropicales, aun no se conoce, con solvencia, como responderá ante los fenómenos climáticos recientes. Esto se debe principalmente a que los bosques tropicales presentan una alta diversidad de ecosistemas con características ecológicas y dinámicas diferentes.

Un ejemplo claro de los vacíos de información es el monitoreo del ciclo de carbono en raíces, que representa uno de los componentes más dinámicos del bosque. Precisamente, medir el stock y los flujos de carbono en raíces es una tarea complicada (Honorio y Baker, 2010) y por lo tanto no se evalúa frecuentemente (Cairns *et al.* 1997). Esto se debe principalmente a la gran variabilidad existente (espacial y temporal) en los bosques tropicales.

En la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana (RNAM) existen pocos estudios orientados al monitoreo del ciclo de carbono y, siguiendo los estándares

tradicionales, el estudio de raíces aún es incipiente. Por lo tanto, en el presente estudio se pretende conocer la dinámica de carbono presente en las raíces en los dos tipos de bosque.

2.2. Definición del problema

¿Cómo es la dinámica del carbono de raíces finas en el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana, Iquitos, Perú?

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

- Existe diferencia significativa en la dinámica de carbono de raíces finas entre el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú.

3.2. Hipótesis alterna

- Existe diferencia en la PPN de carbono de raíces finas entre los diferentes periodos de muestreo en el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú.
- Existe relación del PPN de carbono de raíces finas con la precipitación y temperatura.

3.3. Hipótesis Nula

- No Existe diferencia significativa en la dinámica de carbono de raíces finas entre el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú.
- No Existe relación del PPN de carbono de raíces finas con la precipitación y temperatura.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar la dinámica del carbono de raíces finas en el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana.

4.2. Objetivos específicos

- Cuantificar y comparar el stock de carbono de raíces finas entre el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana.
- Comparar la PPN de carbono de raíces finas entre el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana.
- Determinar la relación entre la PPN de carbono de raíces finas con la precipitación en los dos tipos de bosque.
- Determinar la relación entre la PPN de carbono de raíces finas con la temperatura en los dos tipos de bosque.

V. VARIABLES

5.1. Identificación de variables, indicadores e índices.

Se utilizaron dos tipos de variables: variable independiente (bosque de terraza media y bosque de varillal seco), teniendo como indicadores a la composición florística, precipitación y temperatura del suelo, donde los índices están dados en N° de individuos/especie, milímetros (mm) y grados Celsius (°C) respectivamente. La variable dependiente (dinámica de carbono de raíces finas), muestra como indicadores el stock de carbono y la PPN de carbono, teniendo como índices MgCha^{-1} y $\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

5.2. Operacionalización de variables.

Cuadro 1. Variables, indicadores e índices.

Variables	Indicadores	Índices
Independiente		
Bosque de terraza media	Composición florística	N° de individuos/especie
Bosque de Varillal Seco	Precipitación	mm
	Temperatura del suelo	°C
Dependiente		
Dinámica de carbono de raíces finas	Stock de carbono	MgCha^{-1}
	PPN de carbono	$\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$

VI. MARCO TEÓRICO

6.1. Calentamiento global y ciclo del carbono

Uno de los fenómenos atmosféricos de mayor importancia mundial, es el cambio climático derivado del incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mismos que provocan el incremento de la temperatura global de la atmósfera. Se debe a dos causas principales: Primero, el consumo de combustibles fósiles por las naciones industrializadas, la mayor parte de estos procesos productivos son el transporte, la producción de cemento, la generación de electricidad y los sistemas domésticos dependen de la energía derivada de los combustibles fósiles. La emisión se ha incrementado 35 veces de 1950 a la presente década y, actualmente, el volumen de CO₂ se calcula aproximadamente en 6,2 billones por año; la segunda causa es el cambio de uso del suelo, anualmente se deforestan aproximadamente 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación de cerca de 1,8 billones de megagramos de carbono, que corresponde del total de las actividades antropogénicas (Zamora, 2003).

Sin embargo, el moderno estilo de vida con el constante crecimiento económico, junto con la creciente industria y el aumento de la población, siempre estarán generando emisiones que causan el efecto invernadero y el cambio climático. La reducción de las emisiones puede y debe ser completamente por la “limpieza de la atmósfera” como es por ejemplo la fijación intencional del CO₂ de la atmósfera a la biomasa terrestre (Seppänen, 2002).

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y subsuelo. Estos son

considerados depósitos (reservorios) de carbono. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos. La atmósfera es el menor y el más dinámico de los reservorios del ciclo del carbono. Mientras tanto, todos los cambios que ocurren en este reservorio tienen una estrecha relación con los cambios del ciclo global de carbono y del clima. Gran parte del carbono presente en la atmósfera ocurre en la forma de dióxido de carbono (CO_2 , también conocido como gas carbónico). Cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique la cantidad de biomasa en la vegetación y en el suelo, tiene el potencial de alterar la cantidad de carbono almacenado y emitido para la atmósfera, lo que influye directamente en la dinámica del clima de la tierra (Runitz, 2009).

Asimismo, el incremento en la atmósfera de los GEI y el consecuente cambio climático global, que ya han sido comprobados científicamente, presentan efectos importantes en este siglo XXI. Este cambio está generado por la emisión de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y en menor cantidad de algunos otros gases originados por los procesos industriales (Seppänen, 2002). Si bien los escenarios exactos todavía son inciertos, es de esperar severos efectos negativos, por lo que es esencial que sean tomadas en cuenta medidas y metodologías para reducir las emisiones de estos gases (Gonzales, 2012).

Es muy importante no confundir carbono(C) con CO_2 . En una molécula de CO_2 existen dos átomos de oxígeno (con peso atómico $2 \times 16 = 32$) y un átomo de carbono (con peso atómico 12). Por lo tanto el peso molecular del CO_2 es 44 ($= 2 \times 16 + 12$), de los cuales solamente 12 corresponden a carbono. De lo anterior se

deduce que se necesitan $44/12 = 3,667$ Mg de CO_2 para tener 1 Mg de carbono (Pizzurno, 2010).

6.2. Stock y flujos de carbono

Zamora (2003), menciona que el stock de carbono en un ecosistema, es todo lo almacenado en sus componentes. Donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable son almacenes de carbono, mismos que se reincorporarán al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa.

Cuando se cuantifica el stock de un bosque, se muestrea: a) la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; b) la necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta; y c) el carbono en la materia orgánica del suelo. Por lo que debemos recordar que podemos estimar la cantidad de carbono de un componente del bosque determinando el peso seco de su biomasa, donde existe una pequeña variación en la relación entre el peso seco y la cantidad de carbono de las diferentes especies tropicales (Elias y Potvin, 2003).

El flujo está relacionado con el stock, ya que es el cambio que ocurre en el almacenamiento de carbono de un bosque durante el tiempo, es decir, todos aquellos procesos que afectan el stock. En tal sentido determinar el flujo lleva a comprender como se comporta la dinámica de carbono en el tiempo y que factores climáticos la influyen (Honorio y Baker, 2010). Cuando se cuantifica el flujo del carbono en el bosque se muestrea: a) la fotosíntesis de las hojas, b) la respiración autotrófica (p.e. árbol) y heterotrófica (p.e. hojarasca, madera muerta,

suelo); c) la mortalidad de troncos, ramas, hojas y raíces; y d) la descomposición de la madera y la hojarasca causada por los organismos degradadores.

La cantidad del stock de carbono, ampliamente depende del sitio de establecimiento de los sistemas, la edad, la estructura, la función, los factores ambientales y socioeconómicos (Gonzales, 2012).

Schlegel (2001), menciona que la cantidad de carbono almacenado es muy variable y depende del tipo y estado del desarrollo del bosque; por lo tanto, la cantidad de carbono almacenado varía para diversos tipos de bosques naturales, secundarios y plantaciones forestales.

6.3. Relación de biomasa y carbono

La biomasa es la masa de los organismos vivos por unidad de superficie, se divide en biomasa aérea y biomasa subterránea o radicular (Ramírez, 2011). La biomasa aérea total es el peso seco de material vegetal de los árboles con DAP>10cm. incluyendo fuste, corteza, ramas y hojas. Cabe asumir que el 50% de la madera seca en estufa es carbono (Pearson *et al.* 2005; Gonzáles, 2008; Ramírez, 2011).

Schlegel (2001), menciona que la estimación de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie. En la ruta fotosintética, el carbono es almacenado en la biomasa y después parcialmente incorporado al suelo. Su cuantificación por tanto, se hace imprescindible en estos dos reservorios mayores. Por otra parte, el

carbono de la biomasa estará constituido por el carbono arbóreo, arbustivo y herbáceo, y hojarasca sobre el suelo (Manrique *et al.* 2009).

Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa: el método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente. Para la determinación indirecta se utilizan métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica. Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones o modelos alométricos basados en análisis de regresión, que utilizan parámetros colectados en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho, la altura comercial y total, el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (Fonseca *et al.* 2009).

6.4. Raíces finas

Las raíces están relacionadas con los tejidos que las conforman, el tamaño y características morfológicas de las mismas. El sostén, la conducción de nutrientes y la mayor parte de la fijación de carbono debajo del suelo, está a cargo de las raíces que presentan principalmente tejido secundario. Mientras que la absorción de nutrientes y del agua está relacionadas con las raíces que presentan tejido primario; estas últimas son comúnmente denominadas raíces finas y se han caracterizado por ser una de las estructuras más dinámicas y activas de la planta (Flores, 1999).

En los bosques tropicales las raíces están concentradas en los primeros 20 cm del suelo y su biomasa se reduce exponencialmente con la profundidad. En los

bosques templados la producción y la biomasa de raíces finas es máxima en los primeros 10 cm del suelo, mientras que en los pastizales la biomasa está concentrada en los primeros 20 cm del suelo, al igual que en los bosques montanos tropicales (Cavelier *et al.* 1996).

La biomasa radicular o subterránea se refiere a las raíces de la vegetación del ecosistema estudiado, tanto de los árboles como del sotobosque y de la vegetación herbácea. Determinar la biomasa subterránea o biomasa radicular, es un proceso muy costoso. Por lo general se estima como un porcentaje de la biomasa arbórea sobre el suelo (biomasa aérea); en caso de no tener estimaciones de biomasa radicular, se puede utilizar un porcentaje mínimo de 15% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea, que es una estimación conservadora (López, 2005). Al respecto otros autores consideran, valores para la relación raíz/tallo, para distintos lugares del mundo entre 20 a 30% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea.

6.5. Variables climáticas

Zamora (2003), indica que la variabilidad climática ayuda a crear diversidad en el bosque. Debido a las grandes variaciones, dependiendo de la localidad, en la temperatura anual promedio, precipitación y duración de la estación de crecimiento, los tipos de plantas y animales también varían. A lo largo de miles de años, las especies se adaptan al clima en áreas particulares, y la variedad en climas locales crea diversidad de especies.

Además, es primordial comprender las variables climáticas, para así ver si afectan las funciones de un ecosistema y ver si su dinámica se mantiene constante (Girardin *et al.* 2010).

Arias (2006), menciona que las precipitaciones constituyen un determinante fundamental de diferentes aspectos estructurales de la vegetación a través de un largo gradiente espacial de precipitaciones. Asimismo a escala regional se ha observado una interacción entre temperatura y precipitaciones: en determinados rangos de precipitación la PPN de carbono declina linealmente al aumentar la temperatura media anual como consecuencia del aumento de la evaporación del suelo.

El clima modifica notablemente la índole y la rapidez de la estructura del bosque tanto en la superficie del suelo como debajo de ella, de modo que ejerce una influencia importante en el tipo y la abundancia de la materia orgánica en el bosque. La humedad y la temperatura se cuentan entre las variables más determinantes, porque influyen tanto en el desarrollo en la estructura de la vegetación, que son factores muy importantes de la formación del bosque tanto sobre como debajo del suelo.

VII. MARCO CONCEPTUAL

Almacenamiento de carbono: Capacidad del bosque para mantener una determinada cantidad de carbono por hectárea, que será liberado gradualmente a la atmósfera en un tiempo determinado (Segura, 1999).

Biomasa: Cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico (Orrego *et al.* 2001).

Biomasa radicular: Está representado por los sistemas radiculares, constituyendo otros reservorio de carbono (Medina, 2006).

Cambio climático: Modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional (Gonzales, 2012).

Carbono: Elemento básico de las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, pues todas las moléculas orgánicas están formadas por cadenas de carbono enlazados entre sí (López, 2005).

Calentamiento global: Incremento de la temperatura media de la capa gaseosa que rodea al planeta, conocida como atmósfera (López, 2005).

Dióxido de carbono: Gas producido naturalmente, derivado de los combustibles fósiles y de la biomasa, así como de los cambios de uso de suelo y otros procesos industriales (Connolly y Corea, 2007).

Efecto invernadero: Fenómeno natural atmosférico, por el cual ciertos gases retienen parte de la energía que la superficie tierra emite por haber sido calentado

por la radiación solar. Mantiene a una temperatura adecuada a la tierra (Connolly y Corea, 2007).

Flujo de carbono: Son todos aquellos procesos que afectan el stock en el tiempo (Honorio y Baker, 2010).

Fuente de carbono: Es un área determinada de bosque que con el tiempo disminuye el stock de carbono (Honorio y Baker, 2010).

Gases de efecto invernadero: Gases que están presentes en la atmósfera y contribuyen al efecto invernadero (Connolly y Corea, 2007).

Productividad primaria neta (PPN): Es la diferencia entre la fotosíntesis total y la respiración total de las plantas de un ecosistema (Honorio y Baker, 2010).

Raíces finas: Todas aquellas raíces que poseen un diámetro menor de 2 mm (Rugnitz, 2009).

Reservorio de carbono: Es un área determinada de bosque considerada como un depósito de carbono (Honorio y Baker, 2010).

Stock de carbono: Es todo aquello que está almacenado en los diferentes componentes de un ecosistema (Honorio y Baker, 2010).

VIII. MATERIALES Y MÉTODO

8.1. Área de estudio

El área de estudio comprende dos tipos de bosques ubicados a 25 km hacia el sur de la ciudad de Iquitos, provincia de Maynas, departamento de Loreto, Perú, dentro de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana (3° 57' S, 73° 26' O), en un área administrada por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), con una altitud que varía entre los 110 msnm y 180 msnm (Figura 10 del Anexo).

