



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables

### Maestría en Biodiversidad y Cambio Climático

#### Estacionalidad de raíces finas en el bosque seco de la reserva natural Laipuna al sur del Ecuador.

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Magister en Biodiversidad y Cambio Climático.

**AUTOR:**

Ing. Jorge Antonio Gonzaga Poma

**DIRECTORA:**

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg.Sc

Loja – Ecuador

2023

*Educamos para Transformar*

## Certificación

Loja, 30 de agosto de 2023

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg.Sc

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION**

### CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Estacionalidad de raíces finas en el bosque seco de la Reserva Natural Laipuna al sur del Ecuador**, previo a la obtención del título de **Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático**, de la autoría del estudiante **Jorge Antonio Gonzaga Poma**, con **cédula de identidad Nro.1721860227**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg.Sc

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION**

## **Autoría**

Yo, **Jorge Antonio Gonzaga Poma**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1721860227

**Fecha:** 23 de noviembre del 2023

**Correo electrónico:** jorge.gonzaga@unl.edu.ec

**Teléfono :** (+ 593) 979123973

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Jorge Antonio Gonzaga Poma**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación "**Estacionalidad de raíces finas en el bosque seco de la Reserva Natural Laipuna al sur del Ecuador**" como requisito para optar al título de: **Magister en Biodiversidad y Cambio Climático**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja a los veinte y tres días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.

**Firma:**

**Autor:** Jorge Antonio Gonzaga Poma

**Cédula de identidad:** 1721860227

**Dirección:** Avenida Mariscal Sucre S31-98 Y Francisco Chiriboga. Quito - Ecuador

**Correo electrónico:** jorge.gonzaga@unl.edu.ec

**Teléfono:** (+593) 2 3035443 / (+593) 979123973

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Directora del Trabajo de Titulación:** Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg.Sc

## **Dedicatoria**

Con profundo respeto deseo dedicar a mis padres Rosa Poma y Vicente Gonzaga que, con su amor infinito y cariño me han apoyado en todo este proceso.

A mi querido hermano que ha sido un compañero de vida con el que he compartido grandes momentos y juntos hemos salido adelante.

A mi tía Laura Poma que, con su confianza y fe me encamino para iniciar una nueva faceta académica.

A mi abuelita Inés López por todo su cariño y por tratarme como a un hijo, y con el más profundo amor me abrió las puertas de su hogar.

***Ing. Jorge Antonio Gonzaga Poma.***

## **Agradecimiento**

Al proyecto Respect dentro de la unidad científica “Linking tree above- and belowground traits across gradients of elevation and climate in highly diverse tropical montane forests” financiado por la Fundación Alemana para la Investigación (DFG) que generosamente financió el proceso de muestreo y gastos relacionados a la presente investigación.

A Naturaleza y Cultura Internacional (NCI) que brindo las instalaciones y las facilidades necesarias para realizar el proceso de muestreo en la Reserva Natural de Laipuna.

Al programa de “Becas Fortalécete 2022” que brindo apoyo económico para estudios de cuarto nivel, dentro de las áreas de conocimiento priorizadas para el desarrollo del país.

A la Universidad Nacional de Loja y a cada uno de los docentes de la maestría que, con su amplia trayectoria académica y excelencia en cada una de sus áreas, supieron dar conocimientos sólidos y con criterio crítico.

Al Dr. Jürgen Homeier por ser un excelente ejemplo del cual aprender, y por todo el apoyo para ejecutar la presente investigación, por la empatía y altruismo para día a día poder alcanzar un objetivo en común.

A la Dr. Nichte Ordoñez por su oportuna dirección y consejos para la estructuración de la presente investigación.

A Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg.Sc por toda su paciencia y excelente guía en cada paso de la presente tesis.

A cada uno de mis nuevos amigos de la ciudad de Loja entre ellos: Camilo Gonzales, Gabriela Hurtado, Victoria Moncada, Vinicio Escudero, Estefanía Barrera, Cristian Cueva, Andrea Nieto, Nicolás Peñafiel, Diana Ontaneda, Israel Medina, Jorge Castillo. Que a más de ser un apoyo académico se convirtieron en parte de mi familia y juntos compartimos gratos momentos de alegrías.

A Estefanía Veloz, amiga incondicional que durante todo este tiempo me ha brindado su afecto, apoyo siendo impulso para alcanzar las metas que nos planteamos.

***Ing. Jorge Antonio Gonzaga Poma.***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas:.....	ix
Índice de figuras:.....	x
Índice de anexos:.....	xi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Ecosistemas de Bosques Secos y su importancia .....	6
4.2. Estacionalidad en los bosques secos Tumbesinos .....	7
4.3. Bosques Secos al sur del Ecuador .....	8
4.4. Diversidad de flora y fauna registrada en la Reserva natural Laipuna.....	9
4.5. Tipos de sistemas radicales en los bosques secos.....	10
4.6. Raíces Finas .....	12
4.7. Principales funciones de las raíces finas o adventicias.....	13
4.8. Morfología de las raíces finas.....	14
4.9. Factores ambientales que influyen en las raíces finas .....	15
4.10. Biomasa y necromasa en sistemas radicales finos.....	15
<b>5. Metodología</b> .....	<b>17</b>
5.1. Ubicación y extensión del área de estudio .....	17
5.2. Zona de vida y características climáticas .....	19
5.3. Diseño del muestreo.....	19
5.4. Cantidad de muestra colectada.....	19
5.5. Preparación de la muestra .....	20
5.6. Escaneo de raíces finas .....	21
5.7. Propiedades de las raíces y su relación con factores ambientales .....	21
5.8. Cuantificación del porcentaje de biomasa y necromasa en la capa orgánica .....	22
5.9. Modelo de regresión entre las variables dependientes e independientes .....	23

<b>6. Resultados</b> .....	<b>24</b>
6.1. Descripción de las raíces finas y su relación con factores ambientales .....	24
6.1.1 Temperatura del aire [°C] por piso altitudinal .....	24
6.1.2 Temperatura del suelo .....	24
6.1.3 Área radicular (SA) [ cm <sup>2</sup> ].....	27
6.1.4 Área específica (SRA) [cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ] .....	27
6.1.5 Longitud total (LEN) [ cm <sup>2</sup> ] .....	28
6.1.6 Longitud específica de las raíces (SRL) [ cm g <sup>-1</sup> ].....	29
6.1.7 Volumen total (VOL) [ cm <sup>3</sup> ].....	30
6.1.8 Promedio del diámetro (AvgD) [ mm] .....	31
6.1.9 Correlación mensual de la longitud total con las variables ambientales .....	32
6.1.10 Correlación área de raíces finas con los factores ambientales .....	33
6.1.11 Correlación volumen de raíces finas total con factores ambientales.....	34
6.1.12 Correlación diámetro total de las raíces finas con factores ambientales.....	36
6.2. Cuantificación del porcentaje de biomasa y necromasa en el seco tumbesino.....	37
6.2.1 Biomasa frente a la necromasa .....	37
6.2.2 Biomasa y el contenido de agua en el suelo a los 5 cm de profundidad.....	39
6.2.3 Biomasa y el contenido de agua en el suelo a los 15 cm de profundidad.....	39
6.2.4 Biomasa frente a la temperatura del aire.....	41
6.2.5 Biomasa frente a la temperatura del suelo a los 5 cm de profundidad.....	41
6.2.6 Biomasa frente a la temperatura del suelo a los 15 cm de profundidad.....	42
6.2.7 Correlación biomasa con las variables ambientales .....	43
6.2.8 Correlación necromasa con las variables ambientales .....	44
6.2.9 Correlación área específica de las raíces con las variables ambientales .....	45
6.2.10 Correlación longitud específica con los factores ambientales .....	46
6.2.11 Modelo de regresión.....	47
<b>7. Discusión</b> .....	<b>51</b>
7.1 Propiedades de las raíces finas y su relación con factores ambientales .....	51
7.2 Porcentaje de biomasa y necromasa del sistema radicular.....	55
<b>8. Conclusiones</b> .....	<b>56</b>
<b>9. Recomendaciones</b> .....	<b>57</b>
<b>10. Bibliografía</b> .....	<b>58</b>
<b>11. Anexos</b> .....	<b>67</b>



## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Correlación longitud de las raíces finas con factores ambientales .....	32
<b>Tabla 2.</b> Correlación área específica de las raíces finas con factores ambientales .....	33
<b>Tabla 3.</b> Correlación volumen de las raíces finas con factores ambientales .....	35
<b>Tabla 4.</b> Correlación diámetro de las raíces finas con factores ambientales.....	36
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de biomasa y necromasa.....	38
<b>Tabla 6.</b> Correlación biomasa con factores ambientales.....	43
<b>Tabla 7.</b> Correlación necromasa con factores ambientales .....	44
<b>Tabla 8.</b> Correlación SRA de las raíces finas con factores ambientales .....	45
<b>Tabla 9.</b> Correlación SRL de las raíces finas con factores ambientales.....	46
<b>Tabla 10.</b> Modelo de regresión, variables climáticas vs la biomasa .....	47
<b>Tabla 11.</b> Modelo de regresión, variables climáticas vs la necromasa .....	47
<b>Tabla 12.</b> Modelo de regresión, variables climáticas vs la longitud total .....	48
<b>Tabla 13.</b> Modelo de regresión, variables climáticas vs área radicular.....	48
<b>Tabla 14.</b> Modelo de regresión, variables climáticas vs volumen total .....	48
<b>Tabla 15.</b> Modelo de regresión, variables climáticas vs diámetro de la raíz.....	<b>49</b>
<b>Tabla 16.</b> Modelo de regresión, variables climáticas vs longitud específica .....	49
<b>Tabla 17.</b> Estadísticas del área radicular de las raíces finas .....	75
<b>Tabla 18.</b> Estadísticas de la longitud total de las raíces finas.....	76
<b>Tabla 19.</b> Estadísticas de Volumen (cm <sup>3</sup> ) de las raíces finas.....	77
<b>Tabla 20.</b> Estadísticas de diámetro total de las raíces finas. ....	78
<b>Tabla 21.</b> Estadísticas de biomasa de las raíces finas.....	79
<b>Tabla 22.</b> Estadísticas de necromasa de las raíces finas. ....	80

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Distribución de los bosques en el mundo.....	7
<b>Figura 2.</b> Localización de los bosques secos en la provincia de Loja.....	9
<b>Figura 3.</b> Tipos de raíces y su distribución.....	11
<b>Figura 4.</b> Zonas de una raíz fina o adventicia.....	12
<b>Figura 5.</b> Pisos altitudinales del área de la Reserva Natural Laipuna.....	18
<b>Figura 6.</b> Barreno cilíndrico utilizado en el muestreo de las raíces finas.....	20
<b>Figura 7.</b> Comparativa de la temperatura del aire por piso altitudinal.....	24
<b>Figura 8.</b> Temperatura del suelo a 5 cm de profundidad.....	25
<b>Figura 9.</b> Temperatura del suelo a 15 cm de profundidad.....	26
<b>Figura 10.</b> Comparación del área radicular de las raíces finas (cm <sup>2</sup> ).....	27
<b>Figura 11.</b> Área específica de raíces finas (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ).....	28
<b>Figura 12.</b> Longitud total de raíces finas (cm <sup>2</sup> ).....	29
<b>Figura 13.</b> Longitud específica de raíces finas (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ).....	30
<b>Figura 14.</b> Volumen total de raíces finas (cm <sup>3</sup> ).....	31
<b>Figura 15.</b> Diámetro total de raíces finas (mm).....	31
<b>Figura 16.</b> Correlación longitud de las raíces finas con factores ambientales.....	33
<b>Figura 17.</b> Correlación área específica de las raíces finas con factores ambientales.....	34
<b>Figura 18.</b> Correlación volumen de las raíces finas con factores ambientales.....	35
<b>Figura 19.</b> Correlación diámetro de las raíces finas con factores ambientales.....	37
<b>Figura 20.</b> Biomasa y necromasa radicular a diferentes pisos altitudinales.....	38
<b>Figura 21.</b> Biomasa y contenido de agua en el suelo a 5 cm de profundidad.....	39
<b>Figura 22.</b> Biomasa y contenido de agua en el suelo a 15 cm de profundidad.....	40
<b>Figura 23.</b> Biomasa de raíces relacionado con la temperatura del aire.....	41

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Vista del bosque seco desde el área de conservación Laipuna. ....	67
<b>Anexo 2.</b> Especies registradas en el área de conservación de Laipuna. ....	68
<b>Anexo 3.</b> Puntos de muestreo para cada una de las parcelas. ....	70
<b>Anexo 4.</b> Ramificación de un sistema secundario (SRF) de un sistema primario.....	72
<b>Anexo 5.</b> Muestra con agua previo al lavado .....	72
<b>Anexo 6.</b> Raíces resultantes del proceso de lavado. ....	73
<b>Anexo 7.</b> Raíces obtenidas y listas para ser separadas. ....	73
<b>Anexo 8.</b> Vista de las raíces desde el estereomicroscopio.....	74
<b>Anexo 9.</b> Muestras que generaron valores mínimo y máximo para el área radicular. ....	75
<b>Anexo 10.</b> Muestras y sus valores máximos y mínimos para la longitud .....	76
<b>Anexo 11.</b> Muestras escaneadas y sus valores mínimo y máximo para el volumen .....	77
<b>Anexo 12.</b> Muestras y sus valores mínimo y máximo para el diámetro (mm). ....	78
<b>Anexo 13.</b> Muestras y sus valores mínimo y máximo para la biomasa (gr). ....	79
<b>Anexo 14.</b> Muestras y sus valores mínimo y máximo para la necromasa (gr). ....	80
<b>Anexo 15.</b> Script aplicado para el análisis de datos en R .....	81
<b>Anexo 16.</b> Certificado de traducción del resumen.....	91

