



UNAP

**Facultad de
Ciencias Forestales**

**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ECOLOGÍA
DE BOSQUES TROPICALES**

TESIS

**“PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA (PPN) DE RAÍCES FINAS EN TRES
TIPOS DE BOSQUE DE JENARO HERRERA, LORETO, PERÚ”**

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

Autora

ROJAS PEÑA, María Elena

Iquitos - Perú

2016



UNAP

Facultad de
Ciencias Forestales

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DE TESIS Nº 738

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis presentado por la Bachiller **MARÍA ELENA ROJAS PEÑA**, titulada: **"PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA (PPN) DE RAÍCES FINAS EN TRES TIPOS DE BOSQUE DE JENARO HERRERA, LORETO, PERÚ"**; formuladas las observaciones y analizadas las respuestas,

la declaramos:

Con el calificativo de:

En consecuencia queda en condición de ser calificada:

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

APROBADO
Bueno
Alto

Iquitos, 19 de agosto 2016

Ing. ANGEL EDUARDO MAURY LAURA, M.Sc.
Presidente

Ing. JARLIN ARELLANO VALDERRAMA
Miembro

Ing. JOSÉ DAVID URQUIZA MUÑOZ
Miembro

Ing. RILDO ROJAS TUANAMA
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

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ECOLOGÍA EN BOSQUES
TROPICALES

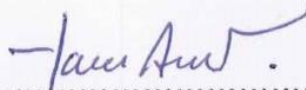
**“PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA (PPN) DE RAÍCES FINAS EN TRES
TIPOS DE BOSQUES DE JENARO HERRERA, LORETO, PERÚ”**

Tesis sustentada y aprobada el 20 de Agosto del 2016, según Acta de
Sustentación n° 738.

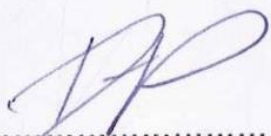
MIEMBROS DEL JURADO



.....
Ing. Angel Eduardo Maury Laura, M.Sc.
Presidente



.....
Ing. Jarlin Arellano Valderrama
Miembro



.....
Ing. José David Urquiza Muñóz
Miembro



.....
Ing. Rildo Rojas Tuanama
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres, Clara y Emilio, y mis hermanas Claudia y Lucía por brindarme todo su apoyo incondicional durante mis años de estudios y alentarme cada día a seguir estudiando.

A Jhon del Aguila por ser mi apoyo y mi guía en estos últimos años. A mi hija Luciana Victoria por ser mi motivo para seguir superándome.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – IIAP, por permitirme realizar este estudio en el marco del Proyecto Cuantificación del stock de carbono en bosques aluviales (PROBOSQUES).

A Jhon del Aguila Pasquel por el apoyo durante todo el proceso de este estudio. Asimismo, por la orientación, enseñanzas y asesoramiento brindadas durante la elaboración de la tesis.

A Rildo Rojas Tuanama, por la confianza y el asesoramiento durante el desarrollo de la tesis.

A Jhon del Aguila, Leonardo Rios, Fredy Rodriguez, Javier Sousa, Mariana Paz, Karen Arevalo, Damaris Vega, Diego Aguilar, Valeria Saldaña, Gerardo Flores, Vaness Moreano, por su apoyo en el proceso de colecta y procesamiento de raíces, haciendo posible la ejecución del presente estudio.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE	i
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. EL PROBLEMA	3
2.1 Descripción del problema	3
2.2 Definición del problema	4
III. HIPÓTESIS	5
3.1 Hipótesis general	5
3.2 Hipótesis alternas	5
3.3 Hipótesis nula	5
IV. OBJETIVOS	6
4.1 Objetivo general	6
4.2 Objetivos específicos	6
V. VARIABLES	7
5.1 Identificación de variables, indicadores e índices	7
5.2 Operacionalización de variables	7

VI.	REVISIÓN DE LITERATURA	8
6.1	Ciclo del Carbono	8
6.2	Stock y flujo de carbono	9
6.3	Raíces finas	10
6.4	Ingrowth core (IC)	12
6.5	Productividad primaria neta de raíces finas	13
6.6	Variación temporal de la PPN de raíces finas	16
6.7	Relación de la PPN de raíces finas con la precipitación	16
VII.	MARCO CONCEPTUAL	18
VIII.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
8.1	Lugar de ejecución	20
8.2	Materiales y equipos	21
8.3	Método	22
8.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
8.5	Técnicas de presentación de resultados	29
IX.	RESULTADOS	30
9.1	Productividad primaria neta (PPN) de raíces finas	30
9.2	Variación temporal de la PPN de raíces finas	31
9.3	Relación de la PPN con la precipitación	33
X.	DISCUSIONES	36
10.1	Productividad primaria neta (PPN) de raíces finas	36

10.2 Variación temporal de la PPN de raíces finas	37
10.3 Correlación de la PPN de raíces finas con la precipitación	38
XI. CONCLUSIONES	39
XII. RECOMENDACIONES	40
XIII. BIBLIOGRFÍA	41
ANEXOS	49

LISTA DE CUADROS

N°	Título	Pág.
Cuadro 1.	Variables, indicadores e índices.	07
Cuadro 2.	Comparaciones múltiples entre la PPN de raíces finas por tipo de bosque (HSD de Tukey)	31
Cuadro 3.	PPN de raíces finas por muestreo por parcela	31
Cuadro 4.	Correlación entre precipitación y PPN de raíces finas por tipo de bosque	35
Cuadro 5.	Ficha de ingreso de datos biomasa de raíces	50
Cuadro 6.	Prueba de ANOVA de un factor para PPN de raíces finas	51
Cuadro 7.	Prueba de ANOVA de un factor para PPN de raíces finas por tipo de bosque	51
Cuadro 8.	Datos de precipitación durante el periodo de muestreo	52

LISTA DE FIGURAS

N°	Título	Pág.
Figura 1.	Modelo de IC	24
Figura 2.	Tamaño y forma de parcelas con ubicación de <i>Ingrowth core</i> para extracción de raíces finas.	25
Figura 3.	PPN de raíces finas por tipo de bosque	30
Figura 4.	PPN de raíces finas por tipo de bosque por muestreo	32
Figura 5.	Comportamiento de la precipitación durante el período de muestreo	33
Figura 6.	Relación entre la precipitación y la PPN de raíces finas por tipo de bosque	34
Figura 7.	Mapa de zona de estudio y ubicación de parcelas de evaluación	49
Figura 8.	<i>Ingrowth core</i>	53
Figura 9.	Forma de acomodar el <i>Ingrowth core</i> en el suelo	53
Figura 10.	Muestra de suelo con raíces extraída del bosque de varillal húmedo	54
Figura 11.	Proceso de extracción de raíces de las muestras de suelo	54

RESUMEN

Este estudio se realizó en áreas del Centro de investigación Jenaro Herrera (CIJH) del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), ubicado en la provincia de Requena, Loreto; con la objetivo de evaluar la productividad primaria neta de raíces finas en tres tipos de bosque. La productividad primaria neta de raíces finas fue monitoreada mediante el método de Ingrowth core, en un bosque de varillal húmedo, terraza alta y restinga alta. La extracción de raíces se realizó cada 3 meses aproximadamente. Asimismo, se evaluó la correlación de la precipitación y la PPN de raíces finas. La PPN de raíces finas en el bosque de varillal húmedo fue $3.68 \pm 2.06 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en el bosque de terraza alta fue de $3.12 \pm 1.94 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y en el bosque de restinga alta fue de $1.59 \pm 0.80 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Hubo diferencia estadísticamente significativa entre el bosque de restinga alta con los otros dos tipos de bosque. No se encontró variación temporal en ninguno de los tipos de bosques. Asimismo, no se encontró correlación entre la variable estudiada y la precipitación.

Palabras claves: productividad primaria neta, raíces finas, bosque de varillal húmedo, bosque de terraza alta, bosque de restinga alta..

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales juegan un rol importante en los ciclos biogeoquímicos y, particularmente, en el ciclo global del carbono (Dixon *et al.* 1994). Debido a que contribuyen a la regulación de la concentración de dióxido de carbono (CO₂), mediante el almacenamiento de carbono en la vegetación y el suelo (Malhi *et al.* 2002).

El almacenamiento de carbono bajo el suelo es dos veces más que por encima del suelo, por lo que es reconocido como uno de los principales componentes del ciclo del carbono en los ecosistemas terrestres (Girardin *et al.* 2013 y Jackson *et al.* 1996).

Las raíces finas juegan un papel muy importante en los ecosistemas terrestres, ya que controlan la absorción de agua y nutrientes del suelo, y por lo tanto, el control de la tasa de fotosíntesis (Chen *et al.* 2004). Además, contribuyen significativamente al ciclo del carbono como la entrada principal de carbono orgánico en los suelos (Lima *et al.* 2012).

La PPN de raíces finas puede contribuir hasta un 40% de la productividad primaria neta de los bosques (Fogel, 1985 y Vogt *et al.* 1996); por eso, es importante registrar información sobre las existencias de carbono debajo el suelo (raíces finas) y así entender el funcionamiento de los bosques (Girardin *et al.* 2013).

Asimismo, es importante mejorar la comprensión de la respuesta actual y futura de la productividad primaria neta de raíces finas frente a los factores bióticos y abióticos (Chen *et al.* 2004), con el fin de predecir los cambios en su capacidad de

almacenamiento de carbono bajo diferentes escenarios climáticos (Vogt *et al.* 1996).

Dada la importancia de las raíces fina dentro del ciclo del carbono, fue necesario ampliar la información existente sobre la PPN de raíces finas, su variación temporal y su relación con algunos factores de entorno (tipo de bosque) y ambientales (precipitación). Asimismo, mejorar la comprensión sobre la función biogeoquímica de los bosques amazónicos y sentar las bases para un monitoreo a largo plazo de la dinámica de la PPN de raíces finas en estos tipos de bosque.

Por tanto, este estudio buscó evaluar la productividad primaria neta de raíces finas en tres tipos de bosque de Jenaro Herrera.

II. EL PROBLEMA

2.1 Descripción del problema

Debido al interés de entender los posibles impactos causados por el cambio climático en el bosque, en los últimos años se ha estudiado intensivamente el ciclo del carbono (Honorio y Baker, 2010). Sin embargo, a pesar de su importancia, aún es complicado monitorear de forma eficiente todos los componentes y procesos implicados en este ciclo. (Cairns *et al.* 1997).

Para cuantificar los stocks y los flujos de carbono existen muchos métodos propuestos hasta ahora. No obstante, la mayoría de estos métodos se concentran en los componentes ubicados encima del suelo como la biomasa aérea y la necromasa. Dejando de lado uno de los componentes de mayor relevancia en la fisiología y la estructura de los bosques: la biomasa debajo del suelo, representada por las raíces (Aragão *et al.* 2009).

Este vacío de información podría ser generado por la enorme dificultad que implica el estudio de las raíces, especialmente en estudios que involucran el monitoreo de los flujos de carbono a través del tiempo (Jordan y Escalante, 1980). En ese sentido, a diferencia de los stocks de carbono, que pueden ser estudiados usando métodos destructivos, la productividad primaria neta de raíces ha sido escasamente reportada (Vogt *et al.* 1996). La escasez de los reportes puede deberse a la discusión sobre el método a aplicarse para la toma de datos para los diferentes tipos de bosque.