El clima es cálido y húmedo, caracterizado por muchas lluvias durante casi todo el año. La precipitación media anual está estimada en 2500 mm y 3000 mm, siendo marzo el mes más lluvioso con 312 mm y en agosto el mes más seco con 158 mm. La temperatura media anual es de 28°C ± 1°C, durante todo el año. Las temperaturas máximas y mínimas promedio anual alcanzan 32°C y 21°C respectivamente. La humedad relativa media es de 87% (SERNANP, 2014).

8.2. Zona de muestreo

Este estudio se desarrolló en dos parcelas de muestreo. Una parcela está ubicada en el bosque de terraza media y otra en el bosque de varillal seco. Las cuales presentan las siguientes características:

- **Extensión de las parcelas**

Las parcelas de muestreo están denominadas mediante un código: parcela N° 1 correspondiente al bosque de terraza media: "Alp A" y parcela N° 2 correspondiente al bosque de Varillal seco: "Alp C". "Alp A" posee una superficie

de 1 ha (20 m x 500 m) y “Alp C” también abarca una superficie de 1 ha (40 m x 250 m). Ambas están divididas en 25 sub parcelas (20 m x 20 m) y fueron establecidas en los años 1991 y 2001 como parte de las Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR, Del Aguila-Pasquel *et al.* 2013).

- **Accesibilidad**

Para acceder a la zona de muestreo se utiliza dos vías. La primera es la carretera Iquitos – Nauta, con un vehículo motorizado para acceder al Centro de Investigación Allpahuayo Mishana ubicado en el km 26,5. Posteriormente por una vía afirmada o el corredor ecológico dentro de la RNAM, con dirección a la quebrada Mishana, lo que toma un tiempo aproximado de 40 min a 60 min de caminata.

- **Suelo**

“Alp A” está caracterizada por presentar suelos de tipo gleysoles háplico (alúmico, hiperdistrico) de pendientes bajas que eventualmente son anegadas y suelos de pendientes más altas en las cuales presenta un mejor drenaje. Mientras que “Alp C” está situado en un suelo de tipo Arenosoles háplico hiperdistrico muy arenoso con un buen drenaje, presenta una delgada capa de humus, muy fina y negruzca (Del Aguila-Pasquel *et al.* 2013).

- **Vegetación**

En la parcela “Alp A” se reportaron 184 especies de árboles con DAP (diámetro a la altura del pecho) ≥ 10 cm, incluyendo también palmas y lianas, distribuidas en 131 géneros y 47 familias. Los géneros más representativos son *Eschweilera* (Lecythidaceae), *Guatteria* (Annonaceae), *Inga* (Fabaceae), *Iryanthera*

(Myristicaceae), *Ocotea* (Lauraceae), *Pouteria* (Sapotaceae), *Protium* (Burseraceae) y *Sloanea* (Elaeocarpaceae).

La parcela de "Alp C" presenta 99 especies de árboles con DAP \geq 10 cm, incluyendo también palmas y lianas, distribuidos en 65 géneros y 37 familias. Las especies dominantes son: *Anaxagorea brachycarpa* (Annonaceae), *Caraipa utilis* (Clusiaceae), *Dendropanax umbellatus* (Araliaceae), *Dicymbe uaiparuensis* (Fabaceae), *Euterpe catinga* (Arecaceae), *Neea macrophylla* (Nyctaginaceae), *Oxandra euneura* (Annonaceae), *Pachira brevipes* (Malvaceae), *Sloanea spathulata* (Elaeocarpaceae), *Ternstroemia klugiana* (Ternstroemiaceae) y *Tovomita calophyllophylla* (Clusiaceae) (Del Aguila-Pasquel *et al.* 2013).

8.3. Materiales y equipo

8.3.1. De campo

- Mallas plásticas de 2 cm² de trama
- Wincha métrica.
- Cavadora.
- Plástico.
- Reloj.
- Bolsas plásticas.
- Plumón indeleble.
- Machete.
- Costales.
- Termómetro digital.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de apuntes.

8.3.2. De laboratorio

- Cernidor.
- Periódico.
- Regla.
- Estufa de desecación.
- Balanza digital.
- Libreta de apuntes.

8.3.3. De gabinete

- Equipo de cómputo y accesorios.
- Papelería en general y útiles de escritorio.

8.4. Método

8.4.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es del tipo descriptivo, ya que, a partir de los análisis, se dedujo que el comportamiento de la muestra es el mismo que de la población. Es decir, el comportamiento de la dinámica de carbono de raíces finas en las parcelas de muestreo es extrapolado a todo el bosque al cual representa. El nivel de investigación es básico ya que se busca acrecentar los conocimientos teóricos.

8.4.2. Población y Muestra

Población

Las raíces finas presentes en los dos tipos de bosque de la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana.

Muestra

Estuvo conformada por las raíces finas presentes en 16 puntos de muestreos instalados homogéneamente por parcela de muestreo (1 ha). Tanto para el bosque de terraza media, como también para el bosque de varillal seco.

8.4.2. Diseño estadístico

Diseño no experimental, longitudinal y de panel; ya que no se manipularon las variables y se tomaron datos de las mismas muestras en todos los períodos determinados de muestreo. Se tomaron datos de las mismas variables en los mismos puntos de muestreos durante diferentes temporadas (cuadro 2).

Cuadro 2: Combinación de las muestras para el bosque de terraza media (Alp A) y para el bosque de varillal seco (Alp C), con sus respectivos puntos de muestreos en diferentes tiempos.

"Alp A" y "Alp C"												
	T1			T2			T3			T4		
PM1	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM2	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM3	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM4	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM5	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM6	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM7	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM8	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM9	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM10	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM11	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM12	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM13	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM14	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM15	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
PM16	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP	CRF	TS	PP
	Prom	Prom	Suma	Prom	Prom	Suma	Prom	Prom	Suma	Prom	Prom	Suma
	SC	TS	PP	PPN	TS	PP	PPN	TS	PP	PPN	TS	PP

- T = Tiempo.
 PM = Punto de muestreo.
 CRF = Cantidad de raíces finas.
 TS = Temperatura del suelo.
 PP = Precipitación.
 Prom = Promedio.
 SC = Stock de carbono
 PPN = Productividad primaria neta.

8.4.3. Análisis estadístico

Se realizó un análisis paramétrico, empleando la prueba de t-student a un nivel de significancia de $\alpha= 0,05$. Se utilizó esta prueba debido a que la distribución de los datos de campo, para comparar el stock de carbono y PPN de carbono de raíces finas entre los dos tipos de bosque, siguen una curva normal, y existe homogeneidad de varianza en los datos (Figura 22, 23, 24, 25 del Anexo). Los cálculos se realizaron en el programa SPSS statistics 20, utilizando la prueba de Shapiro-Wilk a un nivel de significancia de $\alpha= 0,05$. Para realizar la prueba estadística se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: No existe diferencia en la dinámica de carbono de raíces finas entre el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú.

Ha: Existe diferencia en la dinámica de carbono de raíces finas entre el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú.

Asimismo, se realizó una prueba no paramétrica de Friedman a un nivel de significancia de $\alpha= 0,05$. Se utilizó esta prueba debido a que la distribución de los datos de la PPN de carbono en los diferentes periodos de muestreo de cada tipo de bosque, no fue la normal, y no existe homogeneidad de varianza en los datos (Figura 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 de anexo). Para lo cual se plantearon los siguientes análisis:

Ho: No existe diferencia en la PPN de carbono de raíces finas entre los diferentes periodos de muestreo en el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú.

Ha: Existe diferencia en la PPN de carbono de raíces finas entre los diferentes periodos de muestreo en el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú.

Finalmente para determinar la relación entre PPN de carbono de raíces finas con precipitación y temperatura, se utilizó la correlación paramétrica de Pearson a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: No existe relación del PPN de carbono de raíces finas con la precipitación y temperatura.

Ha: Existe relación del PPN de carbono de raíces finas con la precipitación y temperatura.

8.4.4. Procedimiento

- Fase de pre-campo

Se realizó la recopilación de toda la información referente al tema como revisiones bibliográficas, análisis y selección de información existente. Posteriormente se realizaron las coordinaciones necesarias para la salida al campo tales como fecha, materiales que se utilizaron y los equipos personales que se llevaron para la ejecución de esta investigación.

Además se elaboraron las canastillas de los puntos de muestreo en las parcelas. Para la elaboración se utilizó pedazos de mallas plásticas para cerco (50 cm x 50 cm) que fueron armadas a manera de un cilindro con dimensiones de 10 cm de diámetro y 40 cm de largo (30 cm quedaron debajo del suelo). Para conseguir esa forma se usó como molde un tubo de PVC de 10 cm de diámetro y se unió los extremos de la malla con hilo nylon para pescar (Figura 1).

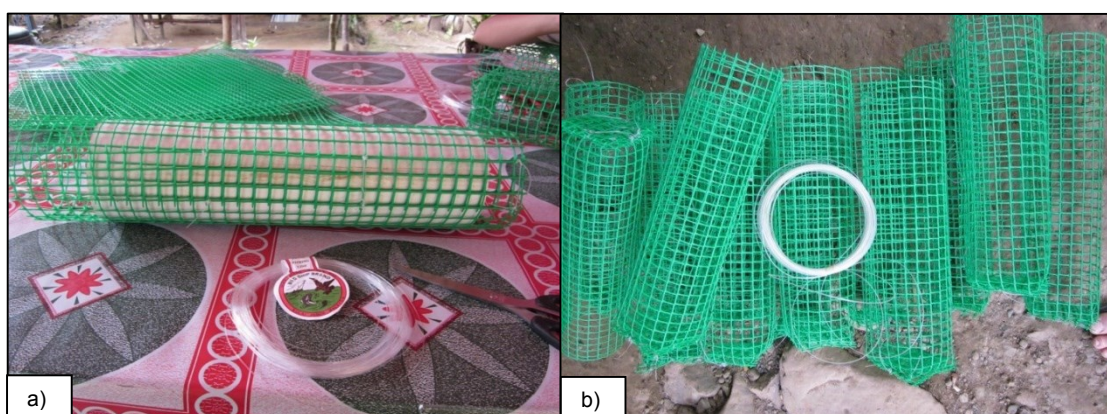


Figura 1. a) Elaboración de las canastillas con el tubo de plástico como molde. b) las canastillas elaboradas para ser llevadas al campo. Fuente: Marthews *et al.* (2014).

- **Fase de campo**

Se aplicó el método de los puntos de muestreo (Girardin *et al.* 2010, 2013), el que consiste en extraer manualmente muestras de raíces finas de cada sub parcela. Para esto se seleccionaron 16 puntos de muestreo en cada parcela. Estos puntos están distribuidos homogéneamente en las parcelas, es decir, en los extremos interiores de cada sub parcela para cubrir la variación dentro de la parcela, tal como se muestra en la Figura 2.

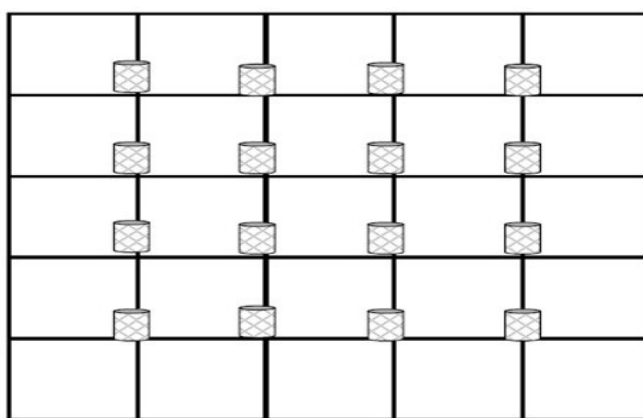


Figura 2. Ubicación de las canastillas en las sub parcelas. Fuente: Marthews *et al.* (2014).

Una vez ubicados los puntos de muestreo, se procedió a cavar, con un cavador, agujeros de 30 cm de profundidad en el suelo. El suelo extraído de cada agujero fue depositado en un pedazo de plástico, teniendo el debido cuidado de no tumbar la muestra fuera de allí.

Luego, se procedió a extraer manualmente las raíces finas por un período de 10 minutos. Todo el material extraído en ese tiempo fue depositado en una bolsa debidamente rotulada (cuadro 3). Este proceso se repitió cuatro veces en cada punto de muestreo, es decir se tuvo un tiempo total de

extracción de 40 minutos por punto. Las bolsas rotuladas fueron llevadas al laboratorio para su posterior procesamiento.

Una vez finalizada la extracción, las mallas preparadas previamente fueron colocadas en el agujero y luego se depositó el suelo sobre la malla. Esto permitió tener marcas permanentes de los sitios de muestreo, para lo cual cada malla llevó la simbolización PM acompañada del número que le corresponde (Ej. PM-1).

Cuadro 3. Codificación de cada muestra extraída.

Parcela	Alp A
Nro. de punto de muestreo	PM 1
Tiempo	10min(1), 10min(2), 10min(3),10min(4)
Fecha	día/mes/año

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se utilizó el termómetro para obtener datos de temperatura del suelo. El instrumento fue insertado en el suelo (a 10 cm de profundidad) al lado de los puntos de muestreo, por un tiempo de 6 a 10 segundos, para evitar variación en los datos. Asimismo, los datos de precipitación fueron obtenidos de la Estación Climatológica Principal Moralillo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (cuadros 21 y 22 del Anexo), ubicada en el centro poblado “Moralillo” el cual está aproximadamente a 11 km de la zona de muestreo. Los datos registrados por día fueron sumados

para obtener un valor correspondiente al período transcurrido entre muestreos.

Este procedimiento se repitió cada 2 meses durante un periodo de 8 meses para estimar la PPN de carbono de raíces finas. Cabe recalcar que el primer muestreo no pertenece al stock de carbono almacenado en las raíces finas.

- **Fase de laboratorio**

Esta fase se llevó a cabo en los laboratorios del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana ubicado en la carretera Iquitos Nauta km 4,5.

En primer lugar se lavaron las muestras de raíces para separarlas de restos de suelo, luego se las dejó a temperatura ambiente y sobre papel periódico para que se escurran. Después las muestras fueron empaquetadas en papel periódico y llevadas a la estufa, donde se secaron a una temperatura de 80°C durante un periodo de 24 horas.

Finalmente se utilizó una balanza digital para obtener el peso seco de las raíces finas. Al momento de pesar se buscó el peso constante de las muestras, lo que brindará certeza en la colección de datos. Durante todo este procesamiento se tuvo cuidado en no mezclar las muestras para evitar un error en el registro de datos.

- **Fase de gabinete**

Cuantificación del stock de carbono

Los valores de raíces obtenidos en los 4 intervalos de 10 minutos fueron considerados como unidades para generar una regresión entre el tiempo y la biomasa (peso seco) acumulada de las raíces finas.