## Lista de abreviaciones

1. Len = Longitud total de las raíces (cm)
2. SA = Área total de las raíces (cm<sup>2</sup>)
3. Vol = Volumen total de las raíces (cm<sup>3</sup>)
4. AvgD = Promedio del diámetro total de las raíces (mm)
5. SRL = Longitud específica de las raíces (cm<sup>2</sup>/g)
6. SRA = Área específica de las raíces (cm<sup>2</sup>/g)
7. Rain = Lluvia acumulada antes del muestreo
8. SWC5 = Contenido de agua en el suelo a los 5 cm
9. SWC15 = Contenido de agua en el suelo a los 15 cm
10. Soiltemp5 = Temperatura del suelo a los 5 cm
11. Soiltemp15 = Temperatura del suelo a los 15 cm
12. LAF\_1200 = Parcela permanente ubicada a 1200 m s.n.m
13. LAF\_600 = Parcela permanente ubicada a 600 m s.n.m
14. Id = Punto de muestreo dentro de cada parcela.
15. BST = Bosques secos tumbesinos.
16. SRF = Sistema radicular fino.
17. RNL = Reserva Natural Laipuna.
18. NCI = Naturaleza y Cultura Internacional
19. DFG = Fundación Alemana para la Investigación

## **1. Título**

Estacionalidad de raíces finas en el bosque seco de la reserva natural Laipuna al sur del Ecuador

## 2. Resumen

Los bosques secos tumbesinos (BST) de la región sur del Ecuador son ecosistemas con gran biodiversidad y riqueza biológica, caracterizados por una alta estacionalidad, por lo que experimentan largos períodos de época seca, con escasas precipitaciones incluso meses sin lluvia. Las raíces finas son componentes de todo organismo vegetal que permiten la comunicación entre sí y el entorno natural y absorben los nutrientes y agua indispensables para su existencia. Esta investigación tuvo como objetivo aportar conocimiento acerca de las raíces finas en los bosques secos. Para ello se obtuvieron muestras de raíces finas en dos pisos altitudinales y con el programa WinRHIZO se generó datos morfológicos de las raíces (diámetro, área, longitud, volumen) que fueron contrastadas con los registros climáticos para cada parcela (precipitación, temperatura del aire, temperatura del suelo). Con estos datos se aplicó comparaciones a través de la prueba t-Student para determinar la relación de las características morfológicas con los parámetros ambientales. En el piso altitudinal de 600 m s.n.m. se presentaron valores superiores al piso de 1200 m s.n.m., que son estadísticamente significativos. La principal correlación que se encontró fue entre la biomasa con la temperatura del suelo a los 5 cm de profundidad dando a entender que a esta altura hay condiciones favorables para el desarrollo de las raíces finas. La necromasa y la precipitación también reflejaron un grado de correlación, al tener ausencia de lluvia la necromasa se ve considerablemente incrementada. El piso altitudinal a 600 m s.n.m. cuenta con condiciones morfológicas de raíces, superiores a la parcela de 1200 m s.n.m., lo que podría atribuirse a que a mayor altura hay mayor porcentaje de humedad en el suelo y las condiciones no son acentuadas para frenar el crecimiento de las raíces finas. El porcentaje de biomasa a 600 m s.n.m., es superior a los contenidos registrados a 1200 m s.n.m., similar comportamiento se registra en la necromasa. Las raíces finas presentan una relación con la estacionalidad del bosque seco, cuando las condiciones ambientales son acentuadas las raíces finas morfológicamente se desarrollan mientras que al existir humedad y mayor disponibilidad de agua disminuyen sus parámetros morfológicos.

**Palabras clave:** *Bosque tumbesino, estación seca, biomasa, necromasa, pisos altitudinales.*

## **Abstract**

The Tumbesian dry forests (BST) of the southern region of Ecuador are ecosystems with great biodiversity and biological richness, characterized by high seasonality, which is why they experience long periods of dry season, with little precipitation, even months without rain. Fine roots are components of all plant organisms that allow communication between themselves and the natural environment and absorb the nutrients and water essential for their existence. This research aimed to provide knowledge about fine roots in dry forests. To do this, samples of fine roots were obtained in two altitudinal levels and with the WinRHIZO program morphological data of the roots (diameter, area, length, volume) was generated, which were contrasted with the climatic records for each plot (precipitation, air temperature, soil temperature). With these data, comparisons were applied through the Student's t test to determine the relationship of morphological characteristics with environmental parameters. At the altitudinal level of 600 m a.s.l. There were values higher than the floor of 1200 m a.s.l., which are statistically significant. The main correlation that was found was between biomass and soil temperature at 5 cm depth, suggesting that at this height there are favorable conditions for the development of fine roots. Necromass and precipitation also reflected a degree of correlation, with the absence of rain necromass being considerably increased. The altitudinal floor at 600 m a.s.l. It has morphological conditions of roots, higher than the plot of 1200 m a.s.l., which could be attributed to the fact that at higher altitudes there is a higher percentage of humidity in the soil and the conditions are not accentuated to slow down the growth of fine roots. The percentage of biomass at 600 m a.s.l. is higher than the contents recorded at 1200 m a.s.l., similar behavior is recorded in the necromass. The fine roots present a relationship with the seasonality of the dry forest, when the environmental conditions are accentuated the morphologically fine roots develop while when there is humidity and greater availability of water their morphological parameters decrease.

**Key words:** *Tumbesian forest, dry season, biomass, necromass, altitudinal floors.*

### 3. Introducción

Los Bosques Secos Tumbesinos (BST) son ecosistemas en los cuales la época seca (ausencia de lluvias) persiste sobre la época lluviosa, en Ecuador este tipo de bosques se encuentran en las provincias de: Loja, Santa Elena, Guayas, Manabí y El Oro (MAATE, 2017). Al sur del país parte de los BST son compartidos con Perú, recientes investigaciones han demostrado su importancia por albergar una inmensa riqueza biológica (Zent y Zent, 2004), para la zona del occidente del Ecuador y noroccidente del Perú se consideran puntos de endemismo tumbesino por su alta diversidad (Paladines, 2003). En los BST se desarrollan especies que han adoptado características propias para sobrevivir a periodos extendidos de sequía y generar rasgos funcionales propios (Romero y Pérez, 2016).

Una de las características que determina el comportamiento y naturaleza de los bosques secos, es la estacionalidad de la época seca y lluviosa, las cuales son acentuadas y tiene una fuerte influencia sobre la vegetación. La mayor parte de árboles son caducifolios, se han determinado periodos de pérdida total de la copa vegetativa durante la época seca mientras que en la época lluviosa se presenta una recuperación total, comportamiento que se replica de igual manera a nivel radicular (Mogni et al., 2015).

Los sistemas radiculares (primarios y secundarios) son de gran importancia para la vida de la planta porque son el punto de conexión con el entorno y les permite absorber nutrientes y agua, dependiendo de la disponibilidad de los sistemas radiculares, la planta enviara señales hormonales para potenciar su desarrollo (Redagricola, 2022). Entre las muchas funciones que cumplen, quizá la principal es de fijación, además generan ciclos de reciclaje en el suelo, mantienen los nutrientes, capturan carbono y conservan la diversidad biológica a nivel del suelo (Ramírez et al., 1990;Zhang y Wang, 2015).