De mantenerse esta tendencia, se seguiría subestimando los valores de la biomasa de raíces en el ciclo del carbono y no se podría explicar las

respuestas fisiológicas asociadas a su dinámica. Además no se podría evaluar si las variables ambientales (climáticas y de entorno) están asociadas en algún grado a esta dinámica. En términos generales conllevaría al poco entendimiento de la respuesta de los bosques hacia el cambio climático en una escala local, regional y global.

Por lo tanto, este trabajo propone contribuir a solucionar el problema planteado mediante el estudio de la dinámica de la productividad primaria neta de raíces finas en tres tipos de bosques tropicales, usando un método estandarizado (Marthews *et al.* 2012); con la finalidad de favorecer el entendimiento de la productividad de raíces finas en los ecosistemas en estudio, y los factores que influyen en la dinámica de este componente.

2.2 Definición del problema

2.2.1 Problema general

¿Cómo es la productividad primaria neta (PPN) de raíces finas en los tres tipos de bosque de Jenaro Herrera?

III. HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis general

Existe diferencia de la productividad primaria neta de raíces finas en los tres tipos de bosque de Jenaro Herrera.

3.2 Hipótesis alternas

Sí varía la productividad primaria neta de raíces finas de los tres tipos de bosque entre los meses de muestreo.

Sí influye la precipitación en la dinámica de la productividad primaria neta de raíces finas en los tres tipos de bosque de Jenaro Herrera.

3.3 Hipótesis nula

No existe diferencia de la productividad primaria neta de raíces finas en los tres tipos de bosque de Jenaro Herrera.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Evaluar la productividad primaria neta de raíces finas en los tres tipos de bosque de Jenaro Herrera, Loreto, Perú

4.2 Objetivos específicos

- Comparar la productividad primaria neta entre los tres tipos de bosque de Jenaro Herrera.
- Determinar la variación temporal de la productividad primaria neta de raíces finas en los tres tipos de bosque de Jenaro Herrera.
- Determinar la interrelación de la precipitación con la productividad primaria neta de raíces finas en los tres tipos de bosque de Jenaro Herrera.

V. VARIABLES

5.1 Identificación de variables, indicadores e índices

La variable dependiente considerada en el presente estudio es PPN de raíces finas, la cual será evaluada mediante el carbono almacenado, superficie de muestreo y tiempo ($t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$). Las variables independientes son: tipo de bosque, el tiempo y la precipitación.

5.2 Operacionalización de variables

Cuadro 1. Variables, indicadores e índices.

Tipo de variable	Variables	Indicadores	Índices
Dependiente	PPN de Raíces finas	Carbono almacenado	$t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$
		Superficie de muestreo Tiempo	
Independiente	Tipos de bosque	Varillal húmedo	Vegetación Suelo
		Terraza alta Restinga alta	
	Tiempo	Tiempo transcurrido entre muestreo	Muestreo 1 Muestreo 2 Muestreo 3
	Precipitación	Registros pluviométricos	Mm

VI. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1 Ciclo del Carbono

Jaramillo (2007), menciona que el carbono (C) es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos, pero su disponibilidad no es infinita en el planeta y, por tanto, circula entre la materia orgánica y el ambiente físico-químico de manera constante (ciclo del carbono). El movimiento del C ocurre a diferentes escalas espacio-temporales, que van desde el nivel molecular, pasando por el organísmico hasta el global.

Honorio y Baker (2010), indican que el ciclo de carbono está determinado por el almacenamiento y la transferencia entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos de moléculas constituidas por el elemento carbono.

Ordóñez (1999), afirma que el ciclo del carbono (C) comienza con la fijación del anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos; y finaliza, cuando estos mueren y son descompuestos por microorganismos del suelo, lo que produce que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera.

Odum y Warret (2006), refieren que el ciclo de carbono constituye un ciclo biogeoquímico muy importante para la existencia de la tierra, pues es un elemento básico para la vida. Además, agrega que se caracteriza por tener pozas muy activas, que son vulnerables a las perturbaciones artificiales, lo que a su vez modifican el clima y los patrones climáticos de manera que afectan directamente la vida sobre la tierra.

Jaramillo (2007), describe que el carbono en su unión molecular con el oxígeno, constituye el dióxido de carbono (CO_2), gas resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos, y cuya presencia en la atmósfera es fundamental en la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas de invernadero.

Además, agrega que las perturbaciones del ciclo global del carbono tienen graves repercusiones en el clima del planeta debido a las propiedades del CO_2 y del metano como gases de efecto invernadero: a una mayor concentración en la atmósfera mayor temperatura promedio global del planeta.

Malhi *et al.* (2002), señalan que en los últimos siglos, las actividades humanas han alterado fundamentalmente muchos de los ciclos biogeoquímicos de la Tierra. La primera reconocida y más prominente de estos cambios ha sido la modificación del ciclo global del carbono.

Asimismo, agrega que el CO_2 es el más importante de los gases de efecto invernadero que está atrapando cada vez más calor solar y provocando el calentamiento del clima global. Además, el CO_2 extra puede tener una serie de efectos en los ecosistemas terrestres, desde el aumento de las tasas de crecimiento de las plantas y la biomasa para la modificación de la composición del ecosistema, alterando el equilibrio competitivo entre las especies.

6.2 Stock y flujo de carbono

Honorio y Baker (2010), definen al stock de carbono como todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes. Para lo cual muestreamos: a) biomasa viva almacenada en las hojas, ramas, fuste y raíces; b) necromasa

almacenada en la hojarasca y madera muerta; y c) carbono en la materia orgánica del suelo. Y los flujos son todos aquellos procesos que afectan el stock, para lo cual se muestrea: a) fotosíntesis de las hojas, b) respiración autotrófica (árbol) y heterotrófica (hojarasca, madera muerta, suelo); c) mortalidad de troncos, ramas, hojas y raíces; y d) descomposición de la madera y hojarasca causada por los organismos degradadores.

Ordóñez (1999), sostiene que durante el tiempo en que el CO₂ se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera se considera almacenado. En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa) el CO₂ fluye para regresar al ciclo del carbono.

Honorio y Baker (2010), describen un método para diferenciar los stocks de los flujos de carbono, que es considerar las unidades de medida utilizadas. Los stocks de carbono se expresan en términos de peso por unidad de área (t ha⁻¹), mientras los valores de los flujos siempre incluyen la variable tiempo y cuantifican la cantidad de carbono que entra o sale de un componente del stock de carbono en el tiempo (t ha⁻¹ año⁻¹).

6.3 Raíces finas

Clark *et al.* (2001), señalan que la producción de raíces finas puede ocurrir durante todo el año; asimismo que su distribución puede mostrar gran variabilidad espacial.

Jackson *et al.* (1997), mencionan que las raíces finas (≤ 2 mm de diámetro) son la principal vía de absorción de agua y nutrientes por las plantas, el mismo papel

que juega para la captación de carbono y energía. Asimismo, agrega que son también un prominente sumidero de carbono adquirido en la productividad primaria neta terrestre.

Lukac (2012), indica que las raíces finas constituyen una interfaz entre las plantas y los suelos, siendo responsables de la mayor parte de la adquisición de agua y nutrientes, por lo tanto juegan un papel crucial en los ciclos del carbono de los bosques.

Finer *et al.* (2007), afirman que las raíces finas son muy dinámicos y juegan un papel clave en los ecosistemas forestales, sobre todo en el ciclo de nutrientes. Asimismo, demostraron que la cantidad de biomasa de raíces finas está fuertemente ligada a biomasa por encima del suelo.

Las raíces finas tienen una vida útil mucho más corta que las raíces gruesas, como consecuencia, su biomasa varía estacionalmente debido a las condiciones ambientales cambiantes. (Lukac, 2012).

Silver *et al.* (2005), sostienen que los bosques tropicales se caracterizan por tener gran biomasa de raíces finas y rápidas tasas de producción y descomposición de raíces.

Honorio y Baker (2010), señalan que existen pocos estudios sobre el stock de carbono total en las raíces porque es un componente difícil de medir, sin embargo, existen metodologías que enfocan los esfuerzos en la medición de las raíces finas, uno de estos es a través de la colecta de raíces en un volumen determinado de suelo en intervalos de tiempos definidos, mediante el cual, se

puede estimar la cantidad de carbono almacenado en este componente y su productividad.

Sayer *et al.* (2006), mencionan que la cantidad de hojarasca en la superficie del suelo afecta el comportamiento de las raíces finas. Ya que las capas de raíces se forman generalmente en el primer horizonte del suelo, donde se encuentra acumulada la hojarasca.

Shaver y Aber (1996), proponen el aumento de la masa de raíces finas y asignación de carbono con la disminución de la calidad del sitio, la disponibilidad de nutrientes o bajo más condiciones xerófilas.

6.4 *Ingrowth core (IC)*

Vogt *et al.* (1998), describen a los IC como un método para estimar la producción de raíces finas en el campo, que consiste en retirar una muestra de suelo intacta y retirar las raíces de esa muestra. El suelo libre de raíces se vuelve a añadir en el agujero, conteniendo esta las mallas que servirá para identificar y extraer la misma muestra de suelo en las posteriores salidas de campo. El crecimiento de las raíces se considera como producción de raíces.

Adams y Hutchinson (1992) y Cuevas y Medina (1986), mencionan que los IC pueden ser usados para obtener datos sobre (1) Las tasas relativas de crecimiento de raíces en diferentes ambientes (producción de la raíz), (2) El efecto de los diferentes nutrientes (p.e. utilizando P, Ca y N), oligoelementos, o microorganismos simbióticos sobre el crecimiento de la raíz, y (3) para identificar el papel de los patógenos o elementos traza tóxicos en sitios recíprocamente por el trasplante sano frente a enfermo del suelo en núcleos de crecimiento.

Vogt *et al.* (1998), indican que este método fue introducido por Flower-Ellis y Persson en 1980 y ha sido aplicado en cultivos agrícolas y los ecosistemas forestales. Además, menciona que este método es muy muy eficaces en el estudio de los ecosistemas en donde el crecimiento de la raíz es rápida (por ejemplo, zonas tropicales húmedas).

Cuevas y Medina (1986), afirman que en algunos ecosistemas, los IC son una herramienta muy útil para comparar el crecimiento de raíces entre sitios o entre manipulaciones experimentales. Por ejemplo, para estudiar las interacciones entre la disponibilidad de nutrientes, descomposición de la materia orgánica y la producción de raíces en los bosques tropicales en Venezuela

6.5 Productividad primaria neta de raíces finas

Girardin *et al.* (2013), mencionan que la productividad primaria neta es la cantidad de biomasa o materia vegetal producida por los organismos autótrofos por unidad de tiempo.

De acuerdo a Cairns *et al.* (1997) y Vogt *et al.* (1996), la PPN de raíces finas puede constituir más del 50% de la productividad primaria neta de los bosques; asimismo, agregan que el patrón de distribución de la biomasa de la raíz en un ecosistema forestal depende principalmente de las características del suelo y del clima.