Esta regresión fue de tipo logarítmica, ya que en algún momento los valores de la biomasa dejarán de incrementarse (Metcalf *et al.* 2007). A partir de esta regresión se generó una ecuación del tipo:

$$y = a * \ln(x) + b$$

Donde

x = tiempo.

y = biomasa

A partir de la ecuación se pudo estimar la biomasa acumulada de raíces finas hasta el tiempo 12 (120 minutos), que representa aproximadamente el 100% de la biomasa acumulada en el punto de muestreo (Metcalf *et al.* 2007).

Luego de obtener la biomasa acumulada esta fue dividida con el área de la circunferencia del suelo muestreado y las unidades fueron convertidas a MgCha⁻¹. Posteriormente, los valores obtenidos en cada punto de muestreo fueron promediados para tener un valor por parcela.

$$Biomasa_{(MgCha^{-1})} = \frac{Peso\ acumulado_{(Mg)}}{Área_{(ha)}}$$

Finalmente para obtener el stock de carbono de raíces finas se asumió que es el 50% de la biomasa (Pearson, 2005). Asimismo se utilizó un factor de corrección de 0.39 para asumir aquellas raíces que aún se encuentran debajo de los 30 cm de profundidad del suelo (Del Aguila-Pasquel *et al.* 2013).

$$\text{Stock de carbono} = \text{Biomasa } \text{Mgha}^{-1} * 0.5$$

Productividad Primaria Neta (PPN)

Para estimar el PPN, se procedió de igual manera que para el stock de carbono, con la única diferencia que el valor de carbono obtenido fue dividido entre el tiempo transcurrido entre muestreos (Metcalf *et al.* 2007).

$$PPN_{(\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1})} = \frac{\text{Carbono}_{(\text{Mgha}^{-1})}}{\text{Tiempo}_{(\text{años})}}$$

Para obtener el valor por cada muestreo se promedió los valores obtenidos en todos los puntos de muestreo de cada parcela.

IX. RESULTADOS

9.1. Stock de carbono de raíces finas en el bosque de terraza media (Alp A) y bosque de varillal seco (Alp C).

Cuadro 4. Stock total de carbono de raíces finas en el bosque “Alp A”.

PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgCha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)
1	6,84	0,059	5,95	2,97	4,14
2	11,29	0,098	9,82	4,91	6,83
3	1,10	0,010	0,96	0,48	0,67
4	8,25	0,072	7,17	3,59	4,99
5	11,60	0,101	10,09	5,04	7,01
6	5,22	0,045	4,54	2,27	3,16
7	3,30	0,029	2,87	1,44	2,00
8	8,90	0,077	7,74	3,87	5,38
9	6,01	0,052	5,23	2,61	3,63
10	5,04	0,044	4,38	2,19	3,05
11	7,22	0,063	6,28	3,14	4,36
12	6,28	0,055	5,46	2,73	3,80
13	11,73	0,102	10,20	5,10	7,09
14	4,95	0,043	4,30	2,15	2,99
15	14,42	0,125	12,54	6,27	8,71
16	10,06	0,088	8,75	4,38	6,08
Promedio del stock de carbono					4,62

En el cuadro 4 se observa los valores en la biomasa y stock de carbono obtenidos en cada punto de muestreo del bosque “Alp A”, encontrando el valor máximo en el punto de muestreo 15 con un total de 8,71 MgCha⁻¹, y el valor mínimo fue obtenido en el punto de muestreo 3 con un total de 0,67 MgCha⁻¹. Finalmente el valor promedio del stock de carbono para esta parcela es de 4,62 MgCha⁻¹, lo que representa al stock total de carbono obtenido en este tipo de bosque (Figura 3).

Cuadro 5. Stock total de carbono de raíces finas en el bosque “Alp C”.

PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgCha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)
1	9,14	0,079	7,95	3,97	5,52
2	6,94	0,060	6,03	3,02	4,19
3	11,88	0,103	10,34	5,17	7,18
4	9,38	0,082	8,16	4,08	5,67
5	15,06	0,131	13,09	6,55	9,10
6	6,22	0,054	5,41	2,70	3,76
7	5,45	0,047	4,74	2,37	3,29
8	5,51	0,048	4,79	2,40	3,33
9	12,86	0,112	11,19	5,59	7,77
10	7,58	0,066	6,60	3,30	4,58
11	10,70	0,093	9,31	4,65	6,47
12	4,16	0,036	3,62	1,81	2,52
13	9,50	0,083	8,26	4,13	5,74
14	4,39	0,038	3,82	1,91	2,65
15	1,59	0,014	1,39	0,69	0,96
16	8,19	0,071	7,12	3,56	4,95
Promedio del stock de carbono					4,86

En el cuadro 5 se observa los valores de biomasa y stock de carbono obtenido en cada punto de muestreo del bosque “Alp C”, encontrando el valor máximo en el punto de muestreo 5 con un total de 9,10 MgCha⁻¹, y el valor mínimo fue obtenido en el punto de muestreo 15 con un total de 0,96 MgCha⁻¹. Finalmente el valor promedio del stock de carbono para esta parcela es de 4,86 MgCha⁻¹, lo que representa al stock total de carbono obtenido en este tipo de bosque (Figura 3).

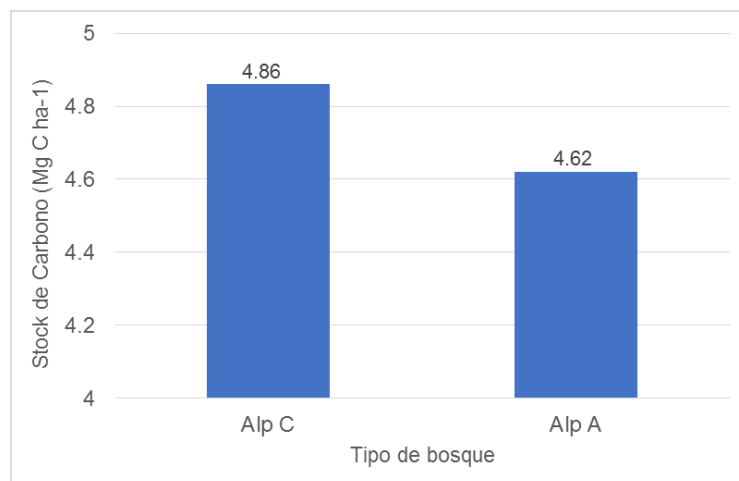


Figura 3. Stock total de carbono por tipo de bosque.

En la figura 3 se observa la diferencia entre el bosque de “Alp C” y el bosque de “Alp A”, mostrando el mayor stock de carbono en el bosque de “Alp C”, con una diferencia de 0,24 MgCha⁻¹. De acuerdo a la prueba de hipótesis si existe o no diferencia significativa en el stock de carbono entre cada tipo de bosque. En el cuadro 6 se muestra el análisis estadístico de la prueba paramétrica de t-student para muestras independientes con una prueba de significancia de $\alpha = 0,05$; lo cual muestra un valor de $p = 0,755 > \alpha = 0,05$, lo cual indica que no existe diferencia significativa en el stock de carbono de raíces finas entre los dos tipos de bosque. Por lo tanto se acepta la hipótesis nula del stock de carbono entre el bosque de “Alp A y “Alp C”.

Cuadro 6. Prueba de t-student para el stock de carbono de raíces finas en los dos tipos de bosques.

(p) t-student =	0,755
Grado de libertad =	30
Alp C (punto medio) =	4,86
Alp A (punto medio) =	4,62

9.2. PPN de carbono de raíces finas en el bosque de terraza media (Alp A) y bosque de varillal seco (Alp C).

Se muestran los resultados obtenidos de la PPN de carbono de raíces finas en los dos tipos de bosque, en 4 periodos de muestreo cada 2 meses.

Cuadro 7. PPN de carbono de raíces finas en los dos tipos de bosque.

Periodo de muestreo	Tipo de bosque	
	Alp A _(MgCha⁻¹año⁻¹)	Alp C _(MgCha⁻¹año⁻¹)
Muestreo 1	4,52	3,02
Muestreo 2	4,08	2,76
Muestreo 3	3,06	2,79
Muestreo 4	2,97	1,9

En el cuadro 7 y figura 4, se observa los valores obtenidos de la PPN de carbono de raíces finas en los diferentes periodos de muestreo para cada tipo de bosque (cuadros 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 del Anexo). Encontrándose el valor máximo en “Alp A” con un total de 4,52 MgCha⁻¹año⁻¹, mientras que para “Alp C” se reporta un valor máximo de 3,02 MgCha⁻¹año⁻¹, ambos pertenecientes al muestreo 1. El valor mínimo fue encontrado en la parcela “Alp C” con un total de 1,9 MgCha⁻¹año⁻¹, mientras que para “Alp A” se reporta un valor mínimo de 2,97 MgCha⁻¹año⁻¹, ambos pertenecientes al muestreo 4.

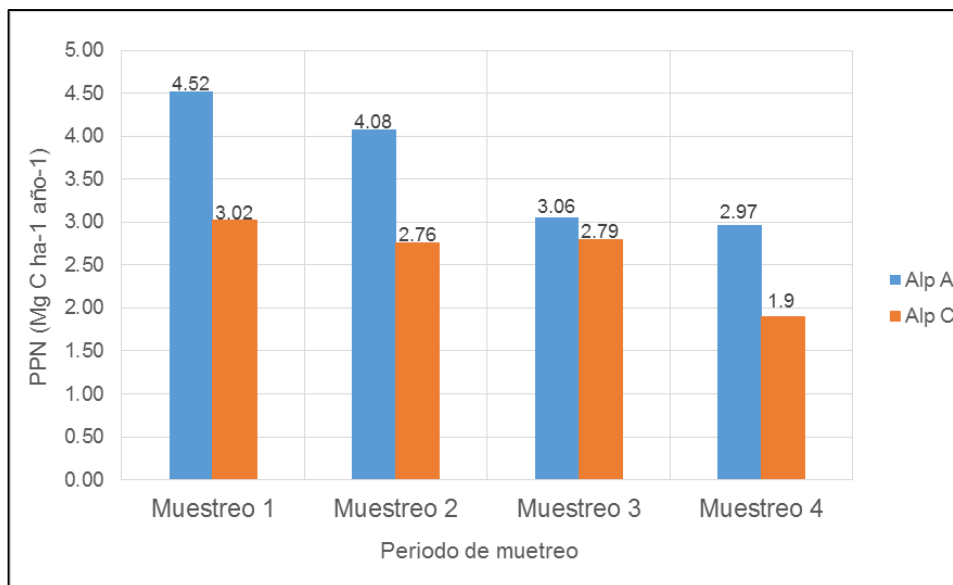


Figura 4. PPN de carbono de raíces finas en dos tipos de bosque, en diferentes periodos de muestreo.

De acuerdo a la prueba de hipótesis si existe o no diferencia significativa en la PPN de carbono de raíces finas entre cada tipo de bosque. En el cuadro 8 se muestra el análisis estadístico de la prueba paramétrica de t-student para muestras independientes con una prueba de significancia de $\alpha = 0,05$; lo cual muestra un valor de $p = 0,062 > \alpha = 0,05$, lo cual indica que no existe diferencia significativa en la PPN de carbono de raíces finas entre los dos tipos de bosque. Por lo tanto se acepta la hipótesis nula de la PPN de carbono entre el bosque de “Alp A y “Alp C”.

Cuadro 8. Prueba de t-student para la PPN de carbono de raíces finas en los dos tipos de bosques.

(p) t-student =	0,062
Grado de libertad =	6
Alp C (punto medio) =	2,62
Alp A (punto medio) =	3,66

Asimismo, en la figura 4 y 5 se observa la diferencia temporal de la PPN de carbono para cada tipo de bosque. En el bosque de “Alp A” entre el primer y segundo muestreo existe una diferencia de $0,44 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$, entre el segundo y tercer muestreo existe una diferencia de $1,02 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$, y entre el tercer y cuarto muestreo existe una diferencia de $0,09 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Mientras que para “Alp C” entre el primer y segundo muestreo existe una diferencia de $0,26 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$, entre el segundo y tercer muestreo existe una diferencia de $0,03 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y entre el tercer y cuarto muestreo existe una diferencia de $0,89 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

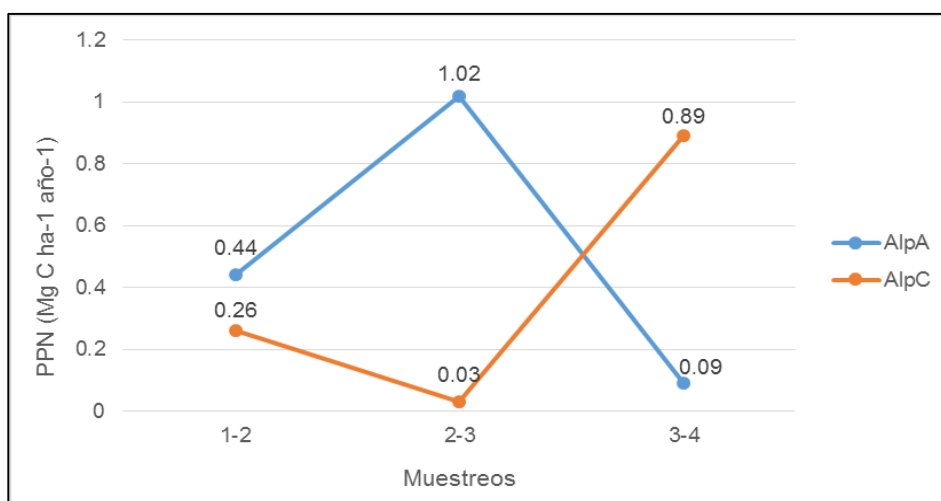


Figura 5. Variación de la PPN de carbono de raíces finas entre diferentes periodos de muestreos en cada tipo de bosque.

Por lo tanto la figura 5 nos muestra que cada tipo de bosque actúa de manera diferente, independientemente del otro en el transcurso del tiempo. Mientras que entre dos periodos de muestreo la diferencia de la PPN en un tipo de bosque disminuye, para el otro tipo de bosque se incrementa, lo que demuestra que hay una variación temporal diferente en cada tipo de bosque.

En ese sentido, se utilizó la prueba no paramétrica de Friedman, a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. De esta manera se comprobó la prueba de hipótesis si existe diferencia significativa en la variación temporal de cada tipo de bosque.