Una función específica de las raíces finas en los bosques secos es mineralizar el suelo altamente compactado, formando una vasta red que constantemente regenera la capa orgánica, permitiendo acceso a oxígeno y nutrientes, incluso regula el pH al secretar iones de hidrogeno para la rizosfera de estos ecosistemas (Arias, 2007). Las raíces finas son importantes porque marcan la dinámica de cambio a nivel radicular, siendo su función el formar agregados y canales por los cuales se facilita la circulación de agua y nutrientes (Mullins, 2011).

Las raíces finas muestran una estrecha relación con el dosel de los árboles por ello los procesos de aclaramiento del dosel afectan directamente a su concentración en la capa orgánica de los bosques y es evidente la disminución de concentración de carbono (Conti et al., 2014). Las raíces finas experimentan una dinámica estacional en consecuencia, los



porcentajes de biomasa (raíces finas en condiciones de vida) y necromasa (raíces finas en condiciones de muerte) varían con relación a los factores ambientales como la humedad del suelo, precipitación, temperatura, entre otros (Block et al., 2006) en contraste con los bosques húmedos o selváticos que presentan una dinámica diferente ya que la disponibilidad de agua y nutrientes es constante (Hishi y Takeda, 2005).

A pesar de tener gran importancia para la subsistencia de la planta, las raíces finas son poco estudiadas en referencia a los demás componentes de la planta, una de las principales causas es el difícil acceso para poder aplicar métodos de muestreo y colección (Gárate y Blanco, 2013). Es importante ampliar el conocimiento actual sobre sistemas radiculares finos donde el estrés hídrico y los periodos de sequía son mayormente pronunciados, por ello conocer la morfología de las raíces finas en estos ecosistemas frágiles y únicos representa un aporte para la conservación y buen manejo (García-Cervigón et al., 2017).

Con el propósito de conservar los bosques secos de la provincia de Loja se han creado proyectos en los que participan varios actores sociales, uno de estos esfuerzos es la Mancomunidad del Bosque Seco, asociación de varios municipios, que tiene como objetivo principal la recuperación y conservación de los BST. (Mancomunidad Bosque Seco, 2023). Organismos no gubernamentales como Naturaleza y Cultura Internacional (NCI) han iniciado acciones concretas para la protección y cuidado de los BST, como resultado se creó la Reserva Natural Laipuna, donde se ejecutan proyectos de investigación multidisciplinarios con el propósito de tener un fundamento ecológico para un manejo adecuado (Farwig et al., 2022).

La presente investigación plantea generar conocimiento sobre las características morfológicas de las raíces finas en el BST de la Reserva Natural Laipuna en donde existen dos parcelas en dos diferentes pisos altitudinales. Con estos antecedentes se planteó los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

Contribuir al conocimiento del sistema radicular en la capa superior del suelo para generar información que aporte al manejo y conservación del bosque seco tumbesino.

**Objetivos específicos:**

- Describir las propiedades de las raíces finas y su relación con factores ambientales.
- Cuantificar el porcentaje de biomasa y necromasa del sistema radicular de la capa superior del suelo en el bosque seco tumbesino.

## 4. Marco teórico

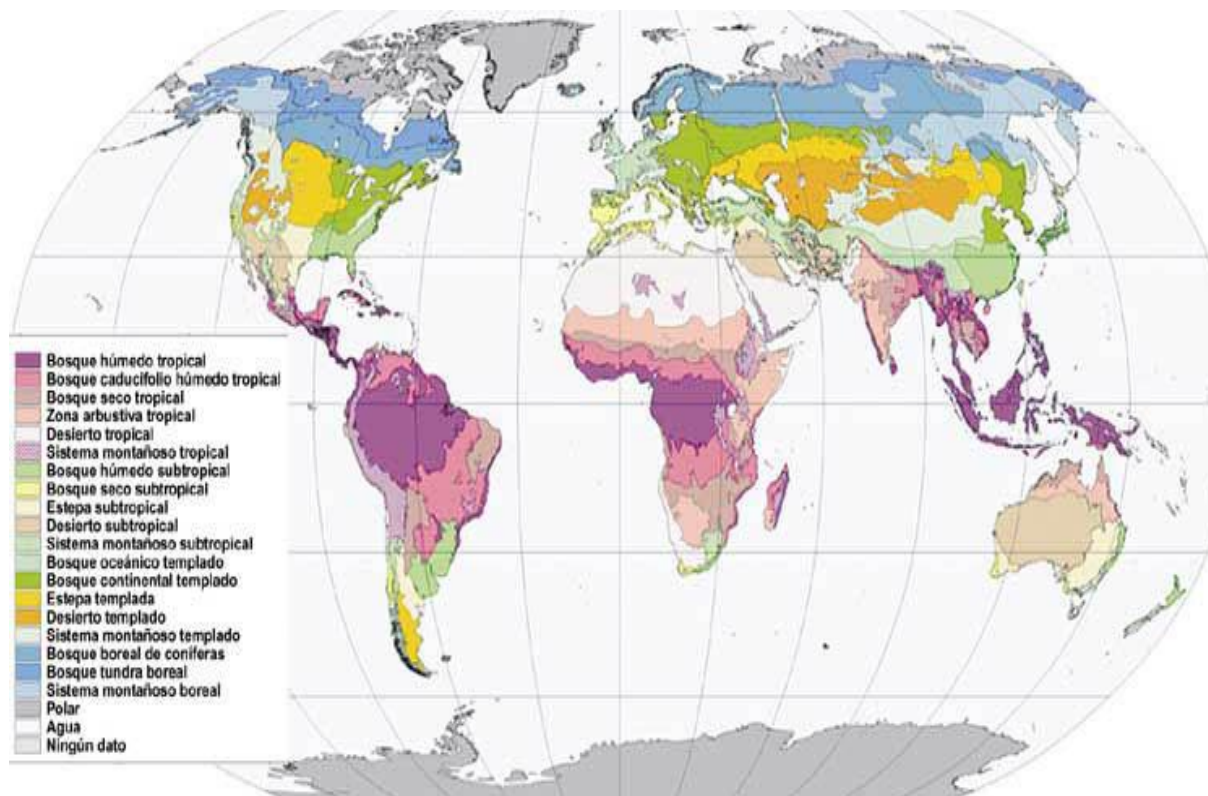
### 4.1. Ecosistemas de Bosques Secos y su importancia

Los Bosques Secos son lugares en donde los índices de precipitación registrados de media anual son de 500 mm y una temperatura que fluctúa entre 20 a 26 °C, estas condiciones varían dependiendo de otros factores como la altitud en que se encuentre el bosque (Padilla et al., 2018). En estos ecosistemas hay influencia de la estacionalidad ya que determina como será la producción primaria neta del bosque (biomasa). En los bosques secos es evidente la época seca y uno de sus principales resultados es la pérdida del dosel. Se ha estimado que aproximadamente el 75 % de las especies de estos ecosistemas pierden su dosel (Espinosa et al., 2012).

Palomino (2008) agrupo a los bosques secos de la región del neotrópico en cuatro grandes grupos fitogeográficos, el primero corresponde a Mesoamericanos - caribeño (incluyendo el norte de Sudamérica), el segundo grupo ecuatoriano – peruano y un tercer grupo boliviano – argentino y por último las formaciones en la región de las Caatingas en Brasil. Para defender esta agrupación planteada para los bosques secos, se hace referencia a eventos geológicos tempranos en América Latina, los periodos de glaciales e interglaciares durante el periodo cuaternario, adicionales eventos tectónicos y el levantamiento de los Andes, han permitido la formación de este tipo de bosques (Linares, 2004).