Girardin *et al.* (2010), estudiaron la PPN en nueve tipos de bosques de una gradiente en los andes peruanos. Los valores para PPN de raíces finas van desde 1.23 t C ha⁻¹ año⁻¹ (a 3025 msnm) a 6.80 t C ha⁻¹ año⁻¹ (a 210 msnm), que representó la mayor proporción de la productividad bajo el suelo.

Aragão *et al.* (2009), evaluaron la PPN de diez tipos de bosque de la cuenca amazónica y registraron que la PPN de raíces finas varió entre $2.0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $7.6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Siendo los sitios con los suelos más fértiles los que presentaron mayor PPN de raíces finas. Asimismo, determinaron que no existe diferencia significativa entre la PPN de raíces de suelos arcillosos y arenosos.

Girardin *et al.* (2013), determinaron la dinámica de raíces finas en una gradiente altitudinal en siete tipos de bosques amazónicos. Los valores de la PPN de raíces finas oscilaron entre $1.31 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (3020 m) y $3.26 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (1855 m).

Sierra *et al.* (2007), realizaron un estudio de la productividad neta en 33 parcelas (20 x 50 m), con características similares en bosques tropicales de Colombia. El valor obtenido para la PPN de raíces finas fue de $1.5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Jordan y Escalante (1980), estudiaron la PPN de raíces finas en un bosque de Venezuela bajo seis escenarios experimentales. Obteniendo valores de productividad entre $0.3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $1.23 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Del Aguila-Pasquel *et al.* (2014), analizaron los componentes del ciclo de carbono en dos tipos de bosque de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana: bosque de terraza media (suelo franco arcillo arenoso) y bosque sobre arena blanca. Los valores de PPN de raíces finas reportados fueron de $3.02 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $3.50 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente.

Jiménez *et al.* (2009), evaluaron la dinámica de raíces finas en dos bosques sobre suelos contrastantes en la amazonia colombiana (suelo arcilloso y arena blanca). De esta manera determinaron que hubo diferencia significativa entre la

productividad de raíces finas de ambos bosques ($1.51 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $2.94 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para suelo arcilloso y arena blanca respectivamente).

Metcalfe *et al.* (2008), evaluaron la PPN de raíces finas en cuatro tipos de bosque de planicie: suelo arenoso, suelo seco, suelo arcilloso y suelo fértil; donde registraron $2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, $1.5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, $2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $3.5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente para cada tipo de bosque.

Silver *et al.* (2005), analizaron la dinámica de raíces finas en dos bosques con distintos tipos de suelo, obteniendo una PPN promedio de raíces finas de $1.11 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el bosque de suelo arcilloso, y $1.01 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el bosque de suelo arenoso.

Lima *et al.* (2012), describen la productividad de raíces finas en dos bosques secundarios con edades diferentes, obteniendo una productividad de $1.77 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el sitio de 10 años de edad; y $1.72 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para el de 18 años de edad.

Burke y Chambers (2003), evaluaron la PPN de raíces finas dos tipos de bosques influenciados por la inundaciones usando dos métodos distintos, donde encontró una PPN que varía de $0.15\text{-}2.8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Asimismo, encontraron que largos períodos de inundación se asocian con una menor producción de raíces.

Baker *et al.* (2001), estudiaron la PPN de raíces finas en un bosque inundable clasificado por la condición de drenaje, utilizando el método de minirizotrones donde encontraron una PPN de raíces finas entre $0.9\text{-}1.8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Además, indica que los valores obtenidos puede atribuirse a las diferencias en la vegetación, reducción del crecimiento en respuesta a la humedad e hipoxia (exceso de agua y por tanto falta de oxígeno). Asimismo, menciona que la producción de raíces aumenta con la decreciente de la humedad en el suelo.

6.6 Variación temporal de la PPN de raíces finas

Sierra *et al.* (2007), realizaron un estudio de la PPN en bosques de Colombia. Obtuvieron una PPN de raíces finas de $1.21 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ durante el primer año y $2.19 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ durante el segundo año.

En su estudio, Jiménez *et al.* (2009) mostraron una clara variación temporal de la PPN de raíces finas entre los tipos de bosque estudiados durante el período de seguimiento.

Silver *et al.* (2005), estudiaron dos tipos de bosque con suelo diferentes, encontrando para el bosque de suelo arcilloso una PPN de raíces finas de $1.22 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el año 1 y $0.78 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en el año 2; asimismo, $1.27 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $0.74 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el año 1 y 2 respectivamente en el bosque de suelo arenoso.

6.7 Relación de la PPN de raíces finas con la precipitación

Metcalf *et al.* (2008), evaluaron los efectos de la disponibilidad de agua en la PPN de raíces finas en cuatro tipos de bosque (suelo arenoso, suelo seco, suelo arcilloso y suelo fértil), concluyendo que la productividad de raíces finas es menor en temporadas secas y mayor durante la temporada húmeda en todos los tipos de bosque.

Lima *et al.* (2012), relacionaron la productividad de raíces finas con la precipitación, concluyendo que la PPN de raíces finas fue estacional y significativamente mayor en la época seca que en la temporada de lluvias para ambos sitios.

Jiménez *et al.* (2009), analizaron la influencia de la precipitación en la PPN de raíces finas, los resultados del análisis muestran que existe una presenta correlación significativa entre la PPN de raíces finas y la precipitación en ambos tipos de bosque.

Girardin *et al.* (2013), evaluaron la relación de algunos factores en la PPN de raíces finas, encontrando que la productividad de raíces finas se correlacionó positivamente con el suelo, y tuvo una pobre correlación con la precipitación.

García-Oliva y Tapia (2001), señalan que la PPN de raíces finas presenta cambios estacionales, ya que durante los meses más lluviosos se observa mayor PPN, mientras que durante la época seca la PPN tiende a disminuir, es decir, existe una elevada tasa de mortalidad de raíces finas.

Lima *et al.* (2012), indican que son varios los factores ambientales afectan a la PPN de raíces finas: como la estacionalidad, los nutrientes del suelo, la temperatura y humedad del suelo, la composición florística, etapa de sucesión forestal y de uso de suelo de la historia.

VII. MARCO CONCEPTUAL

Biomasa. Masa de materia seca en una zona o hábitat, que suele expresarse por unidad de superficie de terreno o por unidad de volumen de agua. (**Barreiro y Roche, 2000**).

Bosque de restinga. Comprende las cimas onduladas, expuestas a inundación en periodos de creciente irregular. El suelo es limoso por sedimentación. (**Encarnación, 1993**).

Bosque de terraza alta. Se encuentran ubicadas en las partes altas de las cuencas, inmediatamente después de las terrazas medias, se caracterizan por su buen drenaje, presentan ondulaciones o pendientes. (**Malleux, 1982**).

Bosque sobre arena blanca húmedo (varillal húmedo). Áreas con suelo con delgada capa de humus negruzco de 15-20 cm, y una capa de arena grisácea de 50-80 cm. Vegetación heliófila y esclerófila, muy densa, con árboles delgados y rectos, con raíces fúlcreas con amplia base caulinar muy ramificada. (**Encarnación, 1993**).

Ciclo biogeoquímico. Son vías más o menos cíclicas de los elementos químicos (por ejemplo: carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, etc.) que tienden a circular en la biosfera que van desde el entorno a los organismo y de regreso otra vez al entorno. (**Odum y Warret, 2006**).

Ingrowth core. Es un método para medir el crecimiento de raíces finas a profundidades menores de 30 cm (**Metcalfe et al. 2008**).

Productividad primaria neta (PPN). La cantidad de carbono orgánico retenido en la biomasa vegetal en el tiempo, que resulta de la diferencia entre PPB y la respiración autótrofa (Ra). (**Aragão et al. 2009**). Los componentes de la PPN incluyen la producción de tallos, ramas, hojas, flores, frutos, raíces gruesas y finas, compuestos orgánicos volátiles y de exudados de las raíces. (**Girardin et al. 2010**).

Raíz fina. Son consideradas raíces fina a aquellas raíces que miden menos de 2 mm de diámetro (**Metcalfe et al. 2008**).

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Lugar de ejecución

El presente estudio se realizó en tres parcelas de muestreo en tres distintos tipos de bosque (**López-Parodi y Freitas, 1990 y Nebel et al., 2001**) del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – IIAP; ubicado en el Distrito Jerano Herrero, provincia de Requena, departamento de Loreto; en la margen derecho del río Ucayali a unos 200 km al sur de la ciudad de Iquitos (**Figura 7 del anexo**).

Geográficamente se encuentran en:

- Bosque de varillal húmedo: 4° 53' 55.3" S y 73° 37' 42.4" O
- Bosque de terraza alta: 4° 52' 40.2" S y 73° 37' 47.6" O
- Bosque de restinga alta: 4° 54' 54.6" S y 73° 44' 28.4" O

Según el mapa ecológico de zonas de vida el área se ubica dentro de la zona de vida bosque húmedo Tropical (bh-T).

8.1.1 Accesibilidad

La principal vía de acceso es fluvial. El transporte se realiza en un bote deslizador con motor de 60 HP, el viaje dura 5 horas desde la ciudad de Iquitos. En embarcaciones de transporte masivo (lancha) el viaje demora de 12 a 14 horas dependiendo del caudal del río.

8.1.2 Clima

El clima es ecuatorial, con $2\ 759 \pm 553$ mm de precipitación promedio anual, la menor precipitación ocurre durante los meses de junio a setiembre. La

temperatura media es de $26,8 \pm 1,5^{\circ}$ C, con mínima y máxima de $20,6$ y $32,9^{\circ}$ C respectivamente. La humedad relativa promedio es de $85,9\%$, con valores menores de julio a octubre ($84,0- 85,2\%$) y valores máximos en los meses de febrero y abril ($87,2\%$). Durante los periodos marzo-mayo y agosto-octubre ocurren los valores máximos y mínimos del nivel del río Ucayali respectivamente **(Nebel et al. 2001)**.

8.1.3 Fisiografía

La fisiografía de la zona de Jenaro Herrera ha sido dividida en cinco grandes unidades de acuerdo a criterios geomorfológicos. La planicie de inundación, terraza de inundación, terraza baja, terraza alta y colina baja. Mientras que las dos primeras unidades están localizadas en la planicie aluvial, las tres restantes están en la planicie interfluvial. **(Freitas, 1996)**.

8.1.4 Suelo

Los suelos de la zona pertenecen predominantemente al orden Ultisols. La textura varía de franco arcillo-arenosa a franco arenoso. Tienen reacción ácida. El contenido de materia orgánica es bajo. La capacidad de intercambio catiónico es baja y la disponibilidad de nutrientes también es muy baja, con un $90- 95\%$ de Aluminio intercambiable. **(Inga y López, 2001)**.