En el cuadro 9 se observa los resultados obtenidos para “Alp A” donde se muestra un valor de $p = 0,04 < \alpha = 0,05$ lo cual indica que existe diferencia significativa en la PPN de carbono de raíces finas entre los diferentes periodos de muestreo para este tipo de bosque. Asimismo, los resultados obtenidos para “Alp C”, mediante la prueba estadística de Friedman, muestra un valor de $p = 0,131 > \alpha = 0,05$ lo cual indica que no existe diferencia significativa en la PPN de carbono de raíces finas entre los diferentes periodos de muestreo para este tipo de bosque. Comprobándose que se acepta la hipótesis alterna para el caso de “Alp A”, mientras que para “Alp C” se acepta la hipótesis nula.

Cuadro 9. Prueba de Friedman para la PPN de carbono de raíces finas entre diferentes periodos de muestreo del bosque de “Alp A” y el bosque de “Alp C”.

	Alp A	Alp C
N	16	16
Grado de libertad	3	3
(p) Friedman	0,04	0,131

9.3. Relación entre la PPN de carbono de raíces finas y la precipitación en el bosque de terraza media (Alp A) y bosque de varillal seco (Alp C).

En la figura 6 y 7 se muestran los resultados obtenidos en la relación entre la PPN de carbono de raíces finas de raíces finas con la precipitación. Observándose el tipo de correlación que existe entre estas dos variables, en los cuatro periodos de muestreo, para cada tipo de bosque. En ambos casos se muestra que no existe una correlación positiva ni negativa, lo cual manifiesta que la precipitación no influye directamente con la PPN de carbono de raíces finas de raíces finas (cuadro 10).

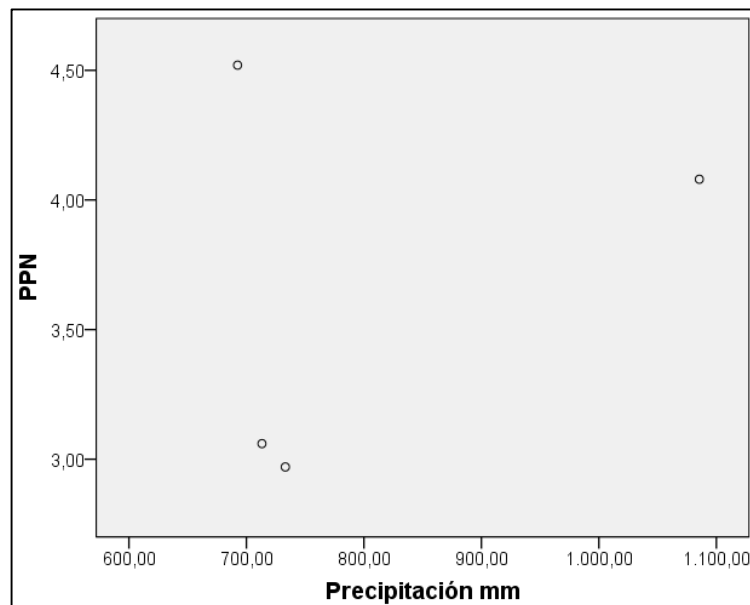


Figura 6. Diagrama de dispersión de la PPN de carbono de raíces finas con respecto a la precipitación en el bosque “Alp A”.

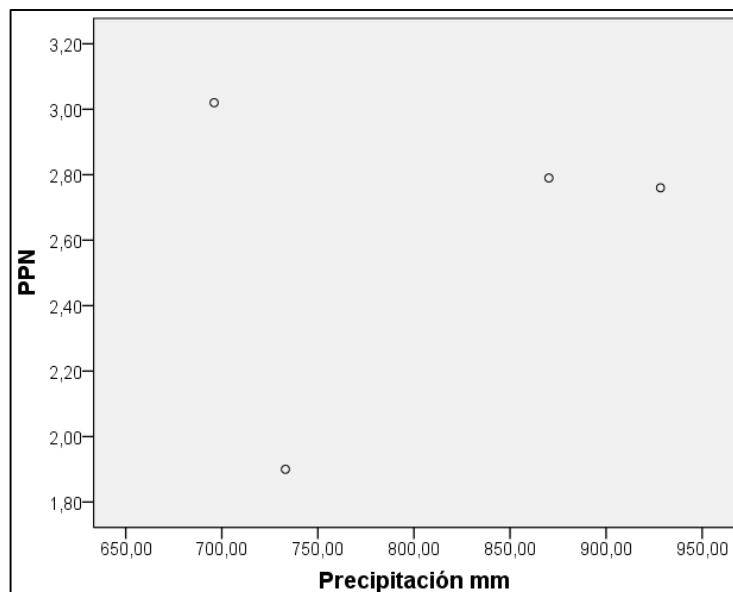


Figura 7. Diagrama de dispersión de la PPN de carbono de raíces finas con respecto a la precipitación en el bosque “Alp C”.

Se utilizó la prueba paramétrica de correlación de Pearson a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. El cual muestra un valor de 0,22 y $p = 0,77 > \alpha = 0,05$ para el bosque de “Alp A”, mientras que para el bosque de “Alp C” la correlación de Pearson muestra un valor de -0,39 y $p = 0,60 > \alpha = 0,05$. Lo cual indica que no existe una relación lineal entre la PPN de carbono de raíces finas y la precipitación para ambos tipos de bosque. Comprobándose que se acepta la hipótesis nula de la relación entre la PPN y la precipitación para el bosque de “Alp A” y “Alp C”.

Cuadro 10. Prueba de correlación de Pearson entre la PPN de carbono y la precipitación en el bosque de “Alp A” y “Alp C”.

	Alp A	Alp C
Correlación de Pearson =	0,22	-0,39
Valor de (p) =	0,77	0,60
N =	4	4

9.4. Relación entre la PPN de carbono de raíces finas y la temperatura en el bosque de terraza media (Alp A) y bosque de varillal seco (Alp C).

En la figura 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos en la relación entre la PPN de carbono de raíces finas con la temperatura. Observándose el tipo de correlación que existe entre estas dos variables, en los cuatro periodos de muestreo, para cada tipo de bosque. En ambos casos se muestra que no existe una correlación positiva ni negativa, lo cual manifiesta que la precipitación no influye directamente con la PPN de carbono de raíces finas (cuadro 11).

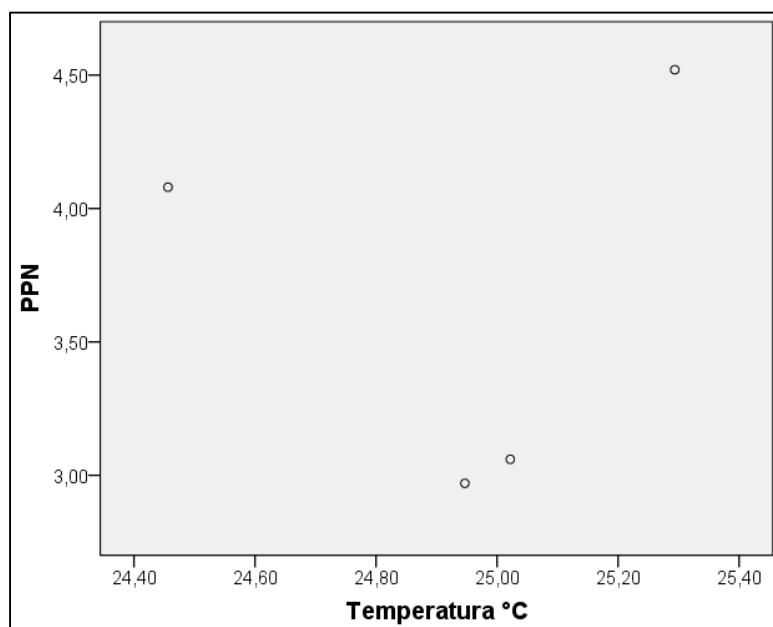


Figura 8. Diagrama de dispersión de la PPN de carbono de raíces finas con respecto a la temperatura en el bosque "Alp A".

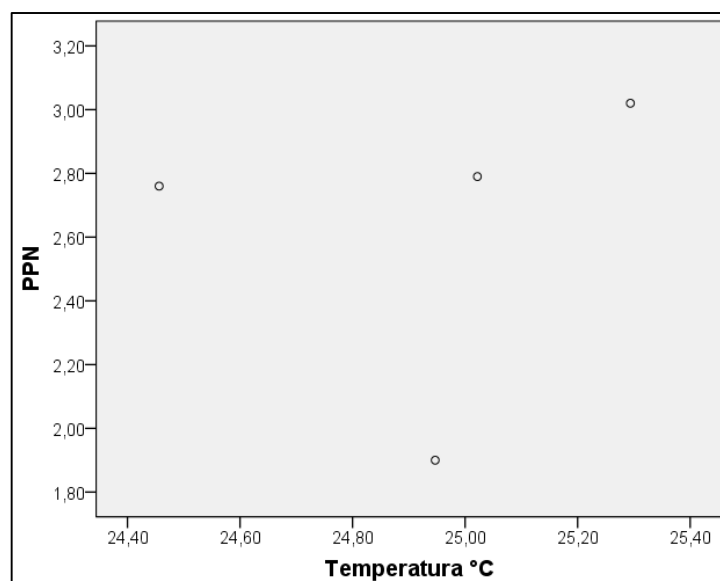


Figura 9. Diagrama de dispersión de la PPN de carbono con respecto a la temperatura en el bosque “Alp C”.

Se utilizó la prueba paramétrica de correlación de Pearson a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. El cual muestra un valor de 0,059 y $p = 0,94 > \alpha = 0,05$ para el bosque de “Alp A”, mientras que para el bosque de “Alp C” la correlación de Pearson muestra un valor de 0,160 y $p = 0,84 > \alpha = 0,05$. Lo cual indica que no existe una relación lineal entre la PPN de carbono de raíces finas y la temperatura para ambos tipos de bosque. Comprobándose que se acepta la hipótesis nula de la relación entre la PPN de carbono y la temperatura para el bosque de “Alp A” y “Alp C”.

Cuadro 11. Prueba de correlación de Pearson entre la PPN de carbono y la temperatura en el bosque de “Alp A” y “Alp C”.

	Alp A	Alp C
Correlación de Pearson =	0,059	0,160
Valor de (p) =	0,94	0,84
N =	4	4

X. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos de stock de carbono, PPN de carbono de raíces finas y la relación entre la PPN de carbono de raíces finas con la precipitación y temperatura; se encontró mayor cantidad de stock de carbono de raíces finas en el bosque de varillal seco con un total de $4,86 \text{ MgCha}^{-1}$ en comparación al bosque de terraza media con un total de $4,62 \text{ MgCha}^{-1}$ esto se debe principalmente a la diferencia en las características del suelo que presenta cada tipo de bosque, mientras uno posee suelo arenoso, el otro posee suelo arcilloso.

La diferencia en el stock de carbono de raíces finas es variable de acuerdo al sitio y el nivel de profundidad en el cual se realiza la extracción, como lo mencionan Cavelier *et al.* (1999), que en un bosque bajo semidecíduo de Panamá, el carbono almacenado en las raíces finas, extraídos de los primeros 10 cm de profundidad del suelo, fue de $0,9 \text{ MgCha}^{-1}$ en bosques sometidos a riego y de $0,62 \text{ MgCha}^{-1}$ en bosques sin riego, mostrando diferencia entre uno y otro tipo de bosque. Por otra parte, en un trabajo realizado en un bosque de colina del Área de Conservación Regional Cordillera Escalera, del departamento de San Martín, se reportó que el stock de carbono almacenado en las raíces finas, extraídos a los 30 cm de profundidad del suelo, fue de $3,994 \text{ MgCha}^{-1}$ (CIEB, 2014), en las cuales las condiciones ambientales y el tipo de suelo varía. Asimismo Doll *et al.* (2008), señalan que en un bosque templado en la precordillera andina de Chile el stock de carbono almacenado en las raíces finas hasta los 20 cm de profundidad del suelo es de $4,60 \text{ MgCha}^{-1}$, mientras que Girardin *et al.* (2010), realizaron un estudio en bosques tropicales ubicados en una gradiente altitudinal (de 194 msnm

a 3025 msnm), y encontraron que en los bosques de Amazonia baja con altitudes de 194 msnm y 210 msnm el stock de carbono en raíces finas fue de 1,50 MgCha⁻¹ y 2,31 MgCha⁻¹, respectivamente. Asimismo, manifestó que en todos los niveles altitudinales, existe mayor cantidad de carbono en la capa orgánica del suelo que en la capa mineral. Esto podría demostrar que el stock está influenciado por la disponibilidad de nutrientes, en los diferentes tipos de suelo.

La PPN de carbono de raíces finas depende principalmente del tipo de bosque, ya que de ello se puede reportar un determinado tipo de suelo y por lo tanto poder establecer la disponibilidad de nutrientes; el valor obtenido para el bosque de terraza media fue de 3,66 MgCha⁻¹año⁻¹ y para el bosque de varillal seco fue de 2,62 MgCha⁻¹año⁻¹, lo cual muestra valores que se encuentran dentro del rango reportado por Aragao *et al.* (2009), quienes señalan en un estudio realizado en diez tipos de bosque de la cuenca Amazónica que la productividad primaria neta de raíces finas tiene un rango de 2 MgCha⁻¹año⁻¹ a 7,6 MgCha⁻¹año⁻¹, con el valor máximo en un bosque de *tierra negra*, el cual posee una alta fertilidad, y el valor mínimo en un bosque de terraza dominado por arcilla. Además, reportó que en un bosque de arena blanca (varillal) la PPN fue 3,9 MgCha⁻¹año⁻¹, un valor más elevado que a lo reportado en esta investigación. Asimismo, Doughty *et al.* (2013), llevaron a cabo un estudio en dos tipos de bosques de la Reserva Nacional Forestal Caxiuanã, perteneciente a la Amazonia oriental, reportaron que la productividad primaria neta en las raíces finas para la parcela fértil (tierra negra) fue de 6,41 MgCha⁻¹año⁻¹ mientras que para la parcela de suelo bajo en fertilidad fue de 3,68 MgCha⁻¹año⁻¹, mostrando diferencia significativa entre ambos lugares.

Además Girardin *et al.* (2010), indican que en bosques tropicales ubicados en diferente niveles altitudinales mostraron que en los bosques de selva baja la PPN de carbono de raíces finas presenta valores de $6,80 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para el bosque a 210 msnm y $4,80 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para el bosque a 194 msnm. Estos valores fueron más altos que los reportados para los bosques estudiados en esta investigación. Sin embargo, Del Aguila-Pasquel *et al.* (2013), indican en un estudio realizado en dos parcelas ubicadas en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, con 16 puntos de muestreo por parcela, que la productividad primaria neta de raíces finas fue de $3,02 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para la parcela con suelo arcilloso y $3,5 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para la parcela con suelo arenoso, lo cual muestra una diferencia con los valores de este estudio; en el caso de bosque de arcilla la diferencia no es muy elevada en comparación al bosque con suelo arenoso, esta diferencia puede estar marcada por factores climáticos como también por la diferencia en el tiempo entre diferentes periodos de muestreo.