Los bosques secos de forma general han sido aprovechados para extraer: madera, plantas medicinales, combustible, actividades pastoriles y agrícolas; pero todo este conjunto de acciones ha generado que estos ecosistemas sean altamente degradados y esté amenazada su riqueza biológica (Padilla et al., 2018). Por ello se plantea la necesidad de ampliar la percepción de estos ecosistemas para comprender su importancia y servicios ecosistémicos como: regulación climática, ciclos hidrológicos, provisión de agua, recreación, turismo ecológico, protección contra riesgos naturales (Briceño et al., 2016).

Según la FAO (2000). Los bosques secos son el 5 % de la cobertura mundial de bosques de lo cual el 39 % de estos bosques se encuentran en África, el 23 % se encuentra en Asia, el 6 % se encuentra en Norte América y Centro América y el 31 % de bosques secos se encuentra en América del Sur, la figura 1, presenta la distribución de los BS a nivel mundial.



**Figura 1.** Distribución de los bosques en el mundo. FAO (2000)

#### **4.2. Estacionalidad en los bosques secos Tumbesinos**

La estacionalidad hace referencia al cambio de temporalidad (época lluviosa y época seca) este factor es acentuado en los BST, y marca claramente el comportamiento del bosque y sus componentes, en el caso de la flora en la época de lluvia tiene su florecimiento máximo ya que las lluvias son fuertes llegando a un máximo de 1238 mm, esto tiene influencia directa en los factores ambientales y los componentes del ecosistema (Torre y Linares, 2008)

Debido a la estacionalidad estos ecosistemas presentan vegetación propia y altamente adaptada a periodos acentuados ya sea de lluvia o sequía, para ciertos autores estos ecosistemas son considerados degradados por la estacionalidad tan marcada. Sin embargo, se ha demostrado también un factor de recambio y regeneración tanto en la biomasa aérea como subterránea, en promedio se estima que el porcentaje de recambio está entre el 22.5 % con un depósito de carbono del 42.306,7 kg. ha<sup>-1</sup> por año (Torres et al., 2012). El Anexo 1. Indica la diferencia en el paisaje del BST resultado de la estacionalidad.

Para algunos autores, los BST son considerados ecosistemas degradados por la estacionalidad marcada; sin embargo, se ha demostrado un factor de recambio y regeneración tanto en la biomasa aérea como subterránea, en promedio se estima que el

porcentaje de recambio esta entre el 22.5 % con un depósito de carbono de 42.306,7 kg. ha<sup>-1</sup> por año (Torres et al., 2012).

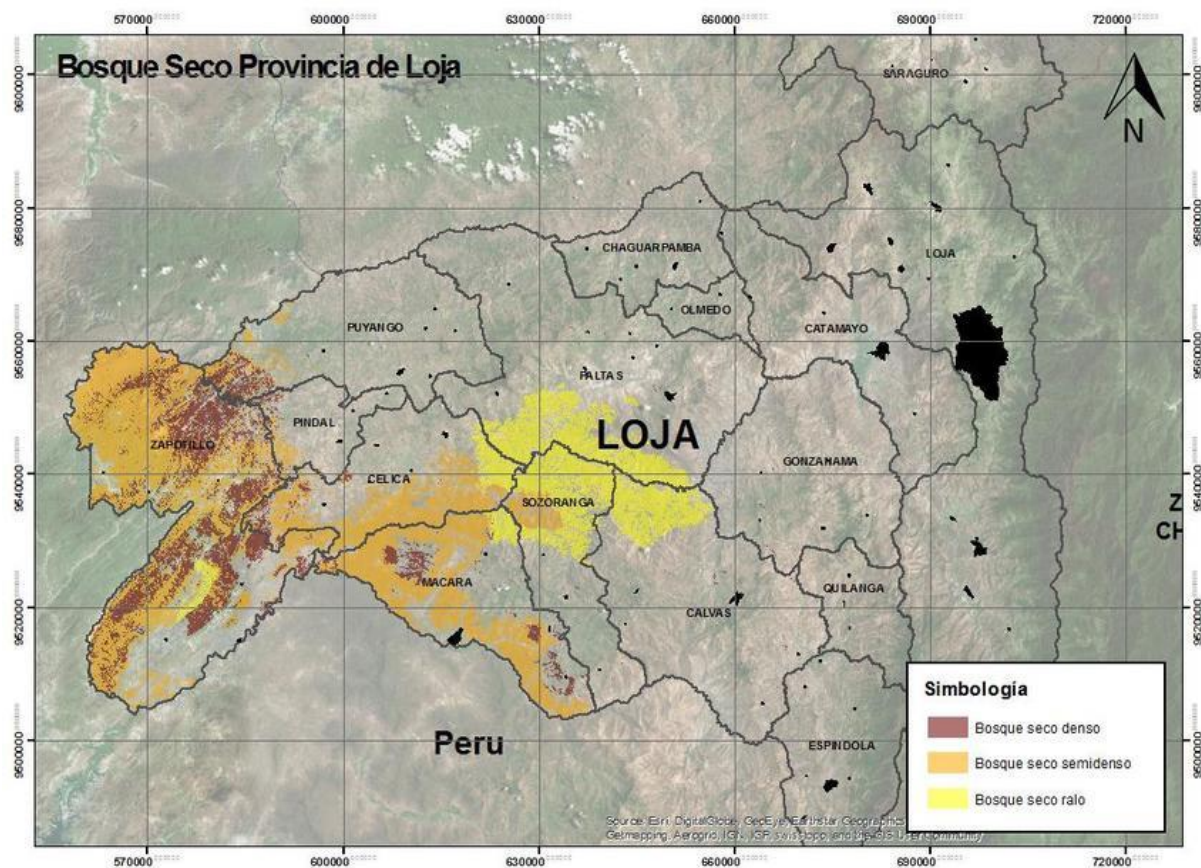
La principal herramienta para mantener la humedad es formando capas gruesas de hojarasca en el suelo, lo que ayuda a conservar los sistemas radiculares. La biodiversidad de los BST continúa siendo motivo de investigaciones por los altos niveles de endemismo y características particulares de la vegetación y de la fauna. Establecer patrones de relación y comportamiento entre los diferentes componentes y elementos de los BST permitirá una comprensión más completa del sistema en su conjunto (Escribano-Ávila, 2016).

La estacionalidad al ser un factor abiótico es un componente que no se puede controlar, pero tiene influencia directa sobre las raíces finas (Chialva et al., 2021). Se ha evidenciado que disminuye cuando se realiza cultivos bajo condiciones controladas, los factores ambientales tienden a cambiar la morfología de las raíces finas (Mathers et al., 2007).

Investigaciones previas afirman que las especies de bosques secos deben tener una alta adaptación para enfrentar la época seca, en comparación a los periodos normales que una especie experimentaría en condiciones habituales. Otro mecanismo de adaptación es aumentar el volumen de raíces finas para ampliar la superficie de contacto entre la planta y el suelo. Sin embargo, al analizar las tendencias de cambio climático, es lógico esperar que descendan los valores de precipitación registrados en los BST. Actualmente, se busca asumir el desafío de predecir la respuesta por parte de las raíces finas, frente al cambio climático (Markesteyn et al., 2008).