8.2 Materiales y equipos

Materiales de Campo: Machete, Global Position System (GPS), Brújula Suunto, Tubos PVC de $3/8''$, Pintura roja, Wincha de 50 m, Cámara digital, Cavador, Cronómetro, Malla plástica para cerco de $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$, Hilo nylon de pescar,

Bolsas plásticas pequeñas, Plástico de 1 m², Marcador permanente, Formatos de campo, Lápiz portaminas

Materiales de Post-campo: Balanza analítica, Bolsas de papel periódico, Estufa secadora, Programa Microsoft Excel, Programa IBM SPSS Statistics 20, Hojas A-4, Computadora, Impresora, Materiales de escritorio.

8.3 Método

8.3.1 Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es no experimental y el nivel es básico.

8.3.2 Población y muestra

Población: Bosque de varillal húmedo, terraza alta y restinga alta periódicamente inundable.

Muestra: *Ingrowth core* (IC) instalados en cada tipo de bosque.

8.3.3 Diseño estadístico

Se utilizaron tres tipos de prueba paramétricas:

- Análisis de varianza (ANOVA) para comparar la PPN de raíces finas entre tipos de bosque y determinar la variación temporal.
- Tukey como prueba post hoc para el ANOVA de un factor.
- Correlación de Pearson para determinar la relación de la PPN de raíces finas con la precipitación.

Todas las pruebas se realizaron con el Software IBM SPSS Statistics 20.

8.3.4 Procedimiento

8.3.4.1 Fase de Pre-Campo

8.3.4.1.1 Definición del área de estudio

Teniendo en cuenta los objetivos, variables y el problema a resolver, se eligió el área donde se llevará a cabo el estudio.

8.3.4.1.2 Recopilación de información bibliográfica

Mediante la revisión de textos bibliográficos (libros, revistas y artículos científicos) en forma impresa y/o electrónica, se obtuvo información importante sobre estudios relacionados.

8.3.4.1.3 Elaboración de los formatos de toma de datos

Se elaboraron los formatos de recolección de datos en campo teniendo en cuenta las metodologías ya establecidas sobre el monitoreo de stock y flujos de carbono en raíces finas (**Marthews et al. 2012**) (**Cuadro 5 del anexo**).

8.3.4.1.4 Elaboración de IC

Los IC son una forma de medir el crecimiento de raíces finas a profundidades menores de 30 cm (**Metcalfe et al. 2008**). Un IC consiste en una malla de cerco (abertura de malla de 2 cm²) doblada en forma de cilindro con las siguientes dimensiones: 12 cm de diámetro por 40 cm de largo (**Figura 1**). Para facilitar el trabajo de campo, los IC se elaboraron en esta etapa, se construyeron 16 para cada una de parcelas.

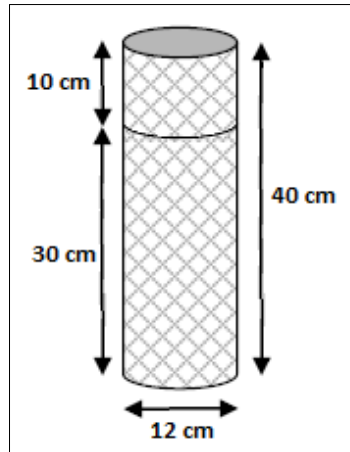


Figura 1. Modelo de IC. Fuente: Marthews *et al.* 2012.

8.3.4.2 Fase de Campo

8.3.4.2.1 Reconocimiento general del área de estudio

Mediante un breve recorrido se ubicó la zona exacta en donde se estableció la parcela para el estudio. Esa zona se caracterizó por tener un tipo de suelo y estructura del bosque casi homogéneo, tener un acceso adecuado y no estar expuesto a perturbaciones humanas continuas.

8.3.4.2.2 Demarcación y establecimiento de la parcela

Las parcelas instaladas para el estudio tuvieron una forma rectangular (**Figura 2**) de una hectárea (1 ha), cada parcela fue dividida en 25 subparcelas. En cada uno de los vértices de las subparcelas se colocaran marcas permanentes (tubos de PVC de 1 pulgada). Se georreferenció cada esquina de la parcela y se anotó la orientación de la parcela. Asimismo, se tomaron datos del tipo de vegetación, perturbación natural y antropogénica, y las principales características de cada subparcela.

8.3.4.2.3 Instalación de IC y colecta de raíces finas

Los experimentos para la evaluación de las raíces finas fueron instalados según la metodología descrita por **Marthews *et al.* (2012)**.

En cada parcela, se seleccionaron los puntos de muestreo de raíces, mediante una distribución de 4 x 4 (**Figura 2**). En cada punto se descartó la hojarasca superficial y se cavó un hoyo de 30 cm de profundidad y ~12 cm de diámetro. El suelo desenterrado de cada hoyo fue colocado en un pedazo de plástico de 1 m², donde se procedió a la extracción manual de las raíces finas por cuatro intervalos de 10 minutos. Las raíces extraídas en cada intervalo fueron colocadas en bolsas de plástico debidamente rotuladas.

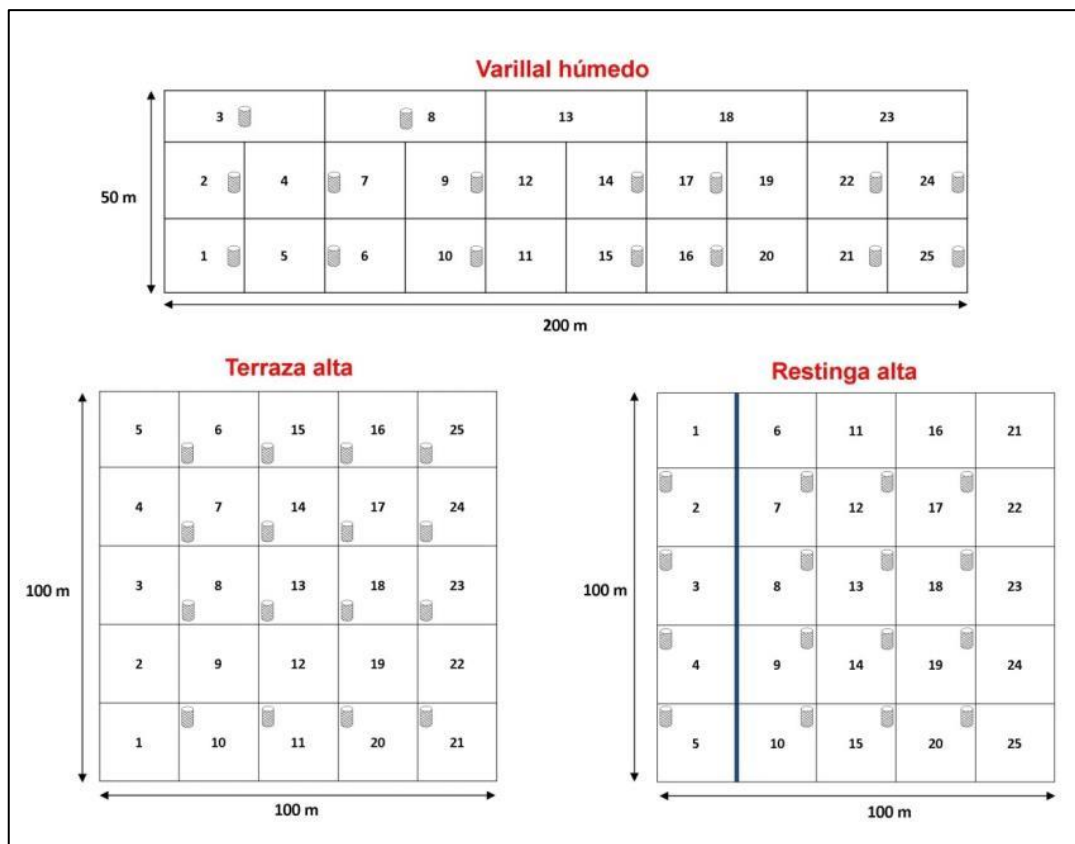


Figura 2. Tamaño y forma de parcelas con ubicación de *Ingrowth core* para extracción de raíces finas.

Luego, se insertó el IC en el hoyo de tal manera que los 10 cm superiores quedaron por encima de la superficie del suelo. Luego se devolvió el suelo libre de raíces desenterrado previamente. Asimismo, se colocó sobre el IC la misma cantidad de hojarasca descartada inicialmente para imitar las condiciones de campo. El primer muestreo fue considerado como el stock de carbono de raíces finas.

Este procedimiento de extracción de raíces se repitió cada ~3 meses, con la excepción que ya no se tuvo que cavar el suelo, sino solo se desenterró el suelo presente en cada IC.

8.3.4.2.4 *Datos meteorológicos*

La precipitación fue registrada en la Estación Meteorológica Genaro Herrera del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), ubicada en las coordenadas 04°54'01" S y 73°39'00" O. El dispositivo usado para medir esta variable fue el pluviómetro.

8.3.4.3 Fase de Post-campo

8.3.4.3.1 *Procesamiento de raíces finas*

En el laboratorio se lavaron y se escurrieron las raíces, luego se colocaron en bolsas de papel debidamente rotuladas y se secaron a 80° C hasta obtener un peso constante. Después se pesó las raíces con diámetro menor a los 2 mm.

8.3.4.3.2 Análisis de datos

A. Curva de proyección

La extracción de raíces en cuatro tiempos de 10 minutos es utilizado para generar una regresión entre el peso seco acumulado de raíces vs el tiempo de colecta. A partir de esta regresión se generó una ecuación tipo $y = a \times \ln x + b$ que permitió estimar el peso seco acumulado de raíces hasta los 120 minutos, que es el tiempo donde se podrá extraer casi el 100% de raíces finas en una muestra de suelo con las características definidas previamente (**Metcalf et al. 2007**).

B. Biomasa y carbono de raíces finas

Se estimó la biomasa por unidad de área muestreada usando la siguiente fórmula:

$$\text{BRF (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{PSA (g)}}{\text{A}_{IC} \text{ (cm}^2\text{)}} \times 100$$

Ecuación 1. Calculo de la biomasa de raíces finas por IC

Dónde: **BRF** es la biomasa de raíces finas; **PSA** es el peso seco acumulado de raíces finas en cada IC; y **A_{IC}** es el área del IC.

Luego se añadió el factor de corrección del 31% para la biomasa de raíces finas por debajo de los 30 cm de profundidad (**Jackson et al. 1996**). De esta manera se cubrirá el perfil del suelo en su totalidad.

El contenido de carbono para los compartimientos por encima del suelo, debajo del suelo y en la madera muerta constituye el 50% de la biomasa de los mismos (**Ter Steege, 2001; Gasparri y Mangh, 2004; Schlegel, 2001**). Por tanto este

factor fue usado para convertir biomasa de raíces finas en su equivalente de carbono.

$$CRF \text{ (t C ha}^{-1}\text{)} = \frac{BRF}{2}$$

Ecuación 2. Cálculo de carbono de raíces finas por IC

Dónde: **CRF** es el carbono de raíces finas; **BRF** es la biomasa de raíces finas; y **2** es el factor utilizado para convertir biomasa en equivalentes de carbono.