La PPN de carbono de raíces finas disminuyó conforme avanza el tiempo, en ambos tipos de bosque, pero sin embargo no muestra una relación positiva ni negativa con la precipitación, lo cual muestra que no hay una influencia de este factor climático para la PPN de carbono de raíces finas, sin embargo, Quinto (2010), menciona que existe una relación negativa entre el aumento en la precipitación media anual y la productividad primaria neta de las raíces en ecosistemas húmedos. Eso sucede porque la alta pluviosidad afecta el ciclo de nutrientes y la disponibilidad de estos para las plantas. Además porque la llegada excesiva de agua al suelo reduce el oxígeno disponible para los microorganismos descomponedores y las raíces de plantas, lo que reduce la obtención de recursos

y disminuye la productividad. Como también Doughty *et al.* (2013), mencionan que en un bosque de *tierra negra* de la Amazonia oriental la PPN de carbono de raíces finas disminuyó conforme el nivel de precipitación bajó. Mientras que en bosques de baja fertilidad la PPN presentó un leve incremento conforme la precipitación disminuyó. Asimismo, Girardin *et al.* (2013), mencionaron que mientras la altitud de los bosques tropicales disminuye, la PPN de carbono de las raíces finas tiende a disminuir durante la estación lluviosa y tiende a aumentar en la temporada seca. Todos estos autores señalan que existe alguna relación, pero en el caso de esta investigación no se reporta algún tipo de relación.

Finalmente la PPN de carbono de raíces finas ha disminuido conforme avanza el tiempo, en ambos tipos de bosque, pero sin embargo no muestra una relación positiva ni negativa con la temperatura, lo cual muestra que no hay una influencia de este factor climático para la PPN de carbono de raíces finas, asimismo, Doughty *et al.* (2013), señalan en un estudio realizado en la Amazonía oriental que la diferencia de temperatura del suelo fue relativamente pequeña entre los dos tipos de bosque (*tierra negra* y bosque de baja fertilidad), lo que indica que no existe una influencia marcada de ese factor climático con la PPN de carbono de raíces finas. Sin embargo, Girardin *et al.* (2013), indican en un estudio realizado en los bosques húmedos tropicales ubicados en diferentes niveles altitudinales, que mientras la temperatura disminuye el nivel de productividad aumenta, lo cual lleva a la conclusión que a mayor nivel altitudinal se incrementan la biomasa y productividad primaria neta de raíces, sin embargo Kitajima *et al.* (2010), mencionan que en un bosque templado, la temperatura del suelo aumenta conforme el nivel de productividad primaria neta de raíces finas presenta un leve descenso. Sin embargo este estudio se realizó en dos tipos de bosque que

presentan prácticamente el mismo nivel altitudinal, pero la temperatura del suelo no muestra algún tipo de relación con la PPN de carbono de raíces finas.

El análisis estadístico de la prueba paramétrica de t-student obtuvo que el valor de p igual a $0,755 > \alpha = 0,05$; indicando que no existe diferencia significativa en el stock de carbono de raíces finas entre el bosque de “Alp A” y bosque de “Alp C”. Asimismo aplicando la misma prueba paramétrica se obtuvo que el valor de p es $0,062 > \alpha = 0,05$; indica que no existe diferencia significativa entre la PPN de carbono de raíces finas entre el bosque de “Alp A” y bosque de “Alp C”. Para comparar la PPN de carbono de raíces finas entre diferentes periodos de muestreo se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman, en el cual se obtuvo que el valor de p es $0,04 < \alpha = 0,05$ para el bosque de “Alp A”; indicando que existe diferencia significativa entre sus diferentes periodos de muestreo, mientras que para el bosque de “Alp C” se obtuvo que el valor de p es $0,131 > \alpha = 0,05$; indicando que no existe diferencia significativa entre los diferentes periodos de muestreo, esta diferencia puede estar marcada por la disponibilidad de nutrientes, ya que presentan diferentes tipos de suelo. Además, aplicando la correlación paramétrica de Pearson se obtuvo que el valor de p es $0,77 > \alpha = 0,05$ para el bosque de “Alp A”, y p es $0,60 > \alpha = 0,05$ para el bosque de “Alp C”, lo cual indican que no existe una relación positiva ni negativa entre la PPN y la precipitación, dándose el mismo caso entre la temperatura y la PPN, que el valor de p es $0,941 > \alpha = 0,05$ para el bosque de “Alp A”, y p es $0,840 > \alpha = 0,05$ para el bosque de “Alp C”.

XI. CONCLUSIONES

1. La mayor cantidad de stock de carbono de raíces finas se encontró en el bosque de varillal seco con un total de $4,86 \text{ MgCha}^{-1}$, mientras que en el bosque de terraza media se obtuvo un total de $4,62 \text{ MgCha}^{-1}$.
2. La mayor PPN de carbono de raíces finas lo obtuvo el bosque de terraza media con un promedio de $3,66 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$ mientras que el bosque de varillal seco obtuvo un promedio de $2,62 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$.
3. Ambos tipos de bosque obtuvieron el mayor valor de PPN en el primer muestreo, para el bosque de terraza media un total de $4,52 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y para el bosque de varillal seco con un total de $3,02 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$, y el mínimo valor en el último muestreo, para el bosque de terraza media un total de $2,97 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y para el bosque de varillal seco un total de $1,9 \text{ MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$.
4. Se comprobó que no existe una relación positiva ni negativa entre la PPN de carbono de raíces finas con la precipitación en ambos tipos de bosques.
5. Se comprobó que no existe una relación positiva ni negativa entre la PPN de carbono de raíces finas con la temperatura en ambos tipos de bosques.
6. De acuerdo al análisis estadístico se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula, que no existe diferencia significativa en la dinámica de carbono de raíces finas entre el bosque de terraza media y bosque de varillal seco de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Iquitos, Perú.

XII. RECOMENDACIONES

1. Seguir con este tipo de investigación pero en otros tipos de bosque existentes a lo largo de la cuenca amazónica, para así poder comprender la dinámica de carbono debajo del suelo en diferentes ecosistemas.
2. Monitorear las parcelas en las cuales se realizó este estudio dentro de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, realizando más muestreos por periodos mayores de tiempo para reflejar con mayor detalle la dinámica de carbono de raíces finas.
3. Incluir como variable a la humedad del suelo y también realizar análisis de nutrientes del suelo, para obtener un mejor ajuste en los resultados para este tipo de estudio.
4. Al desarrollar el trabajo de campo cumplir con los parámetros establecidos en la metodología, para evitar posible errores al momento de realizar el análisis de datos.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aragao, L.; Malhi, Y.; Metcalfe, D.; Silva-Espejo, J.; Jimenez, E.; Navarrete, D.; Almeida, S.; Costa, A.; Salinas, N.; Phillips, O.; Anderson, L.; Alvarez, E.; Baker, T.; Goncalvez, P.; Huaman-Ovalle, J.; Mamani-Solorzano, M.; Meir, P.; Monteagudo, A.; Patino, S.; Penuela, M.; Prieto, A.; Quesada, C.; Rozas-Davila, A.; Rudas, A.; Silva, J.; Vasquez, R. 2009. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences* 6:2759–2778.
- Arias, L. 2006. Controles climáticos de la productividad primaria de pastizales de la provincia de corrientes. Tesis (Ingeniero Agrónomo). UBA-Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina. 51 p.
- Cairns, M.; Brown, S.; Helmer, E.; Baumgardner, G. 1997. Root Biomasa allocation in the world's upland forests. *Oecología* 111: 1-11.
- Cavelier, J.; Estevez, J.; Arjona, B. 1996. Fine-root biomass in three successional stages of an andean cloud forest in Colombia. *Biotropica* 28(4b): 728-736.
- Cavelier, J.; Wright, J.; Santamaría, J. 1999. Effects of irrigation on litterfall, fine root biomass and production in a semideciduous lowland forest in Panama. *Plant and Soil* 211: 207–213.
- Centro de Investigacion y Ecoturismo Biodiversidad. 2014. Contenido de carbono en hojarasca y raíces finas, en la parcela permanente del Área de Conservación Regional - Cordillera Escalera. San Martin, Perú. 58 p.

- Céspedes, F.; Fernández, A.; Gobbi, J.; Bernardis, A. 2012. Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *Fitotecnia* 1 (35): 1-5.
- Connolly, R. y Corea, C. 2007. Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro Municipios de Nicaragua. Trabajo de diploma. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Mangua. Nicaragua. 72 p.
- Del aguila-Pasquel, J.; Doughty, C.; Metcalfe, D.; Silva-Espejo, J.; Girardin, C.; Chung-Gutierrez, J.; Navarro-Aguilar, G.; Quesada, C.; Hidalgo, C.; reyna-Huaymacari, J.; Halladay, K.; Del castillo Torres, D.; Phillips, O.; Malhi, Y. 2013. The seasonal cycle of productivity, metabolism and carbon dynamics in a wet a seasonal forest in north-west Amazonia (Iquitos, Peru). *Plant Ecology & Diversity*. DOI: 10.1080/17550874.2013.798365
- Denman, K.; Brasseur, G.; Chidthaisong, A.; Ciais, P.; Dickinson, R., Hauglustaine, D.; Heinze, C.; Holland, E. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. *In*: IPCC, climate change 2007: *The physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom and United States. 499-587 p.
- Doll, U.; Vallejos O.; Bilbao, N.; Jara, C. 2008. Estimación preliminar de la retención de Carbono en raíces finas y mantillo de un renoval de

- Nothofagus glauca de la precordillera andina de la región del Maule, Chile. *Bosque* 29(1): 91-96.
- Doughty, C.; Metcalfe, D.; Da costa, M.; De oliveira, A.; Neto, G.; Silvac, J.; Aragao, L.; Almeidae, S.; Quesada, C.; Girardin, C.; Halladay, K.; Da costa, A.; Malhia, Y. 2013. The production, allocation and cycling of Carbon in a forest on fertile terra preta soil in eastern Amazonia compared with a forest on adjacent infertile soil. *Plant Ecology & Diversity*, DOI: 10.1080/17550874.2013.798367.
- Elias, M. y Potvin, C. 2003. Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 neotropical tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 1039-1045.
- Flores, E. 1999. La planta, estructura y función. Cartago. 884 p.
- Fonseca, W.; Alice, F.; Rey, J. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1): 36-47.
- Girardin, C.; Aragao, L.; Malhi, Y.; Huaraca-Huasco, W.; Metcalfe, D.; Durand, L.; Mamani, M.; Silva-Espejo, J.; Whittaker, R. 2013. Fine root dynamics along an elevational gradient in tropical Amazonian and Andean forests. *Global Biogeochemical Cycles* 27: 252–264.
- Girardin, C.; Malhi, Y.; Aragao, L.; Mamani, M.; Huaraca-Huasco, W.; Durand, L.; Feeley, K.; Rapp, J.; Silva-Espejo, J.; Silman, M.; Salinas, N.; Whittaker, R. 2010. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a

tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. *Global Change Biology* 16: 3176–3192.

Gonzales, A. 2012. Relación entre el almacenamiento de carbono con la edad de la plantación agroforestal en la zona de Cabalcocha. Provincia de Mariscal Ramón Castilla. Loreto-Perú. Tesis (Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales). Facultad de Ciencias Forestales-UNAP. Iquitos. 54 p.

González, D. 2008. Valoración económica del servicio ambiental secuestro de carbono. Caso: Zona central de la Reserva Forestal Imataca. (Trabajo de grado para optar al título de Magister en Gerencia. mención Financiera). Universidad Nacional Experimental de Guayana. 92 p.

Honorio, E. y Baker, T. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana/ Universidad de Leeds. Lima. 54 p.

Jackson, R.; Mooney, H.; Schulze, E. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proc. Nat Acad. Sci.* 94: 7362-7366.

Kitajima, K.; Anderson, K.; Allen, M. 2010. Effect of soil temperature and soil water content on fine root turnover rate in a California mixed conifer ecosystem. *Journal of Geophysical Research* 115: 1-14.

López, A. 2005. Enfoque global y métodos de evaluación de captura de carbono. Tesis (Ingeniero ambiental). Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto. Facultad de Ecología. Moyobamba-Perú. 60 p.

- Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V.; Seghezzo, L. 2009. Stock de biomasa y carbono en una zona del Chaco Occidental en el Municipio Coronel Moldes. La Viña. Salta. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES). 13 (06): 155-164. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Marthews. T.; Riutta, T.; Oliveras-Menor, I.; Urrutia, R.; Moore, S.; Metcalfe, D.; Malhi, Y.; Phillips, O.; Huaraca-Huasco, W.; Ruiz-Jaén, M.; Girardin, C.; Butt, N.; Cain, R. 2014. Measuring tropical forest carbono allocation and cycling: A RAINFOR-GEM Field Manual for Intensive Census Plots (v3.0). 119 p. Manual, Global Ecosystems Monitoring network: <http://gem.tropicalforests.ox.ac.uk/>.
- Medina, C. 2006. Indicadores de impactos de los sistemas forestales y agroforestales. POSAF II. 28 p.
- Metcalfe, D.; Williams, M.; Aragao, L.; Da costa, A.; De almeida, S.; Braga, A.; Gonçalves, P.; De athaydes, J.; Malhi, Y.; Meir, P. 2007. A method for extracting plant roots from soil which facilitates rapid sample processing without compromising measurement accuracy. *New Phytologist* DOI:10.1111/j.1469-8137.2007.02032.x
- Orrego, S. y Del valles, J. 2001. Eficiencia de la cobertura vegetal en la asimilación de CO₂. Informe final. Empresa pública de Medellín E.S.P. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 156 p.

- Pearson, T.; Walker, S. y Brown, S. 2005. Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Bio Carbono Fund. Winrock International.
- Pizzurno, M. 2010. Estimación preliminar del stock de carbono en diferentes tipos de bosque en el Parque Nacional Caazapá. Departamento Caazapá. Tesis (Ingeniero forestal). San Lorenzo-Paraguay. Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Agrarias. 87 p.
- Quinto, H. 2010. Dinámica de la biomasa aérea en bosques primarios y su relación con la precipitación y la altitud. Tesis M.Sc. Bosques y Conservación Ambiental, Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 75 p.
- Ramírez, C. 2011. Biomasa y carbono de árboles comerciales con diámetro mínimo de corta (DMC) en un bosque de Orellana del Rio Ucayali. Loreto-Perú. Tesis (Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Iquitos, Perú. 62 p.
- Rügnitz, M.; Chacón, M.; Porro R. 2009. Guía para la Determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica. 79 p.
- Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Universidad Austral de Chile. 13 p.