### **4.3. Bosques Secos al sur del Ecuador**

Según Aguirre (2012), los bosques secos se encuentran distribuidos en la costa formando una franja de 25.030 Km<sup>2</sup> en la zona costera, este valor equivale al 10 % del área total del país (Padilla et al., 2018). La mayor distribución se encuentra en la provincia de Loja esto incluye las tierras bajas de la cordillera de los Andes y ciertas estribaciones occidentales bajas de la cordillera de los Andes y los valles secos interandinos entre Ecuador y Perú, todos estos con alta diversidad y una extraordinaria cantidad de especies endémicas de diferentes grupos taxonómicos (Espinosa et al., 2012). La figura 2, indica los bosques al sur del Ecuador (Provincia de Loja)



**Figura 2.** Localización de los bosques secos en la provincia de Loja. Aguirre (2017)

#### 4.4. Diversidad de flora y fauna registrada en la Reserva natural Laipuna

En la Reserva Natural Laipuna se han registrado cerca de 150 especies de aves, 39 de estas son endémicas, son representativas: *Brotogeris pyrrhoptera*, *Synallaxis tithys*, *Syndactyla ruficollis* y *Lath rotricus griseipectus*, de estas *Brotogeris pyrrhoptera* ha sido clasificada como vulnerable (Wurz et al., 2023). También se registran movimientos estacionales de aves por los requerimientos de humedad (BirdLife, 2023)

En cuanto a anfibios y reptiles se puede encontrar: *Prostherapis tricolor*, *Pristimantis lymani*, *Leptodactylus labrosus*, *Physalaemus pustulatus*, *Ameiva edracantha* y *Callopistes flavipunctatus* también especies endémicas de la región sur del Ecuador (Aguilar et al., 2008)

Entre las especies de mamíferos que se registran: *Myrmecophaga tridactyla*, *Odocoileus peruvianus*, *Puma concolor*, *Simosciurus neboxii*, *Lycalopex sechurae* y las Marmosa perplexa que son animales icónicos del bosque seco (Aguilar et al., 2008) Las especies de mamíferos endémicos son, *Sciurus stramineus*, *Artibeus fraterculus*, *Eumops glaucinus*, *Eumops bonariensis* y *Lycalopex sechurae*.

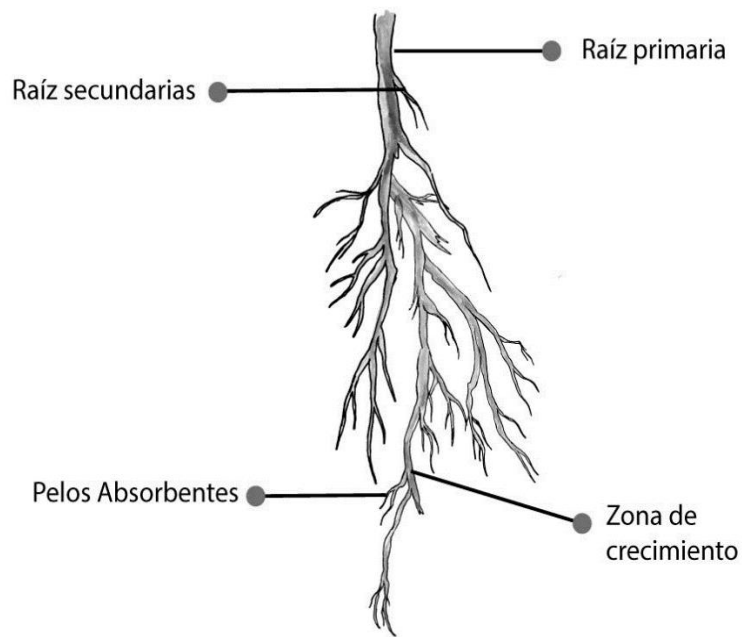
En lo que respecta a la flora se detecta un alto índice de endemismo forestal, de forma general se han contabilizado alrededor de 80 especies arbóreas, pertenecientes a 30 familias entre las más representativas están: Fabaceae con 15 especies, Moraceae con cuatro especies y Capparaceae con tres especies. A los 600 m s.n.m es característico encontrar representantes de las familias Burseraceae, Malvaceae y Convolvulaceae, En el Anexo 2, se presentan las especies registradas en la Reserva natural Laipuna en el último inventario forestal (Wurz et al., 2023).

La riqueza de especies es de 14 a 19 por hectárea en las zonas de menor altura (LAF-600) mientras que para las zonas de mayor altura (LAF - 1200) se ha registrado 28 a 38 especies por hectárea este aumento se atribuye a un mayor porcentaje de humedad (Wurz et al., 2023).

#### **4.5. Tipos de sistemas radiculares en los bosques secos**

Al existir varios criterios de clasificación, se utilizará la clasificación que se enfoca a la morfología de la raíz. El primero grupo corresponde a las raíces principales las cuales son de gran tamaño y tienen su origen en el punto de germinación de la planta o a su vez en la radícula emergente (Elliott y Velásquez, 2023). Estas raíces son pronunciadas en largo y diámetro algunos investigadores también las denominan raíces axonomorfas, el crecimiento es de tipo primario (mayor desarrollo en longitud), de donde salen ramificaciones laterales en distintas direcciones. Las raíces axonomorfas (raíces primarias) generalmente están presentes en plantas cotiledóneos y eofilos (Lizarraga et al., 2016). La tendencia de las raíces axonomorfas es crecer hacia la profundidad, pero también dentro de este grupo hay raíces que crecen hacia la superficie a estas se las conoce como raíces respiratorias (Esau et al., 1982).