C. Productividad primaria neta (PPN) de raíces finas

La PPN se calculó usando la siguiente fórmula:

$$PPN_{RF} \text{ (tC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}\text{)} = \frac{CRF}{T}$$

Ecuación 3. Cálculo de la productividad primaria neta de raíces finas por IC

Dónde: **PPN_{RF}** es la productividad primaria neta de raíces finas, **CRF** es el carbono de raíces finas; y **T** es el tiempo transcurrido entre muestreos (años).

Finalmente para obtener la PPN de raíces finas por parcela se promedió los valores de PPN obtenido en todos los IC de cada parcela:

$$PPN_{RFT} \text{ (t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}\text{)} = \frac{1}{16} * \sum_{i=1}^{16} PPN_{RF}^i$$

Ecuación 4. Cálculo de la productividad primaria neta de raíces finas por parcela

Dónde: PPN_{RFT} es la productividad primaria neta de raíces finas por parcela; PPN_{RF} es la PPN de raíces finas por IC; y **16** es el número de IC por parcela.

8.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se usaron las técnicas de observación directa para establecer los puntos de muestreo y recolección de las muestras de raíces finas de cada uno de los puntos dentro de las parcelas en estudio.

Los instrumentos para la recolección de datos de raíces finas fueron la evaluación directa con el uso de formato de toma de datos y los materiales de campo respectivos. Para obtener los datos de precipitación se usó el pluviómetro, de la estación meteorológica.

8.5 Técnicas de presentación de resultados

Los resultados se presentan mediante tablas y gráficos donde se observan los valores de las variables evaluadas, seguido del análisis e interpretación.

IX. RESULTADOS

9.1 Productividad primaria neta (PPN) de raíces finas

Hubo diferencia estadísticamente significativa en la PPN de raíces finas por tipo de bosque ($F=13.479$, $p<0.000$, **Cuadro 6 del anexo**). El valor más alto fue registrado en el bosque de varillal húmedo (3.68 ± 2.06 t C ha⁻¹ año⁻¹), seguido por el bosque de terraza alta (3.12 ± 1.94 t C ha⁻¹ año⁻¹) y finalmente por el bosque de restinga alta (1.59 ± 0.80 t C ha⁻¹ año⁻¹, **Figura 3**).

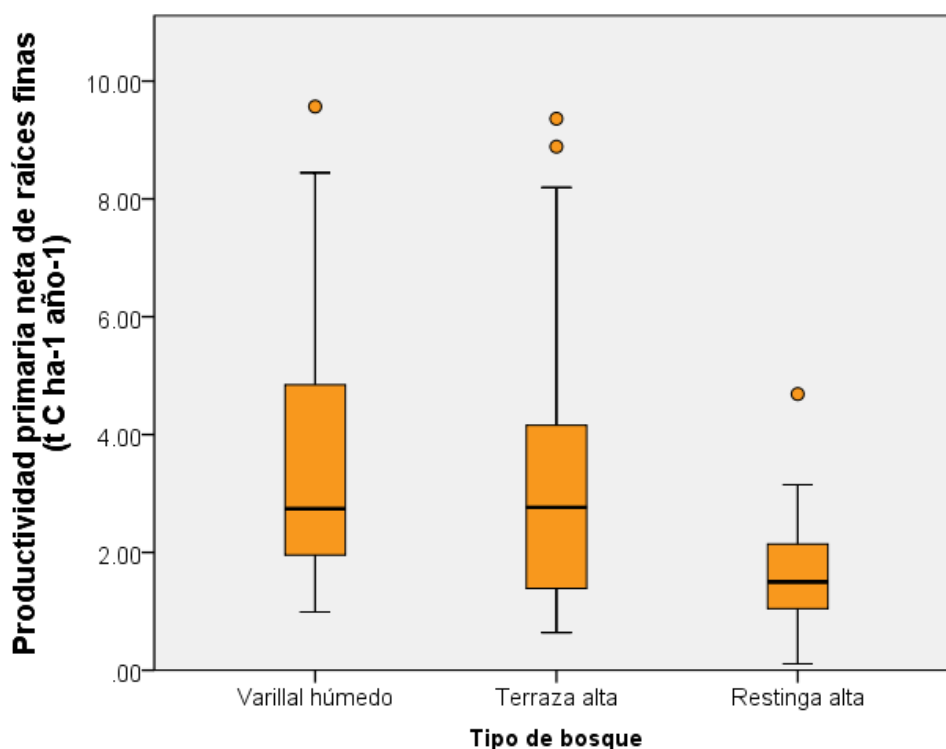


Figura 3. PPN de raíces finas por tipo de bosque

La prueba de HSD Tukey demostró que solamente la PPN de raíces finas en el bosque de restinga alta es estadísticamente diferente a los otros tipos de bosque, formándose de esta manera dos subconjuntos (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Comparaciones múltiples entre la PPN de raíces finas por tipo de bosque (HSD de Tukey)

Tipo de bosque	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Restinga alta	41	1.6148	
Terraza alta	70		3.1240
Varillal húmedo	54		3.5275
P		1,000	,506

9.2 Variación temporal de la PPN de raíces finas

El **Cuadro 3** y la **Figura 4** muestran los valores de la PPN de raíces finas en los tres tipos de bosques en cada muestreo realizado. No hubo variación temporal estadísticamente significativa de la PPN de raíces finas en ninguno de los tipos de bosque evaluados (varillal húmedo: $F=2.542$, $p=0.067$; terraza alta: $F=1.808$, $p=0.138$; restinga alta: $F=2.442$, $p=0.100$) (**Cuadro 7 del anexo**).

Cuadro 3. PPN de raíces finas por muestreo por parcela

Tipo de Bosque	Muestreo	PPN de raíces finas (t C ha ⁻¹ año ⁻¹)	SD
Varillal húmedo	2	3.19	1.97
	3	4.66	2.63
	4	2.67	1.35
	5	4.21	2.30
	1	4.16	1.23
Terraza alta	2	2.27	1.11
	3	2.99	2.27
	4	2.97	2.00
	5	3.19	3.11
	1	2.00	1.01
Restinga alta	3	1.34	0.52
	5	1.43	0.87

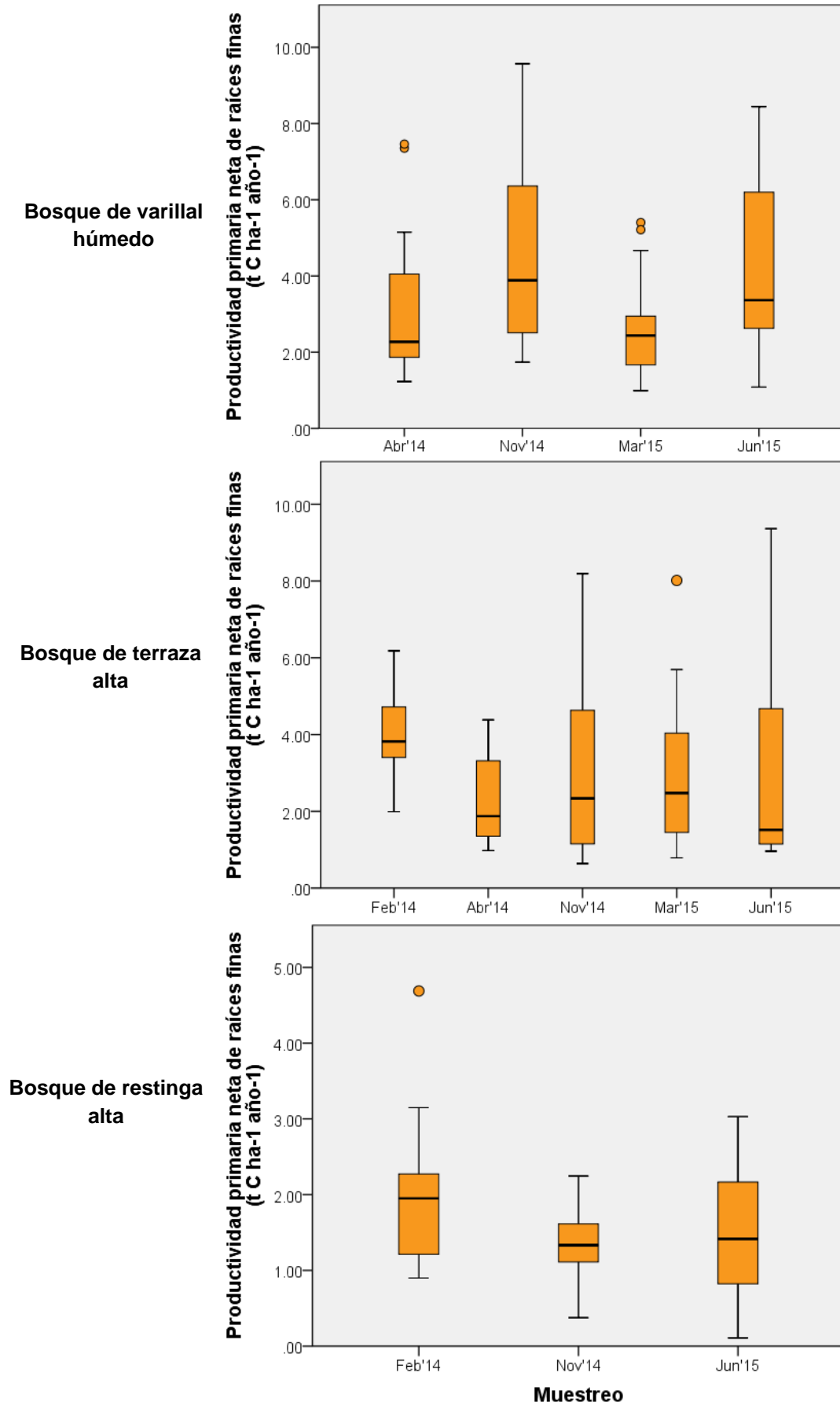


Figura 4. PPN de raíces finas por tipo de bosque por muestreo

9.3 Relación de la PPN con la precipitación

La **Figura 5** y **Cuadro 8 del anexo** muestra que, durante el periodo de muestreo, la precipitación varió de 147.0 a 362.0 mm por mes. Asimismo, mostró una tendencia irregular con los valores más altos en enero del 2015 y octubre del 2014, y más bajos en febrero del 2015 y agosto del 2014.