Segura, M. 1999. Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, CR. 115 p.

Seppänen, P. 2002. Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Foresta Veracruzana* 4: 51-58.

Sernanp. 2014. Ministerio del Ambiente, Perú. Octubre 2014
<<http://www.sernanp.gob.pe/sernanp/zonaturismo.jsp?ID=1&c=7>>.

Zamora, J. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del Ejido “La Majada” Municipio de Periban de Ramos. Michoacán. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología. 47 p.

ANEXO

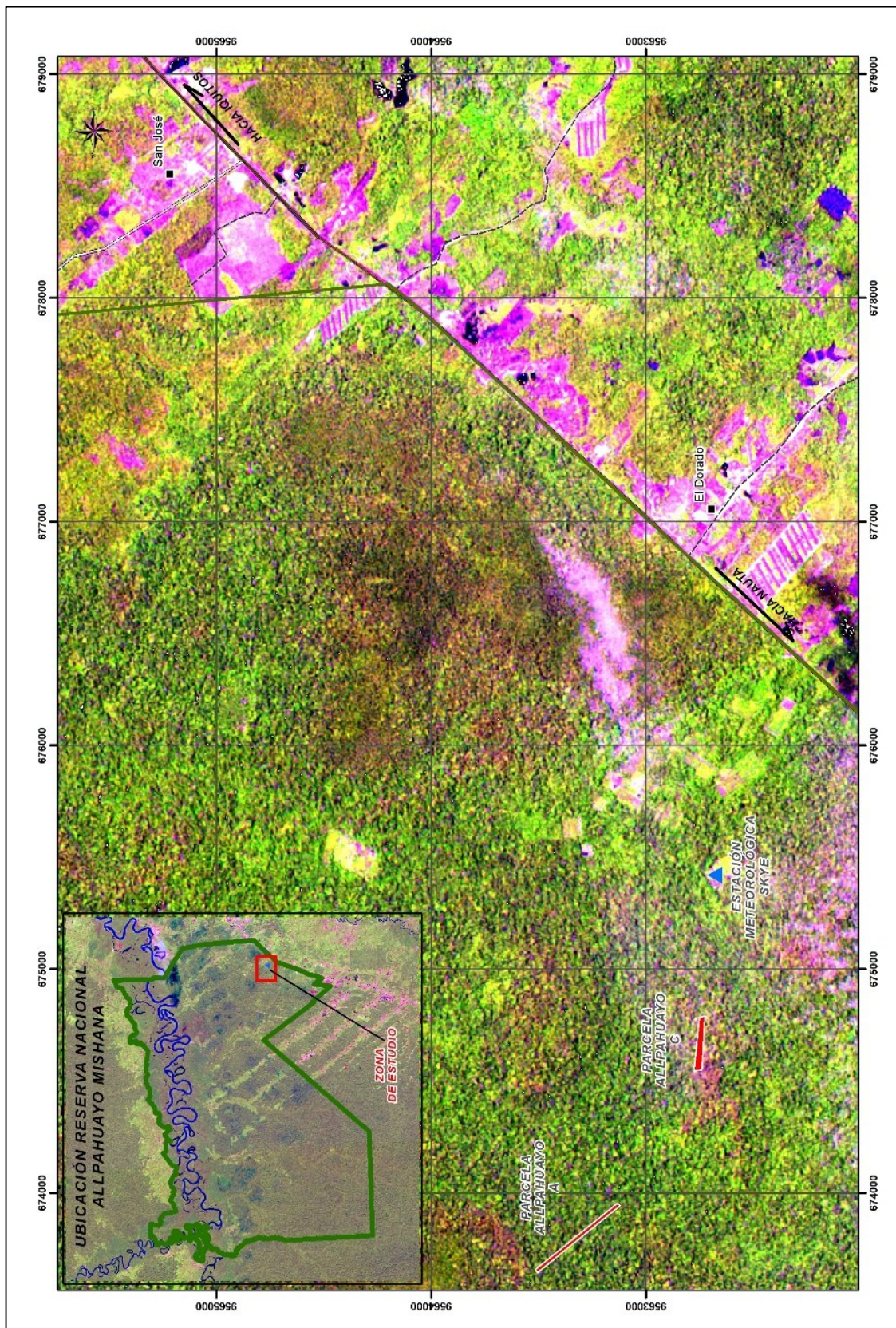


Figura 10. Mapa de ubicación del bosque de "Alp A" y "Alp C"



Figura 11. Punto de muestreo instalado en el suelo.



Figura 12. Malla extraída del suelo.



Figura 13. Colocación de la arena sobre el plástico.



Figura 14. Extracción de las raíces manualmente durante 40 minutos.



Figura 15. Raíces encontradas durante la extracción en cada punto de muestreo.



Figura 16. Lavado de las raíces extraídas de los puntos de muestreo instalados en el campo.



Figura 17. Secado de las raíces a temperatura ambiente.



Figura 18. Separación de raíces finas de las raíces gruesas.



Figura 19. Raíces listas para ser empaquetadas y llevadas a la estufa.

Cuadro 12. Peso seco estimado hasta el tiempo 12 para cada experimento de cada tipo de bosque.

Fecha de colecta(DD/MM/AA): 06/11/14								
N° PM	Tiempo (min)	Tiempo	Peso seco < 2 mm (g)	Peso seco > 2 mm (g)	Peso acumulado < 2mm	Peso acumulado > 2 mm	Peso estimado < 2mm	Peso estimado > 2 mm
1	10	1	0,1		0,1			
1	20	2	0,1		0,2			
1	30	3	0,1		0,3			
1	40	4	0,1		0,4			
1		5					0,42	
1		6					0,45	
1		7					0,49	
1		8					0,52	
1		9					0,54	
1		10					0,56	
1		11					0,58	
1		12					0,60	
2	10	1	0,5		0,5			
2	20	2	0,4		0,9			
2	30	3	0,3		1,2			
2	40	4	0,3		1,5			
2		5					1,59	
2		6					1,72	
2		7					1,83	
2		8					1,93	
2		9					2,01	
2		10					2,08	
2		11					2,15	
2		12					2,21	
3	10	1	0,4		0,4			
3	20	2	0,1		0,5			
3	30	3	0,1		0,6			
3	40	4	0,1		0,7			
3		5					0,72	
3		6					0,75	
3		7					0,79	
3		8					0,82	
3		9					0,84	
3		10					0,86	
3		11					0,88	
3		12					0,90	

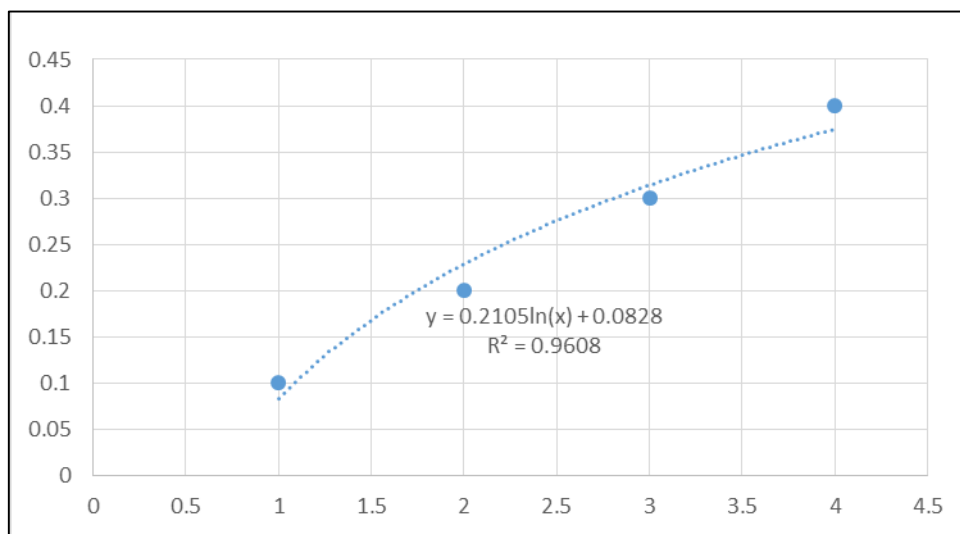


Figura 20. Regresión logarítmica del peso obtenido en los 4 tiempos de extracción de un experimento del bosque de “Alp A”.

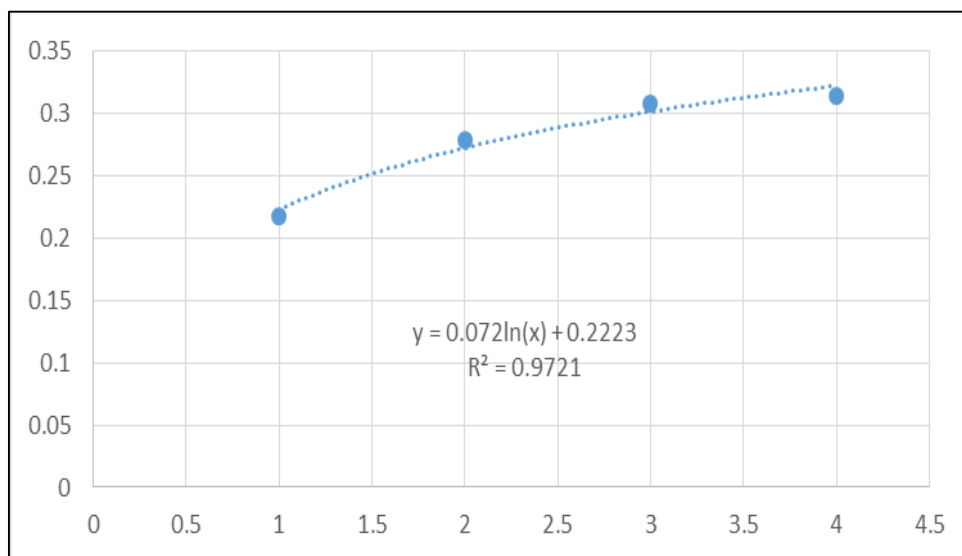


Figura 21. Regresión logarítmica del peso obtenido en los 4 tiempos de extracción de un experimento del bosque de “Alp C”.

Cuadro 13. Productividad Primaria Neta de carbono de raíces finas obtenida en el primer muestreo del bosque de “Alp A”.

Día	Raíces	PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgC ha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)	Tiempo (años)	PPN (MgC ha ⁻¹ año ⁻¹)	Promedio PPN	SD	SE	IC	diámetro	Área (cm ²)
04/11/2014	< 2 mm	1	0,71	0,006	0,61	0,31	0,43	0,18	2,37	4,52	2,70	0,68	1,32	12,10	114,99
04/11/2014	< 2 mm	2	1,84	0,016	1,60	0,80	1,11		6,19				1,43		
04/11/2014	< 2 mm	3	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03				1,32		
04/11/2014	< 2 mm	4	2,91	0,025	2,53	1,26	1,76		9,76						
04/11/2014	< 2 mm	5	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						
04/11/2014	< 2 mm	6	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						
04/11/2014	< 2 mm	7	0,91	0,008	0,79	0,39	0,55		3,04						
04/11/2014	< 2 mm	8	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						
04/11/2014	< 2 mm	9	2,17	0,019	1,89	0,94	1,31		7,29						
04/11/2014	< 2 mm	10	1,89	0,016	1,65	0,82	1,14		6,35						
04/11/2014	< 2 mm	11	2,58	0,022	2,24	1,12	1,56		8,67						
04/11/2014	< 2 mm	12	0,81	0,007	0,70	0,35	0,49		2,71						
04/11/2014	< 2 mm	13	0,91	0,008	0,79	0,39	0,55		3,04						
04/11/2014	< 2 mm	14	2,09	0,018	1,82	0,91	1,26		7,01						
04/11/2014	< 2 mm	15	1,71	0,015	1,49	0,74	1,03		5,75						
04/11/2014	< 2 mm	16	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						

Cuadro 14. Productividad Primaria Neta de carbono de raíces finas obtenida en el primer muestreo del bosque de “Alp C”.

Día	Raíces	PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgC ha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)	Tiempo (años)	PPN (MgC ha ⁻¹ año ⁻¹)	Promedio PPN	SD	SE	IC	diámetro	Área (cm ²)
05/11/2014	< 2 mm	1	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37	0,18	2,03	3,02	1,48	0,37	0,72	12,10	114,99
05/11/2014	< 2 mm	2	2,22	0,019	1,93	0,96	1,34		7,44				0,78		
05/11/2014	< 2 mm	3	0,91	0,008	0,79	0,39	0,55		3,04				0,72		
05/11/2014	< 2 mm	4	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						
05/11/2014	< 2 mm	5	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						
05/11/2014	< 2 mm	6	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						
05/11/2014	< 2 mm	7	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						
05/11/2014	< 2 mm	8	1,49	0,013	1,30	0,65	0,90		5,01						
05/11/2014	< 2 mm	9	1,01	0,009	0,87	0,44	0,61		3,38						
05/11/2014	< 2 mm	10	0,81	0,007	0,70	0,35	0,49		2,71						
05/11/2014	< 2 mm	11	1,01	0,009	0,87	0,44	0,61		3,38						
05/11/2014	< 2 mm	12	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						
05/11/2014	< 2 mm	13	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						
05/11/2014	< 2 mm	14	1,20	0,010	1,05	0,52	0,73		4,04						
05/11/2014	< 2 mm	15	0,91	0,008	0,79	0,39	0,55		3,04						
05/11/2014	< 2 mm	16	0,61	0,005	0,53	0,26	0,37		2,03						

Cuadro 15. Productividad Primaria Neta de carbono de raíces finas obtenida en el segundo muestreo del bosque de “Alp A”.