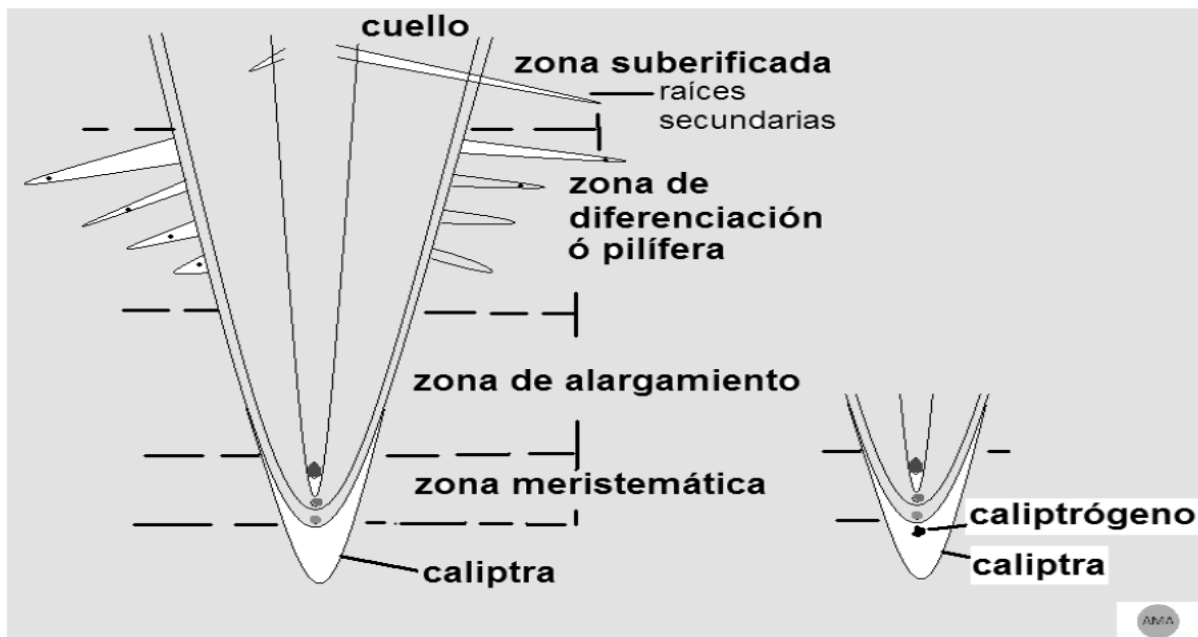
El segundo grupo corresponde a las raíces adventicias, estas son toda ramificación que sale de una raíz principal o axonomorfa y lo singular de estas raíces es que se van regenerando, según vayan muriendo las antiguas raíces adventicias (raíces finas) esta dinámica de cambio es mayor con relación a las raíces axonomorfas, las raíces adventicias son las más comunes tanto para árboles, arbustos, epifitas entre otras especies vegetales (Fornaris, 2012). Para algunos arbustos y hierbas, su sistema radicular esta únicamente formado por raíces adventicias y por ello tienen gran capacidad de propagarse y regenerarse, las raíces adventicias al ser cortadas o mutiladas pueden generar nuevos arbustos (Reyna et al., 2016), La Figura 3, esquematiza las raíces primarias y secundarias e indica de forma general su distribución.



**Figura 3.** Tipos de raíces y su distribución. (Gonzaga, 2023)

Las raíces adventicias son de gran adaptación y puede desarrollarse en cualquier dirección a partir de una raíz axonomorfa, de forma general se puede decir que una raíz adventicia cuenta con tres zonas (Universidad Nacional de la Plata, 2016).

- Cuello: lugar de unión con una raíz axonomorfa.
- Zona suberificada: abarca desde el cuello hasta la zona pilífera (múltiples ramificaciones de diámetros inferiores a la raíz adventicia).
- Zona pilífera: lugar de ramificación múltiple, llegando a tejidos muy delgados siendo visibles pelos absorbentes y radiculares Ver figura 4.



**Figura 4.** Zonas de una raíz fina o adventicia (UNLP, 2008)

#### 4.6. Raíces Finas

Conti (2014) señala la importancia de las raíces finas en la conservación de los Bosques Secos y los sumideros de carbono, una adecuada conservación de este tipo de ecosistemas garantiza que el carbono orgánico del suelo (COS) se pueda fijar y mantener en el estrato orgánico, en el caso de las especies leñosas de los bosques secos tienen la capacidad de generar raíces profundas con mayores porcentajes de biomasa subterránea, el mayor problema para los Bosques secos es el cambio de uso de suelo.

La estacionalidad combinada con parámetros ambientales como la humedad del suelo son factores que influyen en el comportamiento de las raíces finas. El comportamiento que se puede establecer es que para la época seca los valores de raíces finas disminuyen y al llegar la época de lluvia los valores tienden a incrementar (Powers y Pérez, 2013).

Uno de los factores ambientales que tiene importancia en el crecimiento de las raíces finas en los bosques secos es la lluvia, al existir presencia de lluvia Kavanagh y Kellman (1992) mencionan, que el crecimiento aumenta y dura hasta los últimos remanentes de agua en el suelo, si bien el tipo de análisis que analizaron fue un crecimiento en condiciones controladas, se logró aseverar que los porcentajes de muerte en las raíces finas es alto.

Un análisis de la influencia de la altitud y la disponibilidad de nutrientes sobre las raíces finas demostró que a mayor altitud los árboles deben invertir mayor cantidad de recursos en las raíces finas para compensar las condiciones del suelo que son cada vez desfavorables, dando como resultado que a mayor altura las raíces finas aumentan de



diámetro, esta tendencia es influenciada por la coexistencia de una amplia gama de especies forestales y cada una con características propias en sus sistemas radiculares finos (Pierick et al., 2023).

Por su parte Mullins (2011) analizo la biomasa de raíces finas (< 2 mm) en cuatro estadios de sucesión del Bosque seco tropical del Parque Nacional Santa Rosa en Costa Rica, a 40 cm de profundidad y estableció que la mayor cantidad de biomasa se encontró en la época seca debido a que se necesita mayor cantidad de biomasa de raíces finas para poder captar los nutrientes y agua, el estadio que presento mayor cantidad de biomasa de raíces finas fue el bosque tardío (361,943 g/m<sup>2</sup>).

#### **4.7. Principales funciones de las raíces finas o adventicias**

Por la morfología de las raíces finas (adventicias) tendrán funciones específicas la principal y más conocida es la fijación y absorción de nutrientes, ya que constituye el punto de conexión con el entorno natural, la absorción de agua se da a través de las estructuras llamadas tricoblastos que se encargaran específicamente de esta función (Jiménez Rodríguez, 2004).

Una de las funciones que también se atribuye a las raíces finas es la fijación mecánica para la planta, con estas se genera la superficie necesaria para que la planta o arbusto tenga el soporte requerido para desarrollarse. Al estar en un entorno de competencia, una buena superficie de contacto garantiza condiciones favorables para desarrollarse frente a los demás individuos, se puede afirmar entonces que un buen sistema de raíces adventicias será una estrategia eficiente de supervivencia para cada individuo dentro del ecosistema (Cano et al., 2014).

Bellini et al (2014) plantean la necesidad de diferenciar entre raíces finas y las raíces laterales, las raíces adventicias tienen la capacidad de desarrollarse de diferentes tejidos y puntos del sistema radicular principal esto brinda un mayor contacto con la capa orgánica que será el sustrato donde obtendrá los nutrientes necesarios, se atribuye que la presencia de las raíces finas son una respuesta adaptativa frente a diversas tensiones que pueda sufrir el entorno como, sequías, inundaciones, altas temperaturas, erosión del suelo, disminución de nutrientes entre otros, para ciertos tipos de especies los sistemas radiculares adventicios son el mecanismo de propagación de la especie.

Una de las funciones con mayor relevancia que se atribuye a las raíces finas es que brinda la capacidad adaptativa que necesita las especies forestales, en especial al cambio climático o en particular a estacionalidades marcadas que se extienden.

Al contar con un vasto volumen de raíces finas se puede disminuir el estrés que la planta soporta, en ecosistemas en el que el exceso de agua es un problema las raíces finas (adventicias) permiten estabilidad a la planta y contacto con el sustrato orgánico del suelo (Lorbiecke y Sauter, 1999).