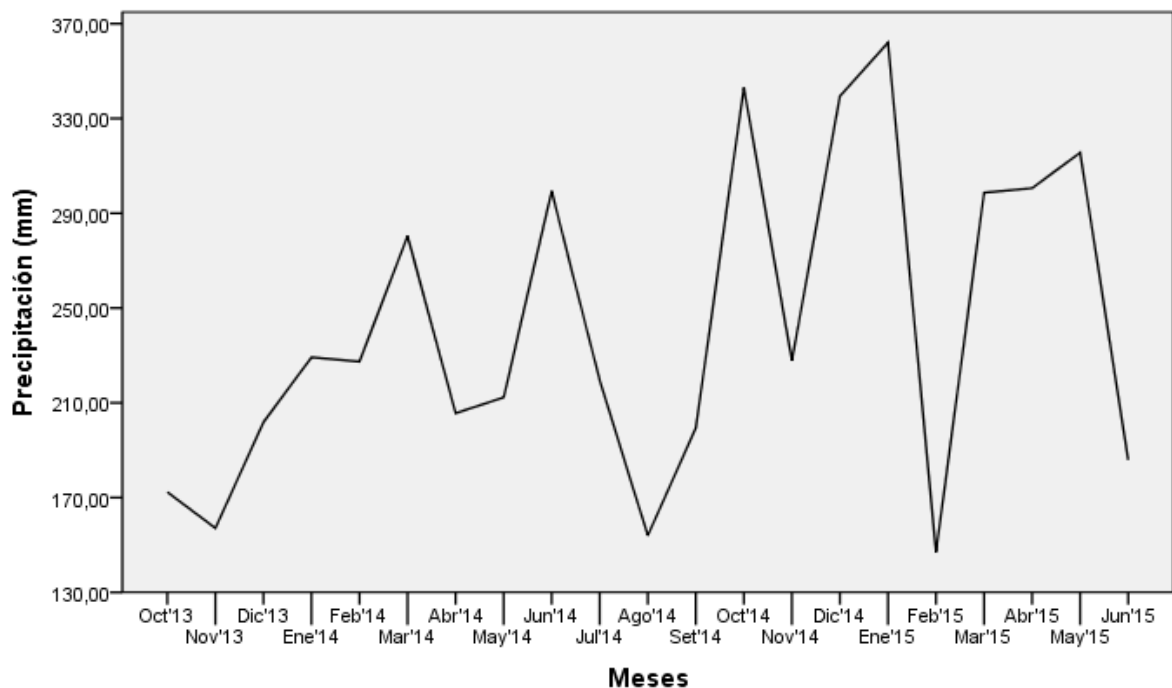


Figura 5. Comportamiento de la precipitación durante el período de muestreo.

La precipitación y la PPN de raíces finas por tipo de bosque no mostraron una tendencia definida (**Figura 6**). Asimismo, no hubo relación significativa entre ambas variables en los tres tipos de bosque. Sin embargo, cabe resaltar que la relación fue inversamente proporcional para los tres casos, débil para varillal húmedo y terraza alta, y moderada para restinga alta (**Cuadro 5**).

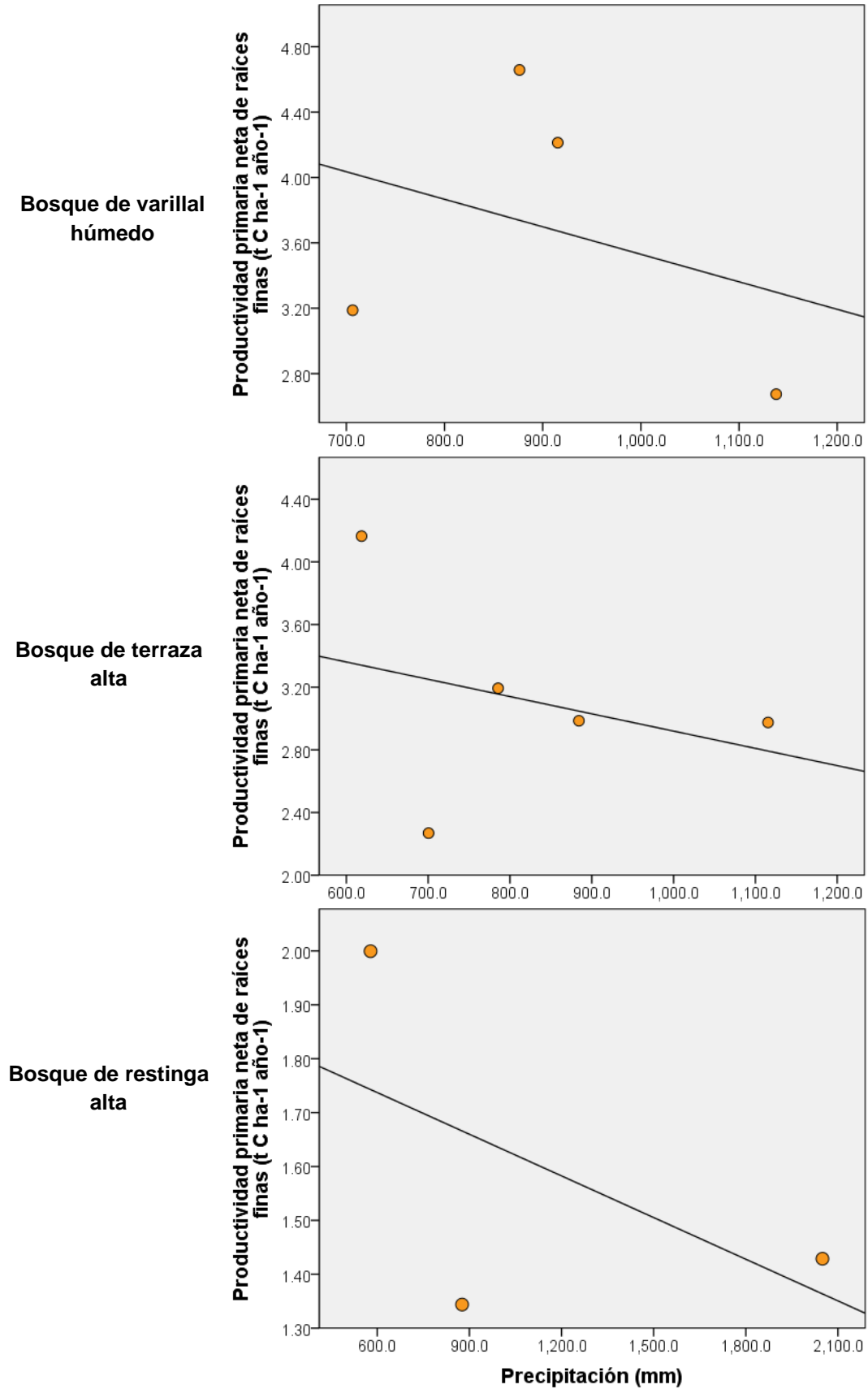


Figura 6. Relación entre la precipitación y la PPN de raíces finas por tipo de bosque.

Cuadro 4. Correlación entre precipitación y PPN de raíces finas por tipo de bosque.

Tipo de Bosque	Variable / Precipitación	
	r	p
Varillal húmedo	-0.331	0.669
Terraza alta	-0.303	0.620
Restinga alta	-0.562	0.620

r: coeficiente de correlación; p: significancia

X. DISCUSIONES

10.1 Productividad primaria neta (PPN) de raíces finas

Los valores de PPN de raíces finas del presente estudio (1.59-3.68 t C ha⁻¹ año⁻¹, **Cuadro 2**) se encuentran en el rango reportado por Girardin *et al.* (2010 y 2013) y Aragão *et al.* (2009) para bosques de la amazonia brasilera (1.23-7.6 t C ha⁻¹ año⁻¹); sin embargo, son mayores al rango reportado por Sierra *et al.* (2007) y Jordan y Escalante (1980) para la amazonia colombiana y venezolana (0.3-1.5 t C ha⁻¹ año⁻¹)

La PPN de raíces finas para el bosque de varillal húmedo (3.68 t C ha⁻¹ año⁻¹) es ligeramente superior a lo reportado por del Aguila-Pasquel *et al.* (2014) para bosques sobre arena blanca de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana (3.50 t C ha⁻¹ año⁻¹). Asimismo, está por encima de los valores reportados por Jiménez *et al.* (2009) y Metcalfe *et al.* (2008), para suelos arenosos en amazonia colombiana y brasilera (2.94 y 2.00 t C ha⁻¹ año⁻¹, respetivamente).

Los valores de PPN de raíces finas en el bosque de restinga alta (1.34-2.0 t C ha⁻¹ año⁻¹) se encuentran dentro del rango reportado por Burke y Chambers (2003) y Baker *et al.* (2001) para ecosistemas influenciados por las inundaciones (0.15-2.8 t C ha año⁻¹).

Debido a que la literatura enfocada en la PPN de raíces en ecosistemas de planicies temporalmente inundables es casi nula, se toma en cuenta la textura del suelo del bosque de restinga alta (arcillo-limoso, datos no publicados), por lo que su PPN de raíces finas (1.59 t C ha⁻¹ año⁻¹) se encuentran ligeramente por encima de los valores reportados por Jiménez *et al.* (2009) y Silver *et al.* (2005) para

suelos arcillosos ($1.11-1.51 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), y levemente por debajo de lo reportado por Metcalfe *et al.* (2008) para suelos arcillosos ($2.00 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

Al comparar entre tipos de bosque la PPN de raíces finas fue mayor en el bosque de varillal húmedo, lo cual coincide con lo reportado por del Aguila-Pasquel *et al.* (2014), Jiménez *et al.* (2009) y Metcalfe *et al.* (2008) quienes encontraron mayor PPN de raíces finas en suelos de textura arenosa.

Esta tendencia apoya las hipótesis propuestas por Jiménez *et al.* (2009) y Shaver y Aber (1996), que postulan el incremento de la producción de raíces con la disminución de la calidad del sitio, la disponibilidad de nutrientes. Además, esto podría deberse a que en bosques sobre arena blanca las raíces tienden a dispersarse más cerca de la superficie para poder captar nutrientes de la capa orgánica, lo que probablemente es una adaptación a un suministro bajo de nutrientes en este tipo de suelos (Sayer *et al.* 2006).

El bosque de restinga alta fue significativamente diferente a los otros dos tipos de bosques restantes; lo cual podría explicarse por el tiempo que las raíces son afectadas por las inundaciones periódicas, ya que durante ese periodo sufren de estrés por hipoxia (Baker *et al.* 2001), lo cual podría afectar su desarrollo.

10.2 Variación temporal de la PPN de raíces finas

La PPN de raíces finas no mostró una variación temporal significativa en ninguno de los tipos de bosques, este resultado difiere con los estudios de Sierra *et al.* (2007), Silver *et al.* (2005) y Jiménez *et al.* (2009), quienes mostraron una clara variación temporal en sus estudios. Uno de los factores que afecta nuestros resultados sería el poco tiempo de muestreo en este estudio. Además, algunos

autores (Jiménez *et al.* 2009 y Vogt *et al.* 1996) sugieren que los patrones de variación temporal son explicados por su correlación con las precipitaciones.

10.3 Correlación de la PPN de raíces finas con la precipitación

Varios autores mencionan una correlación positiva (Girardin *et al.* 2013; Jiménez *et al.* 2009; García-Oliva y Tapia 2001, y Metcalfe *et al.* 2008) y negativa (Lima *et al.* 2012) entre las precipitaciones y la PPN de raíces finas, lo que discrepa con nuestros resultados obtenidos, ya que no encontramos correlación entre las variables en ninguno de los tipos de bosque es estudio. Estos resultados podría deberse a que en la zona de estudio no existe una temporada húmeda y seca definida, asimismo que el período de muestreo no ha sido suficiente para definir patrones de la PPN con respecto a la precipitación.