Día	Raíces	PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgC ha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)	Tiempo (años)	PPN (MgC ha ⁻¹ año ⁻¹)	Promedio PPN	SD	SE	IC	diámetro	Área (cm ²)
14/01/2015	< 2 mm	1	0,95	0,008	0,83	0,41	0,57	0,19	3,02	4,08	4,56	1,14	2,23	12,10	114,99
14/01/2015	< 2 mm	2	0,88	0,008	0,76	0,38	0,53		2,79				2,42		
14/01/2015	< 2 mm	3	0,46	0,004	0,40	0,20	0,28		1,48				2,23		
14/01/2015	< 2 mm	4	0,90	0,008	0,79	0,39	0,55		2,87						
14/01/2015	< 2 mm	5	1,04	0,009	0,91	0,45	0,63		3,32						
14/01/2015	< 2 mm	6	5,90	0,051	5,13	2,56	3,56		18,75						
14/01/2015	< 2 mm	7	0,65	0,006	0,56	0,28	0,39		2,06						
14/01/2015	< 2 mm	8	0,48	0,004	0,42	0,21	0,29		1,54						
14/01/2015	< 2 mm	9	0,18	0,002	0,16	0,08	0,11		0,58						
14/01/2015	< 2 mm	10	1,34	0,012	1,16	0,58	0,81		4,26						
14/01/2015	< 2 mm	11	3,42	0,030	2,97	1,49	2,07		10,87						
14/01/2015	< 2 mm	12	0,71	0,006	0,61	0,31	0,43		2,25						
14/01/2015	< 2 mm	13	1,19	0,010	1,03	0,52	0,72		3,77						
14/01/2015	< 2 mm	14	0,21	0,002	0,18	0,09	0,13		0,67						
14/01/2015	< 2 mm	15	1,06	0,009	0,92	0,46	0,64		3,37						
14/01/2015	< 2 mm	16	1,14	0,010	0,99	0,49	0,69		3,61						

Cuadro 16. Productividad Primaria Neta de carbono de raíces finas obtenida en el segundo muestreo del bosque de “Alp C”.

Día	Raíces	PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgC ha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)	Tiempo (años)	PPN (MgC ha ⁻¹ año ⁻¹)	Promedio PPN	SD	SE	IC	diámetro	Área (cm ²)
09/01/2015	< 2 mm	1	1,71	0,015	1,49	0,75	1,04	0,18	5,76	2,76	2,33	0,58	1,14	12,10	114,99
09/01/2015	< 2 mm	2	1,97	0,017	1,71	0,86	1,19		6,62				1,24		
09/01/2015	< 2 mm	3	1,68	0,015	1,46	0,73	1,01		5,63				1,14		
09/01/2015	< 2 mm	4	1,48	0,013	1,29	0,65	0,90		4,98						
09/01/2015	< 2 mm	5	1,55	0,014	1,35	0,68	0,94		5,22						
09/01/2015	< 2 mm	6	0,27	0,002	0,24	0,12	0,16		0,91						
09/01/2015	< 2 mm	7	0,35	0,003	0,30	0,15	0,21		1,18						
09/01/2015	< 2 mm	8	0,44	0,004	0,38	0,19	0,26		1,47						
09/01/2015	< 2 mm	9	0,37	0,003	0,32	0,16	0,23		1,25						
09/01/2015	< 2 mm	10	0,44	0,004	0,38	0,19	0,26		1,46						
09/01/2015	< 2 mm	11	0,30	0,003	0,26	0,13	0,18		1,02						
09/01/2015	< 2 mm	12	0,09	0,001	0,08	0,04	0,06		0,32						
09/01/2015	< 2 mm	13	0,27	0,002	0,23	0,12	0,16		0,89						
09/01/2015	< 2 mm	14	1,66	0,014	1,44	0,72	1,00		5,56						
09/01/2015	< 2 mm	15	0,18	0,002	0,15	0,08	0,11		0,59						
09/01/2015	< 2 mm	16	0,40	0,003	0,35	0,17	0,24		1,35						

Cuadro 17. Productividad Primaria Neta de carbono de raíces finas obtenida en el tercer muestreo del bosque de “Alp A”.

Día	Raíces	PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgCha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)	Tiempo (años)	PPN (MgC ha ⁻¹ año ⁻¹)	Promedio PPN	SD	SE	IC	diámetro	Área (cm ²)
17/03/2015	< 2 mm	1	0,48	0,004	0,42	0,21	0,29	0,17	1,70	3,06	3,34	0,83	1,63	12,10	114,99
17/03/2015	< 2 mm	2	0,87	0,008	0,76	0,38	0,53		3,11				1,77		
17/03/2015	< 2 mm	3	0,14	0,001	0,12	0,06	0,08		0,50				1,63		
17/03/2015	< 2 mm	4	0,47	0,004	0,41	0,20	0,28		1,67						
17/03/2015	< 2 mm	5	0,50	0,004	0,44	0,22	0,30		1,78						
17/03/2015	< 2 mm	6	1,78	0,015	1,55	0,77	1,08		6,33						
17/03/2015	< 2 mm	7	0,25	0,002	0,22	0,11	0,15		0,90						
17/03/2015	< 2 mm	8	3,44	0,030	2,99	1,50	2,08		12,23						
17/03/2015	< 2 mm	9	0,58	0,005	0,50	0,25	0,35		2,05						
17/03/2015	< 2 mm	10	0,44	0,004	0,38	0,19	0,26		1,55						
17/03/2015	< 2 mm	11	0,17	0,001	0,15	0,07	0,10		0,61						
17/03/2015	< 2 mm	12	1,63	0,014	1,42	0,71	0,99		5,81						
17/03/2015	< 2 mm	13	2,25	0,020	1,96	0,98	1,36		8,00						
17/03/2015	< 2 mm	14	0,11	0,001	0,09	0,05	0,06		0,38						
17/03/2015	< 2 mm	15	0,29	0,003	0,25	0,13	0,18		1,04						
17/03/2015	< 2 mm	16	0,37	0,003	0,32	0,16	0,22		1,30						

Cuadro 18. Productividad Primaria Neta de carbono de raíces finas obtenida en el tercer muestreo del bosque de “Alp C”.

Día	Raíces	PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgCha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)	Tiempo (años)	PPN (MgC ha ⁻¹ año ⁻¹)	Promedio PPN	SD	SE	IC	diámetro	Área (cm ²)
13/03/2015	< 2 mm	1	1,33	0,012	1,16	0,58	0,81	0,17	4,74	2,79	1,39	0,35	0,68	12,10	114,99
13/03/2015	< 2 mm	2	1,20	0,010	1,04	0,52	0,72		4,25				0,74		
13/03/2015	< 2 mm	3	0,68	0,006	0,59	0,30	0,41		2,42				0,68		
13/03/2015	< 2 mm	4	0,77	0,007	0,67	0,33	0,46		2,72						
13/03/2015	< 2 mm	5	0,82	0,007	0,71	0,36	0,50		2,91						
13/03/2015	< 2 mm	6	1,09	0,010	0,95	0,48	0,66		3,88						
13/03/2015	< 2 mm	7	0,81	0,007	0,70	0,35	0,49		2,87						
13/03/2015	< 2 mm	8	1,21	0,011	1,05	0,53	0,73		4,30						
13/03/2015	< 2 mm	9	1,00	0,009	0,87	0,44	0,61		3,56						
13/03/2015	< 2 mm	10	0,54	0,005	0,47	0,24	0,33		1,93						
13/03/2015	< 2 mm	11	0,46	0,004	0,40	0,20	0,28		1,64						
13/03/2015	< 2 mm	12	0,42	0,004	0,37	0,18	0,25		1,50						
13/03/2015	< 2 mm	13	0,10	0,001	0,08	0,04	0,06		0,34						
13/03/2015	< 2 mm	14	1,39	0,012	1,21	0,61	0,84		4,95						
13/03/2015	< 2 mm	15	0,46	0,004	0,40	0,20	0,28		1,64						
13/03/2015	< 2 mm	16	0,28	0,002	0,24	0,12	0,17		0,99						

Cuadro 19. Productividad Primaria Neta de carbono de raíces finas obtenida en el cuarto muestreo del bosque de “Alp A”.

Día	Raíces	PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgCha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)	Tiempo (años)	PPN (MgC ha ⁻¹ año ⁻¹)	Promedio PPN	SD	SE	IC	diámetro	Área (cm ²)
07/05/2015	< 2 mm	1	0,35	0,003	0,30	0,15	0,21	0,14	1,49	2,97	3,35	0,84	1,64	12,10	114,99
07/05/2015	< 2 mm	2	0,17	0,001	0,15	0,07	0,10		0,73				1,78		
07/05/2015	< 2 mm	3	0,05	0,000	0,04	0,02	0,03		0,20				1,64		
07/05/2015	< 2 mm	4	0,32	0,003	0,28	0,14	0,19		1,38						
07/05/2015	< 2 mm	5	0,79	0,007	0,69	0,34	0,48		3,40						
07/05/2015	< 2 mm	6	0,80	0,007	0,70	0,35	0,49		3,47						
07/05/2015	< 2 mm	7	0,53	0,005	0,46	0,23	0,32		2,29						
07/05/2015	< 2 mm	8	0,09	0,001	0,08	0,04	0,06		0,40						
07/05/2015	< 2 mm	9	2,53	0,022	2,20	1,10	1,53		10,94						
07/05/2015	< 2 mm	10	0,99	0,009	0,86	0,43	0,60		4,28						
07/05/2015	< 2 mm	11	2,49	0,022	2,16	1,08	1,50		10,73						
07/05/2015	< 2 mm	12	0,42	0,004	0,37	0,18	0,25		1,82						
07/05/2015	< 2 mm	13	0,35	0,003	0,31	0,15	0,21		1,53						
07/05/2015	< 2 mm	14	0,02	0,000	0,02	0,01	0,01		0,08						
07/05/2015	< 2 mm	15	0,94	0,008	0,82	0,41	0,57		4,06						
07/05/2015	< 2 mm	16	0,16	0,001	0,14	0,07	0,10		0,69						

Cuadro 20. Productividad Primaria Neta de carbono de raíces finas obtenida en el cuarto muestreo del bosque de “Alp C”.

Día	Raíces	PM	Peso final (g)	Biomasa (gcm ⁻²)	Biomasa (Mgha ⁻¹)	Carbono (MgCha ⁻¹)	Carbono corregido (MgCha ⁻¹)	Tiempo (años)	PPN (MgC ha ⁻¹ año ⁻¹)	Promedio PPN	SD	SE	IC	diámetro	Área (cm ²)
06/05/2015	< 2 mm	1	0,04	0,000	0,04	0,02	0,03	0,15	0,18	1,90	1,88	0,47	0,92	12,10	114,99
06/05/2015	< 2 mm	2	1,21	0,011	1,06	0,53	0,73		4,90				1,00		
06/05/2015	< 2 mm	3	0,39	0,003	0,34	0,17	0,23		1,56				0,92		
06/05/2015	< 2 mm	4	0,23	0,002	0,20	0,10	0,14		0,94						
06/05/2015	< 2 mm	5	0,24	0,002	0,21	0,10	0,14		0,96						
06/05/2015	< 2 mm	6	0,27	0,002	0,24	0,12	0,16		1,09						
06/05/2015	< 2 mm	7	0,30	0,003	0,26	0,13	0,18		1,22						
06/05/2015	< 2 mm	8	0,23	0,002	0,20	0,10	0,14		0,92						
06/05/2015	< 2 mm	9	1,88	0,016	1,64	0,82	1,14		7,59						
06/05/2015	< 2 mm	10	0,73	0,006	0,63	0,32	0,44		2,93						
06/05/2015	< 2 mm	11	0,44	0,004	0,38	0,19	0,27		1,78						
06/05/2015	< 2 mm	12	0,52	0,005	0,45	0,23	0,31		2,09						
06/05/2015	< 2 mm	13	0,16	0,001	0,14	0,07	0,10		0,66						
06/05/2015	< 2 mm	14	0,44	0,004	0,38	0,19	0,27		1,77						
06/05/2015	< 2 mm	15	0,30	0,003	0,26	0,13	0,18		1,23						
06/05/2015	< 2 mm	16	0,14	0,001	0,12	0,06	0,09		0,58						

Cuadro 21. Datos de precipitación registrados en la estación climatológica de Moralillo del año 2014.

Mes	Día	PP mm	Mes	Día	PP mm	Mes	Día	PP mm	Mes	Día	PP mm
SEPTIEMBRE	1	0,0	OCTUBRE	1	8,4	NOVIEMBRE	1	60,6	DICIEMBRE	1	0,0
	2	41,0		2	6,2		2	0,0		2	3,4
	3	0,0		3	3,2		3	0,0		3	22,8
	4	37,6		4	0,0		4	3,5		4	35,8
	5	0,0		5	1,2		5	0,0		5	2,5
	6	0,0		6	85,4		6	26,4		6	0,0
	7	0,0		7	53,5		7	3,4		7	0,0
	8	0,0		8	0,0		8	0,0		8	19,2
	9	4,2		9	25,0		9	0,0		9	45,8
	10	1,4		10	32,6		10	28,4		10	0,0
	11	34,2		11	15,4		11	4,8		11	0,0
	12	12,0		12	13,7		12	0,0		12	57,6
	13	19,0		13	0,0		13	0,0		13	0,0
	14	22,6		14	0,0		14	102,3		14	11,5
	15	0,0		15	23,2		15	9,8		15	35,2
	16	12,0		16	1,5		16	3,5		16	4,5
	17	0,0		17	0,0		17	0,0		17	6,8
	18	0,0		18	0,0		18	16,0		18	3,2
	19	0,0		19	7,6		19	0,0		19	0,0
	20	82,9		20	0,0		20	0,0		20	0,0
	21	0,0		21	0,0		21	0,0		21	3,8
	22	2,3		22	0,0		22	1,2		22	9,8
	23	0,0		23	0,0		23	0,0		23	18,2
	24	0,0		24	0,0		24	17,0		24	0,0
	25	23,0		25	79,0		25	10,6		25	0,0
	26	0,0		26	0,0		26	0,0		26	47,1
	27	5,5		27	6,2		27	47,4		27	25,5
	28	5,2		28	3,2		28	33,4		28	0,0
	29	0,0		29	0,0		29	60,8		29	27,2
	30	0,0		30	4,7		30	0,6		30	26,7

Cuadro 22. Datos de precipitación registrados en la estación climatológica de Moralillo del año 2015.