XI. CONCLUSIONES

- Los valores de PPN de raíces finas difiere estadísticamente entre los tres tipos de bosque estudiados. La PPN es mayor en el bosque de varillal húmedo ($3.68 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y menor en el bosque de restinga alta ($1.59 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).
- La PPN de raíces finas no muestra variación temporal en ninguno de los tres tipos de bosque estudiados.
- No existe correlación entre la precipitación y la PPN de raíces en ninguno de los tres tipos de bosque estudiados

XII. RECOMENDACIONES

- Realizar más investigación relacionada al tema, especialmente en áreas o bosques inundables para mejorar la comprensión de los factores que afectan la productividad de raíces finas.
- Realizar estudios adicionales para comprobar si la PPN de raíces finas está relacionada con la clase textural y la cantidad de nutrientes en el suelo de los distintos tipos de bosque.
- Ampliar el tiempo de muestreo en el bosque de restinga alta, para demostrar la influencia que tiene las inundaciones periódicas en este tipo de bosques.

XIII. BIBLIOGRFÍA

ADAMS, C.M. y HUTCHINSON, T.C. 1992. Fine-root growth and chemical composition in declining central Ontario sugar maple stands. *Canadian Journal Forest Res.* 22:1489–1503.

ARAGÃO, L.; MALHI, Y.; METCALFE, D.; SILVA-ESPEJO, J.; JIMÉNEZ, E.; NAVARRETE, D.; ALMEIDA, S.; COSTA, A.; SALINAS, N.; PHILLIPS, O.; ANDERSON, L.; ALVAREZ, E.; BAKER, T.; GONCALVEZ, P.; HUAMÁN-OVALLE, J.; MAMANI-SOL´ORZANO, M.; MEIR, P.; MONTEAGUDO, A.; PATIÑO, S.; PEÑUELA, M.; PRIETO, A.; QUESADA, C.; ROZAS-DÁVILA, A.; RUDAS, A.; SILVA JR., J. y VÁSQUEZ, R. 2009. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences* 6:2759-2778.

BAKER, T.T. III; CONNER, W.H.; LOCKABY, B.G.; STANTURF, J.A. Y BURKE, M.K. 2001. Fine root productivity and dynamics on a forested floodplain in South Carolina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 545–556.

BARREIRO, A. y ROCHE, L. 2000. Diccionario de térmicos ambientales. Publicaciones Acuario.

BURKE, M.K. y CHAMBERS, J.L. 2003. Root dynamics in bottomland hardwood forests of the Southeastern United States Coastal Plain. *Plant and Soil* 250: 141–153.

CAIRNS, M.; BROWN, S.; HELMER, E. y BAUMGARDNER, G. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11

- CHEN, W.; ZHANG, Q.; CIHLAR, J.; BAUHUS, J. y PRICE, D. 2004. Estimating fine-root biomass and production of boreal and cool temperate forests using aboveground measurements: A new approach. *Plant and Soil* 265:31–46.
- CLARK, D.A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D.W.; CHAMBERS, J.Q.; THOMLINSON, J.R.; NI, J. y HOLLAND, E.A. 2001. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications* 11(2):371–384.
- CUEVAS, E. y MEDINA, E. 1986. Nutrient dynamics within Amazonian forest ecosystems. *Oecologia* 68:466–472.
- DEL AGUILA-PASQUEL, J.; DOUGHTY, C.; METCALFED, D.; SILVA-ESPEJO, J.; GIRARDIN, C.; CHUNG, J.; NAVARRO-AGUILAR, G.; QUESADA, C.; HIDALGO, C.; REYNA, J.; HALLADAY, K.; DEL CASTILLO, D.; PHILLIPS, O. y MALHI, Y. 2014. The seasonal cycle of productivity, metabolism and carbon dynamics in a wet aseasonal forest in northwest Amazonia (Iquitos, Peru). *Plant Ecology & Diversity* 7(1-2)
- DIXON, R.K., BROWN, S., HOUGHTON, R.A., SOLOMON, A.M., TREXLER, M.C. y WISNIEWSKI, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263:185-190.
- ENCARNACIÓN, F. 1993. El bosque y las formaciones vegetales en la llanura amazónica del Perú. *Alma Mater* 6:95-114.

- FINÉR, L. HELMISAARI, H.S.; LÖHMUS, K.; MAJDI, H.; BRUNNER, I.; BØRJA, I.; ELDHUSET, T.; GODBOLD, D.; GREBENC, T.; claNÔPKA, B.; KRAIGHER, H.; MÖTTÖNEN, M.R.; OHASHI, M.; OLEKSYN, J. OSTONEN, I.; Uri, V. y VANGUELOVA, E. 2007. Variation in fine root biomass of three European tree species: Beech (*Fagus sylvatica* L.), Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.), and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Plant Biosystems* 141(3):394-405.
- FOGEL, R., 1985. Roots as primary producers in below-ground ecosystems. En: Fitter, A.H., *et al.* (Eds.), *Ecological Interactions in Soil*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp. 23-36.
- FREITAS, L. 1996. Caracterización florística y Estructural de cuatro comunidades boscosas de restinga alta en la zona de Jenaro Herrera, Amazonia Peruana Perú. Documento Técnico N° 26. 77p.
- GARCÍA-OLIVA, F. y TAPIA, M. 2001. Dinámica estacional de la biomasa de las raíces finas asociada a agregados del suelo en un ecosistema tropical estacional. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 69:15-21.
- GASPARRI, I. y MANGHI, E. 2004. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales Argentinas. República Argentina: Ministerio de Salud y Ambiente.
- GIRARDIN, C.A.J.; ARAGÃO, L.E.O.C.; MALHI, Y.;HUARACA, W.; METCALFE, D.B.; DURAND, L.; MAMANI, M.; SILVA-ESPEJO, J.E. WHITTAKER, R. J. 2013. Fine root dynamics along an elevational gradient in tropical

Amazonian and Andean forests. *Global Biogeochemical Cycle* 27:252-264.

GIRARDIN, C.A.J.; MALHI, Y.; ARAGÃO, L.; MAMANI, M.; HUARACA HUASCO, W.; DURAND, L.; FEELEY, K.J.; RAPP, J.; SILVA-ESPEJO, J.E.; SILMAN, M.; SALINAS, N. y WHITTAKER, R.J. 2010. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. *Global Change Biology* 16(12):3176–3192.

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.

INGA, H. y LÓPEZ, J. 2001. Diversidad de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Jenaro Herrera, Loreto – Perú. Documento técnico n° 28. IIAP.

JACKSON, R.B.; MOONEY, H.A. y SCHULZE, E.D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94:7362–7366.

JACKSON, R.B.; CANADELL, J.; EHLERINGER, J.R.; MOONEY, H.A.; SALA, O.E. y SCHULZE, E.D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108:389-411.

JARAMILLO, V. 2007. [en línea]. El ciclo global del carbono. Instituto Nacional de Ecología. (MX). [Fecha de consulta: 28 de Mayo del 2014] Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/437/jaramillo.html>

- JIMÉNEZ, E.M.; MORENO, F.H.; LLOYD, J.; PEÑUELA, M.C. y PATIÑO, P. 2009. Fine root dynamics for forests on contrasting soils in the Colombian Amazon. *Biogeosciences Discuss.* 6:3415–3453.
- JORDAN, C.F. y ESCALANTE, G. 1980. Root productivity in a Amazonian Rain Forest. *Ecology* 61(1):14-18.
- LIMA, T.; MIRANDA, I.; y VASCONCELOS, S. 2012. Fine-root production in two secondary forest sites with distinct ages in Eastern Amazon. *Acta Amazónica* 42(1):95-104.
- LÓPEZ-PARODI, J. y FREITAS, D. 1990. Geographical aspects of forested wetlands in the Lower Ucayali, Peruvian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 33/34:157-168
- LUKAC, M. 2012. Fine Root Turnover. En: Moncuso, S. *Measuring Roots: An updated approach*. Springer-Verlag. Berlin (GE). 396 p.
- MALHI Y., MEIR P. & BROWN S. 2002. Forests, carbon and global climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A* 360, 1567-1591.
- MALLEUX, J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. Departamento de Manejo Forestal, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 414 pp.
- MARTHEWS, TR.; METCALFE, D.; MALHI, Y.; PHILLIPS, O.; HUARACA, W.; RIUTTA, T.; RUIZ, M.; GIRARDIN, C.; URRUTIA, R.; BUTT, N.; CAIN, R.; OLIVERAS, I. and colleagues from the RAINFOR and GEM networks.

2012. Measuring Tropical Forest Carbon Allocation and Cycling: A *RAINFOR-GEM* Field Manual for Intensive Census Plots (v2.2). Manual Global Ecosystems Monitoring network. 104 p.
- METCALFE, D.; MEIR, P.; ARAGÃO, L.; COSTA, A.; BRAGA, A.; GONÇALVES, P.; ATHAYDES, J.; ALMEIDA, S.; DAWSON, L.; MALHI, Y. y WILLIAMS, M. 2008. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. *Plant soil* 311:188-199.
- METCALFE, D.; WILLIAMS, M.; ARAGÃO, L.; DA COSTA, A.; DE ALMEIDA, S.; BRAGA, A.; GONÇALVES, P.; DE ATHAYDES, J.; MALHI, Y. Y MEIR, P. 2007. A method for extracting plant roots from soil which facilitates rapid sample processing without compromising measurement accuracy. *New Phytologist* 174(3):697-703.
- NEBEL, G.; KVIST, L.P.; VANCLAY, J.K.; CHRISTENSEN, H. y FREITAS, L. 2001. Structure and floristic composition of flood plain forests in the Peruvian Amazon I. *Forest Ecology and Management* 150: 27-57.
- ODUM, E. y WARRET, G. 2006. Fundamentos de Ecología. Quinta edición. Thompson Editores. USA. Universidad de Georgia. Cap. 4, 140 p.
- ORDOÑEZ, J.A. 1999. Captura de carbono en bosque templado: el sado de San Juan Nuevo, Michoacán. (MX). SEMARNAP. 74 pp.
- SAYER, E.J.; TANNER, E.V.J. y CHEESMAN, A.W. 2006. Increased litterfall changes fine root distribution in a moist tropical forest. *Plant and Soil* 281:5–13

- SHAVER, G.R. y ABER, J.D. 1996. Carbon and nutrient allocation in terrestrial ecosystems, in: Global change: effects on coniferous forests and grasslands Melillo. BREYMEYER, J. and BREYMEYER, A., John WILEY, Nueva York, USA, 183–198.
- SCHLEGEL B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal Siempreverde. En: Libro de Ponencias: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile.
- SIERRA, C.A.; HARMON, M.E.; MORENO, F.H.; ORREGO, S.A. y DEL VALLE, J.I. 2007. Spatial and temporal variability of net ecosystem production in a tropical forest: testing the hypothesis of a significant carbon sink. *Global Change Biology* 13:838–853.
- SILVER, W.; THOMPSON, A.; MCGRODDY, M.; VARNER, R.; DIAS, J.; SILVA, J.; CRILL, P. y KELLER, M. 2005. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. *Global Change Biology* 11: 290–306.
- TER STEEGE H. 2001. Biomass estimates of forests in the Neotropics. *Biomass Estimates for Forests in Guyana* 2-39.
- VOGT, K.A.; VOGT, D.J.; PALMIOTTO, P.A.; Boon, P.; O'HARA, J.; ASBJORNSEN, H. 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil* 187: 159-219.

VOGT, K.A.; VOGT, D.J.; y BLOOMFIELD, J. 1998. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant and Soil* 200:71–89

ANEXOS

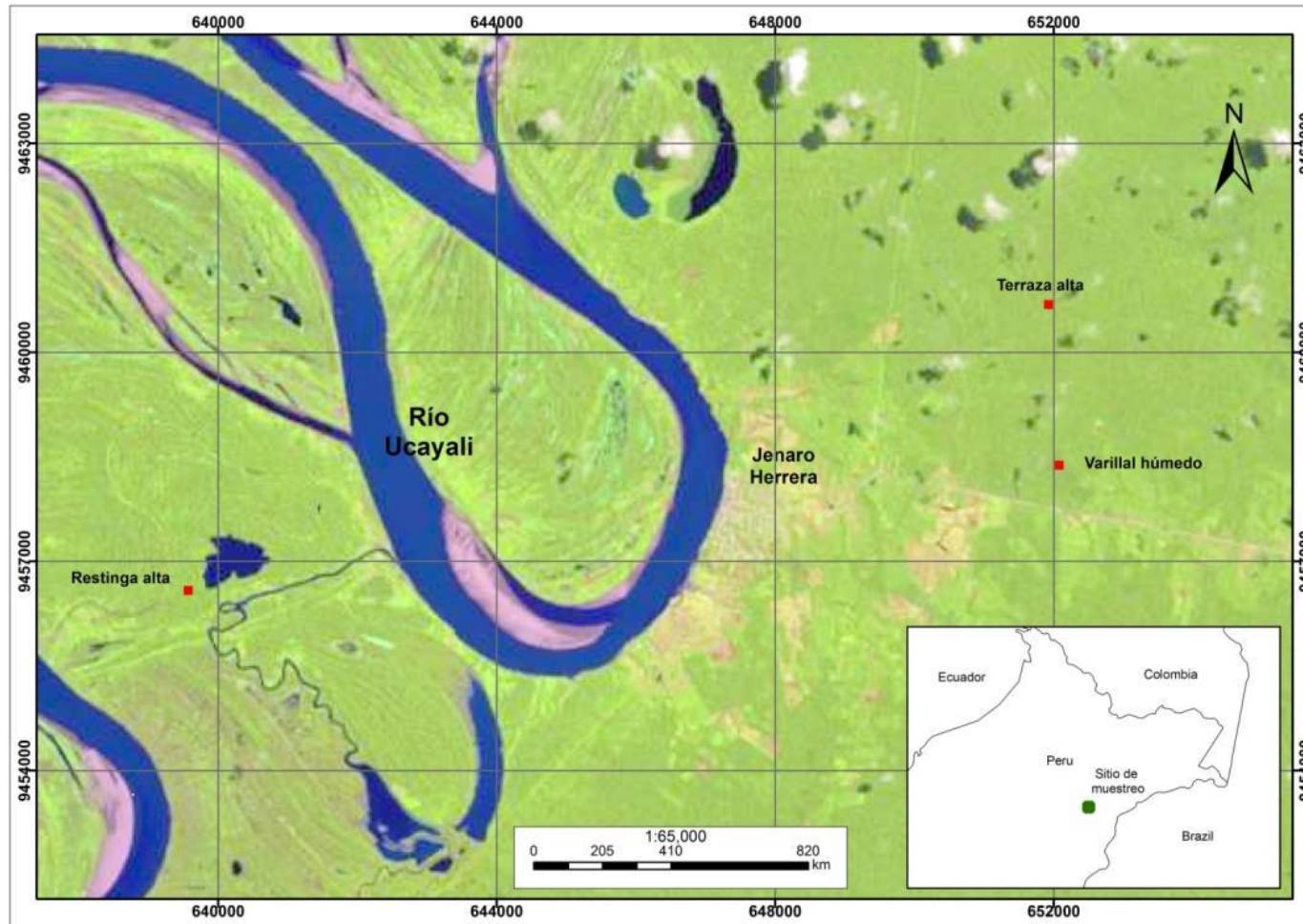


Figura 7. Mapa de zona de estudio y ubicación de parcelas de evaluación

Cuadro 5. Ficha de ingreso de datos biomasa de raíces

Parcela	Fecha	<i>Ingrowth Core</i>	Tiempo (min)	Intervalo de tiempo	Masa (g) por cada tiempo	Masa acumulada (g)	Masa estimada (g)
		1		1			-
		1		2			-
		1		3			-
		1		4			-
		1		5	-	-	
		1		6	-	-	
		1		7	-	-	
		1		8	-	-	
		1		9	-	-	
		1		10	-	-	
		1		11	-	-	
		1		12	-	-	
		2		1			-
		2		2			-
		2		3			-
		2		4			-
		2		5	-	-	
		2		6	-	-	
		2		7	-	-	
		2		8	-	-	
		2		9	-	-	
		2		10	-	-	
		2		11	-	-	
		2		12	-	-	

Cuadro 6. Prueba de ANOVA de un factor para PPN de raíces finas

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	92,436	2	46,218	13,479	0,000
Intra-grupos	555,475	162	3,429		
Total	647,911	164			

Cuadro 7. Prueba de ANOVA de un factor para PPN de raíces finas por tipo de bosque

Tipo de bosque	Prueba	gl	F	P
Varillal húmedo	Anova	53	2,542	0.067
Terraza alta	Anova	69	1.808	0.138
Restinga alta	Anova	40	2.442	0.100

Cuadro 8. Datos de precipitación durante el periodo de muestreo

Días	2013			2014									2015								
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
1	0.0	2.2	7.0	11.1	4.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	15.0	17.4	3.0	11.0	0.0	5.0
2	14.0	10.4	0.0	16.0	0.0	33.0	7.8	1.0	11.0	0.0	14.0	30.0	30.0	0.0	0.0	80.0	10.0	50.0	2.0	0.0	15.7
3	0.0	0.0	7.0	30.7	0.0	1.0	5.0	68.0	1.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	16.6	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
4	2.8	0.0	30.9	16.0	97.4	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	25.0	0.0	0.0	14.0	2.0	8.0	0.0	0.0	56.0	18.5
5	3.5	0.0	0.0	1.5	1.1	1.4	36.0	0.0	38.0	5.0	8.8	0.0	2.0	7.4	1.0	0.0	0.0	12.0	27.0	0.0	1.0
6	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	2.0	4.0	6.9	5.0	2.2	0.0	0.0	26.6	54.0	0.0	1.0	0.0	0.0	35.0	6.0	18.0
7	3.0	0.0	7.0	3.2	3.4	0.0	1.0	10.4	0.0	0.0	8.0	0.0	76.7	0.0	0.0	18.0	0.0	22.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	1.5	4.2	10.3	13.4	33.1	2.0	14.0	0.0	54.0	33.0	6.5	2.8	0.0	0.0	6.0	0.0	17.3	0.0	25.2	5.6
9	10.0	0.0	11.0	19.0	9.0	0.0	5.0	6.0	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	65.0	1.4	1.0	20.4	27.0	3.2	0.0
10	1.2	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	20.8	8.0	8.2	17.0	0.0	4.8	2.0	0.0	25.3
11	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	5.5	15.0	0.0	9.0	0.0	4.0	6.0	20.0	39.0	0.0
12	4.0	46.0	0.0	2.2	10.2	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	40.6	11.0	4.2	10.0	19.2	38.8	3.0	0.0	6.0	32.0	1.2
13	0.0	0.0	36.0	0.0	0.0	63.0	0.0	3.0	28.0	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.0	0.0	7.2	6.0
14	13.0	0.0	30.4	0.0	0.0	0.0	11.0	1.8	12.4	0.0	25.2	11.0	9.0	51.0	9.0	6.0	21.0	12.0	0.0	26.8	0.0
15	0.0	0.0	3.8	0.0	22.0	7.0	17.0	5.6	16.0	17.0	0.0	9.0	27.2	1.0	13.2	0.0	3.2	0.8	0.0	1.4	0.0
16	70.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	1.6	0.0	5.2	1.4	17.4	7.1
17	0.0	13.0	0.0	40.0	0.0	13.4	0.0	11.0	0.0	3.6	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	25.2	0.0	5.2	0.0	0.0	7.0
18	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	14.0	14.0	0.0	0.0	27.2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	4.0	3.0	0.0	0.0
19	13.0	0.0	4.0	11.4	0.0	5.2	1.4	3.0	0.0	4.0	0.0	0.0	25.0	0.0	3.0	4.0	0.0	0.0	1.0	0.0	2.1
20	0.0	14.0	0.0	1.6	1.4	40.3	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	11.2	41.0	0.0	9.0	1.0	29.0	0.0
21	9.0	0.0	0.0	0.0	2.0	27.0	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	2.6	17.2	0.0	4.0	24.0	5.0	0.0
22	2.0	3.0	0.0	18.0	0.0	6.2	1.8	0.0	28.2	0.0	2.0	0.0	13.0	0.0	1.8	4.2	0.0	6.0	0.0	3.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	26.6	14.0	11.8	15.4	0.0	4.2	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	7.2	5.0	13.4
24	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	8.0	36.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.4	2.2	2.8	0.0	20.0	0.0	3.0
25	3.0	33.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	8.2	0.0	54.0	0.0	2.0	1.0	15.2	31.7	11.6	68.0	0.0	1.0	1.2	2.0
26	2.0	0.0	0.0	0.0	13.8	0.0	0.0	7.0	1.0	10.0	5.4	6.0	0.0	4.2	20.8	1.0	0.0	0.0	13.6	5.0	0.0
27	5.0	12.0	0.0	3.0	30.8	0.0	17.0	2.0	27.6	4.0	0.0	60.6	0.0	2.0	36.2	6.6	7.0	16.0	21.0	1.2	0.0
28	0.0	22.0	0.0	1.0	2.6	0.0	2.0	0.0	3.0	7.0	5.6	10.2	72.0	17.0	5.0	10.8	0.0	54.0	41.2	30.0	0.0
29	2.2	0.0	10.0	0.0		0.0	9.0	0.0	58.2	0.0	1.4	4.0	0.0	9.0	22.5	10.0		4.0	6.0	12.0	0.0
30	13.0	42.0	3.4	21.0		0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	2.0	30.0	0.0	14.0		0.0	30.2	0.0	50.0
31	1.2		5.1	2.0		0.0		10.4		8.0	0.0		8.5		13.6	19.2		0.0		10.0	
Total	172.3	199.1	159.8	229.2	227.4	280.4	205.6	212.3	299.4	219.4	154.0	199.4	343.0	227.9	339.4	362.0	147.0	298.7	300.6	315.6	185.9



Figura 8. *Ingrowth core*



Figura 9. Forma de acomodar el *Ingrowth core* en el suelo



Figura 10. Muestra de suelo con raíces extraída del bosque de varillal húmedo



Figura 11. Proceso de extracción de raíces de las muestras de suelo