Mes	Día	PP mm	Mes	Día	PP mm	Mes	Día	PP mm	Mes	Día	PP mm	Mes	Día	PP mm
ENERO	1	9,2	FEBRERO	1	0,0	MARZO	1	6,3	ABRIL	1	148,0	MAYO	1	0,0
	2	36,9		2	20,5		2	9,2		2	20,5		2	3,8
	3	34,2		3	12,2		3	0,0		3	0,0		3	9,0
	4	0,0		4	0,0		4	27,6		4	0,0		4	7,6
	5	48,8		5	0,0		5	34,8		5	5,2		5	2,0
	6	4,2		6	0,0		6	1,2		6	4,7		6	8,4
	7	4,6		7	0,0		7	28,0		7	5,2		7	2,8
	8	1,0		8	16,5		8	34,2		8	0,0		8	0,0
	9	5,2		9	5,7		9	51,2		9	7,0		9	8,7
	10	96,2		10	0,0		10	31,0		10	0,0		10	11,7
	11	50,2		11	11,0		11	22,4		11	36,8		11	33,5
	12	1,2		12	8,6		12	0,0		12	0,0		12	79,2
	13	9,6		13	67,8		13	18,2		13	0,0		13	3,3
	14	0,0		14	1,4		14	86,2		14	0,0		14	10,0
	15	0,0		15	7,0		15	1,2		15	0,0		15	5,8
	16	0,0		16	22,4		16	0,0		16	2,8		16	8,2
	17	36,2		17	0,0		17	12,2		17	0,0		17	0,0
	18	0,6		18	0,0		18	10,8		18	0,0		18	0,0
	19	4,8		19	0,0		19	46,4		19	50,5		19	14,3
	20	20,2		20	0,0		20	5,2		20	73,6		20	2,7
	21	33,0		21	0,0		21	4,2		21	44,9		21	0,0
	22	28,4		22	0,0		22	65,2		22	10,2		22	4,8
	23	4,2		23	0,0		23	15,2		23	0,0		23	5,8
	24	14,8		24	0,0		24	14,8		24	0,0		24	0,0
	25	2,8		25	1,4		25	10,2		25	15,0		25	2,2
	26	0,0		26	0,0		26	0,0		26	18,0		26	6,2
	27	9,8		27	12,0		27	3,3		27	0,0		27	
	28	0,0		28	0,0		28	5,0		28	52,4		28	
	29	6,4		29			29	0,0		29	10,2		29	
	30	0,0		30			30	2,2		30	15,0		30	
	31	1,8		31			31	0,0					31	

Cuadro 23. Formato de laboratorio para el peso seco de muestras de raíces.

Parcela:				
Fecha de colecta(DD/MM/AA):				
Fecha de procesa,(DD/MM/AA):				
N° IC	Tiempo (min)	Peso seco < 2 mm (g)	Peso seco > 2 mm (g)	Notas
1	10			
	20			
	30			
	40			
2	10			
	20			
	30			
	40			
3	10			
	20			
	30			
	40			
4	10			
	20			
	30			
	40			
5	10			
	20			
	30			
	40			
6	10			
	20			
	30			
	40			
7	10			
	20			
	30			
	40			
8	10			
	20			
	30			
	40			
9	10			
	20			
	30			
	40			

10	10			
	20			
	30			
	40			
11	10			
	20			
	30			
	40			
12	10			
	20			
	30			
	40			
13	10			
	20			
	30			
	40			
14	10			
	20			
	30			
	40			
15	10			
	20			
	30			
	40			
16	10			
	20			
	30			
	40			

Cuadro 24. Formato de campo para la extracción de raíces, y anotación de temperatura del suelo.

Responsable:								
N°	Parcela	Punto de muestreo	Tiempo (min)	Temperatura del suelo (°C)	Humedad del suelo (%)	Peso seco(g)	Fecha	Observaciones
1	Alp A	1	10					
2	Alp A	1	20					
3	Alp A	1	30					
4	Alp A	1	40					
5	Alp A	2	10					
6	Alp A	2	20					
7	Alp A	2	30					
8	Alp A	2	40					
9	Alp A	3	10					
10	Alp A	3	20					
11	Alp A	3	30					
12	Alp A	3	40					
13	Alp A	4	10					
14	Alp A	4	20					
15	Alp A	4	30					
16	Alp A	4	40					

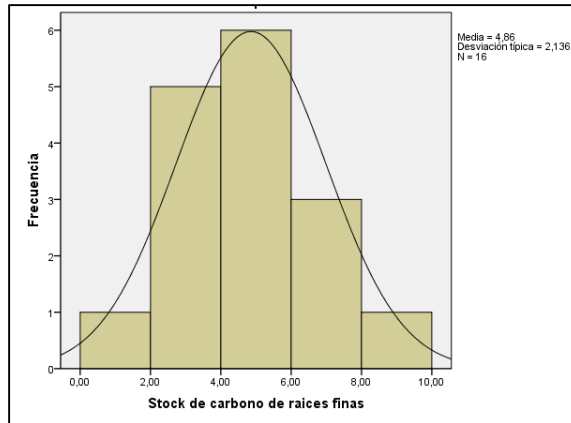


Figura 22. Curva de distribución de los datos de stock de carbono (MgCha^{-1}) del bosque de “Alp A”.

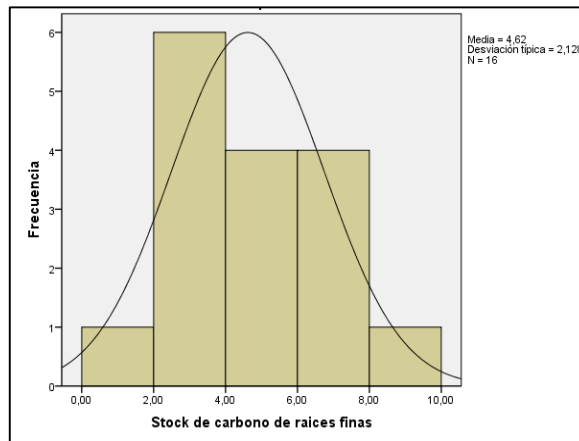


Figura 23. Curva de distribución de los datos de stock de carbono (MgCha^{-1}) del bosque de “Alp C”.

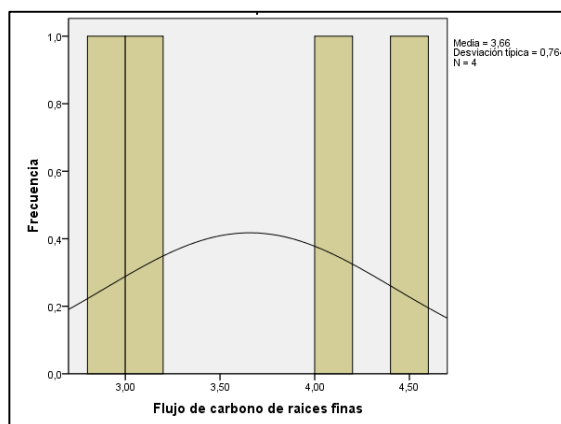


Figura 24. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del bosque de “Alp A”.

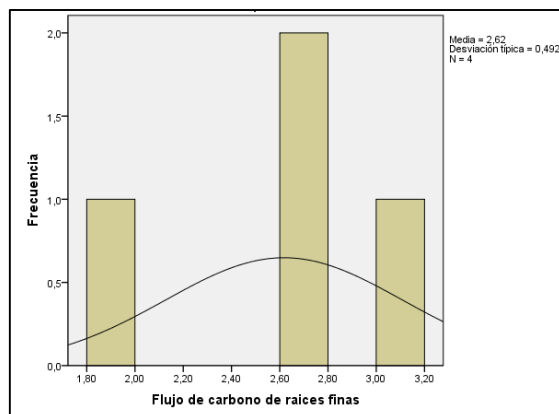


Figura 25. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del bosque de “Alp C”.

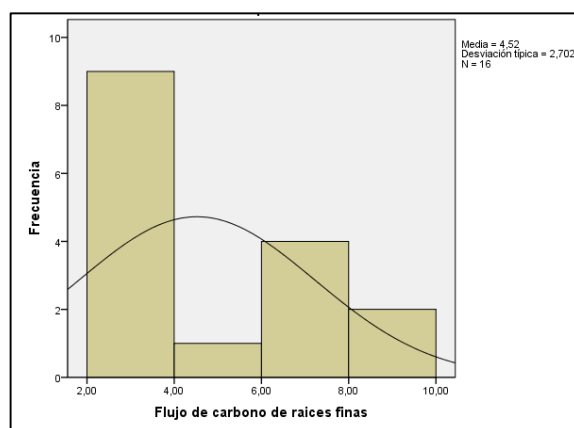


Figura 26. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del primer muestreo del bosque de “Alp A”.

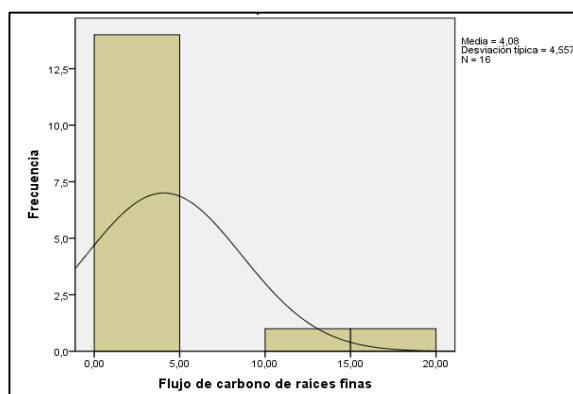


Figura 27. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del segundo muestreo del bosque de “Alp A”.

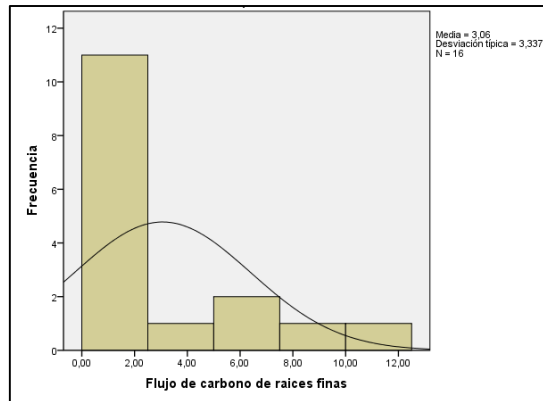


Figura 28. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas (MgCha⁻¹año⁻¹) del tercer muestreo del bosque de “Alp A”.

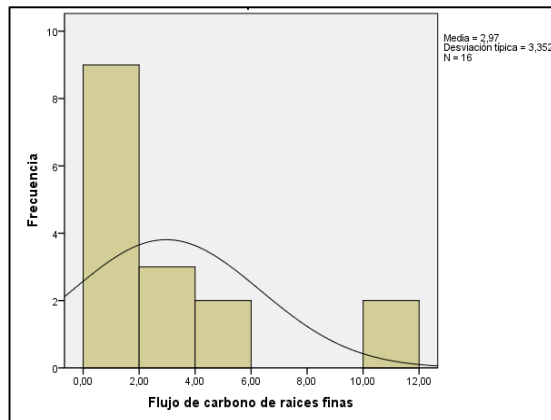


Figura 29. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas (MgCha⁻¹año⁻¹) del cuarto muestreo del bosque de “Alp A”.

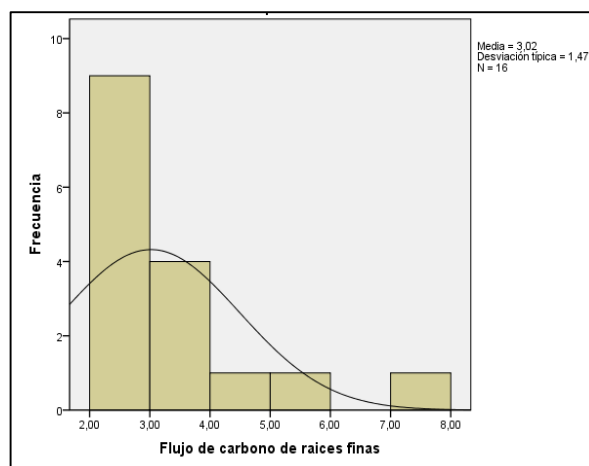


Figura 30. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas (MgCha⁻¹año⁻¹) del primer muestreo del bosque de “Alp C”.

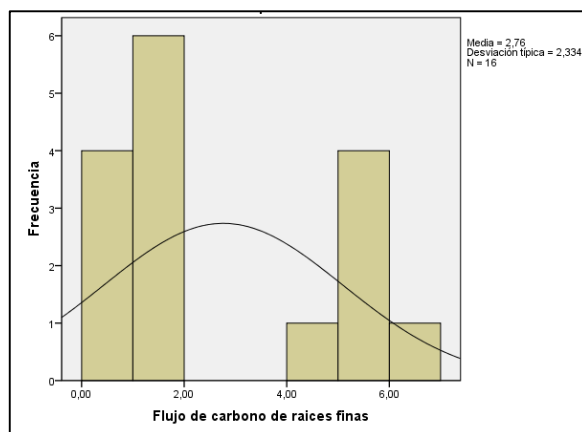


Figura 31. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del segundo muestreo del bosque de “Alp C”.

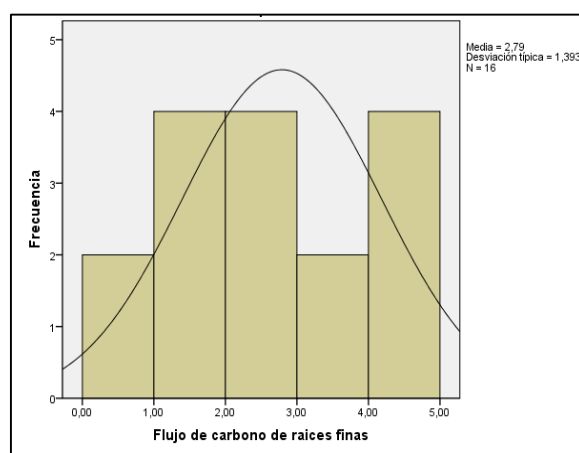


Figura 32. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del tercer muestreo del bosque de “Alp C”.

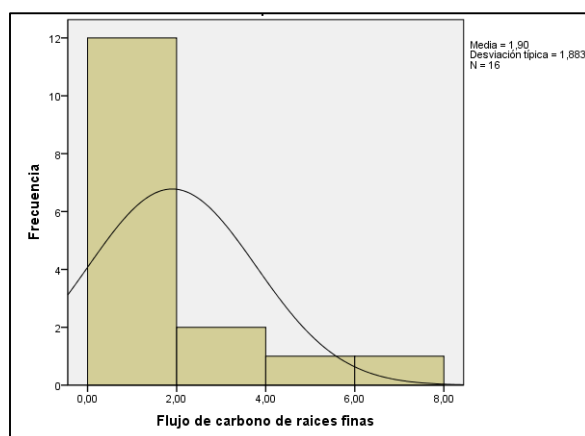


Figura 33. Curva de distribución de los datos de PPN de carbono de raíces finas ($\text{MgCha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del cuarto muestreo del bosque de “Alp C”.