#### **4.8. Morfología de las raíces finas**

La morfología de las raíces finas se refiere al aspecto visual externo de las raíces. Cada raíz fina se desprende de una raíz principal y en su mayoría, se extienden a lo largo de la capa orgánica para aprovechar los nutrientes y el agua (Hernández y Sánchez, 2012). Aunque existen especies con sistemas radiculares principales que crecen completamente de manera vertical, lo que hace que sea complejo obtener muestras de raíces finas (Reyes et al., 1998).

La mayoría de las raíces finas crecen de manera geniculado sin una dirección fija, lo que hace que se entrelacen con las raíces vecinas. Normalmente, comienza con una elongación que se conecta a una raíz primaria. De esta elongación surgen una gran cantidad de raicillas, cuyo diámetro disminuye a medida que avanzan en longitud. (Medeiros et al., 2019).

Otra de las características propias de las raíces finas es su cantidad de nódulos, esta característica es un rasgo identificativo que en ese punto se regeneran o nuevamente se inicia el crecimiento, dependiendo de la especie la raíz será más pronunciada o menos perceptibles, Moreira y Arnáez (2008) mencionan que estos nódulos son los responsables de fijar nitrógeno para la planta.

La morfología de las raíces finas tiene características según la especie, por ello existen variaciones marcadas en el color, la consistencia y la disposición general. Saber la forma general de una raíz en condiciones normales es una herramienta muy práctica para determinar si se cataloga como biomasa o necromasa. Para establecer la diferencia una de las características que se verifica es la consistencia, si bien una raíz tiene cierta elasticidad en condiciones saludables, cuando ya está como biomasa se vuelve quebradiza.

El volumen interno determina la morfología de las raíces, cuando es considerada necromasa las raíces internamente han perdido volumen y lo único que se encuentra es su estructura externa, otra condición que permite determinar el estado de las raíces es su comportamiento ante el estereomicroscopio, las raíces vivas reflejan luz, las raíces muertas (necromasa) no reflejan luz y su estructura externa es escasa incluso desaparece, por lo que fácilmente se puede visualizar a través de estas raíces (Lorbiecke y Sauter, 1999).

#### **4.9. Factores ambientales que influyen en las raíces finas**

Ruthsatz (1978) plantea una conexión entre los factores ambientales o edáficos (temperatura, sequía física, fisiológica y vientos) con la morfología y anatomía de las raíces cada factor tiene influencia en diferente medida en las condiciones de las raíces.

La temperatura del suelo como la temperatura atmosférica tienen influencia en el comportamiento de las raíces, humedad y la disponibilidad de nutrientes del suelo influyen en la longitud de las raíces mientras que el aumento de la temperatura incrementa el porcentaje de mortalidad o necromasa. La temperatura al relacionarse con la estacionalidad de los BST y la tendencia caducifolia del bosque determina la longitud y los porcentajes de biomasa que se puede cuantificar (Pregitzer et al., 2000).

La precipitación es un factor determinante, los meses de la época seca fácilmente se extienden por más tiempo. Las raíces finas tienen limitada cantidad de agua que pueden suministrar a la planta. Cuando la época seca se prolonga las raíces finas son las primeras en ser afectadas, en particular la capa orgánica presenta un alto grado de sequía haciendo que su suelo sea altamente arenoso y desprendible, conforme avanza la época de sequía el suelo llega a compactarse hasta formar grietas pronunciadas, las raíces finas se tornan altamente quebradizas, este comportamiento ya se ha registrado en otras investigaciones realizadas en bosques secos (Corcobado et al., 2013).

Cuando empieza el periodo de lluvia, los niveles de precipitación son elevados generando altos porcentajes de humedad y agua en el suelo, hasta el punto de saturar su capacidad de retención, es un contraste ver como un ecosistema altamente árido en la época seca se torna muy similar a los bosques húmedos de la región, la capa orgánica con la influencia de la precipitación, rápidamente recupera su cobertura vegetal, algunos autores mencionan que los sistemas radiculares de los bosques secos también están adaptados a fuertes porcentajes de infiltración por que en otras circunstancias tal vez morirían por disminución de su capacidad de respiración o por formarse escorrentías fuertes (Enquist y Leffler, 2001).

#### **4.10. Biomasa y necromasa en sistemas radiculares finos**

Cuando se habla de biomasa se hace referencia a todo el sistema radicular fino que se encuentra en condiciones de vida. La necromasa hace referencia a las raíces que por falta de nutrientes o por las condiciones ambientales se encuentran muertas. Estos son factores que investigadores han utilizado para determinar tasas de cambio y regeneración en las raíces finas, al cuantificar la biomasa también se puede estimar índices de absorción de nutrientes por parte de la planta, también se plantea relacionar el porcentaje de necromasa con una baja disponibilidad de agua (Helmisaari y Hallbäcken, 1999).

Los porcentajes de biomasa del BST son el resultado de la influencia de los factores ambientales, las raíces finas generan constantes cambios en los que aumenta la cantidad de biomasa, esto al tener disponibilidad de agua y temperatura adecuada (ambiente y suelo). En el caso de la necromasa aumentara cuando la disponibilidad del agua disminuye e incrementa la temperatura (aire y suelo). Cuando la época seca se prolonga y los factores ambientales son marcados los porcentajes de necromasa tienen un evidente aumento (Ramírez et al., 2022).

La biomasa y la necromasa son parámetros que se han utilizado para tener una idea generalizada de cómo se comportan las raíces finas (Galicia et al., 2015), en base a esta variable se relacionarán otras variables. Se espera que la biomasa y la necromasa permita comprender la diferenciación entre las estaciones, determinar cómo los factores ambientales influyen en las características morfológicas de las raíces finas.

## 5. Metodología

### 5.1. Ubicación y extensión del área de estudio

La investigación se desarrolló en el bosque seco tumbesino de la Reserva Natural de Laipuna de la Fundación Naturaleza y Cultura Internacional (NCI), ubicada en la parroquia de Larama del cantón Macará, provincia de Loja al sur del Ecuador. En las siguientes coordenadas WGS-1984-UTM-Zone-17S: 623307.00; 9534397.00 (Mancomunidad Bosque Seco, 2014). Limita al norte y oeste: Cantón Celica y Río Catamayo, al sur: con El Vergel y Portachuelo, al este con Tangula, Canguraca, Naranjillo y Numbiaranga (Tapia, 2011).

La Reserva Natural de Laipuna cuenta con una superficie de 25 km<sup>2</sup> y cuenta con estaciones climáticas marca Campbell Scientific serie CR300, que reportan datos de precipitación, temperatura del aire, temperatura del suelo a 5 cm y 15 cm de profundidad (sensores instalados en la capa orgánica del suelo) cada 30 min.

En esta reserva se utilizó dos parcelas permanentes de monitoreo y control, ubicadas a dos pisos altitudinales: 600 m s.n.m. y 1200 m s.n.m., que fueron instaladas por el proyecto "Respect" de la Fundación Alemana para la investigación (DFG) en el año 2021.

En la Figura 5, se muestra La Reserva Natural de Laipuna, clasificada por pisos altitudinales empezando en 400 m s.n.m con un color verde oscuro hasta llegar a 1500 m s.n.m con un rojo oscuro. En donde se observan las parcelas de estudio, ubicadas a 600 m s.n.m. y a 1200 m s.n.m.

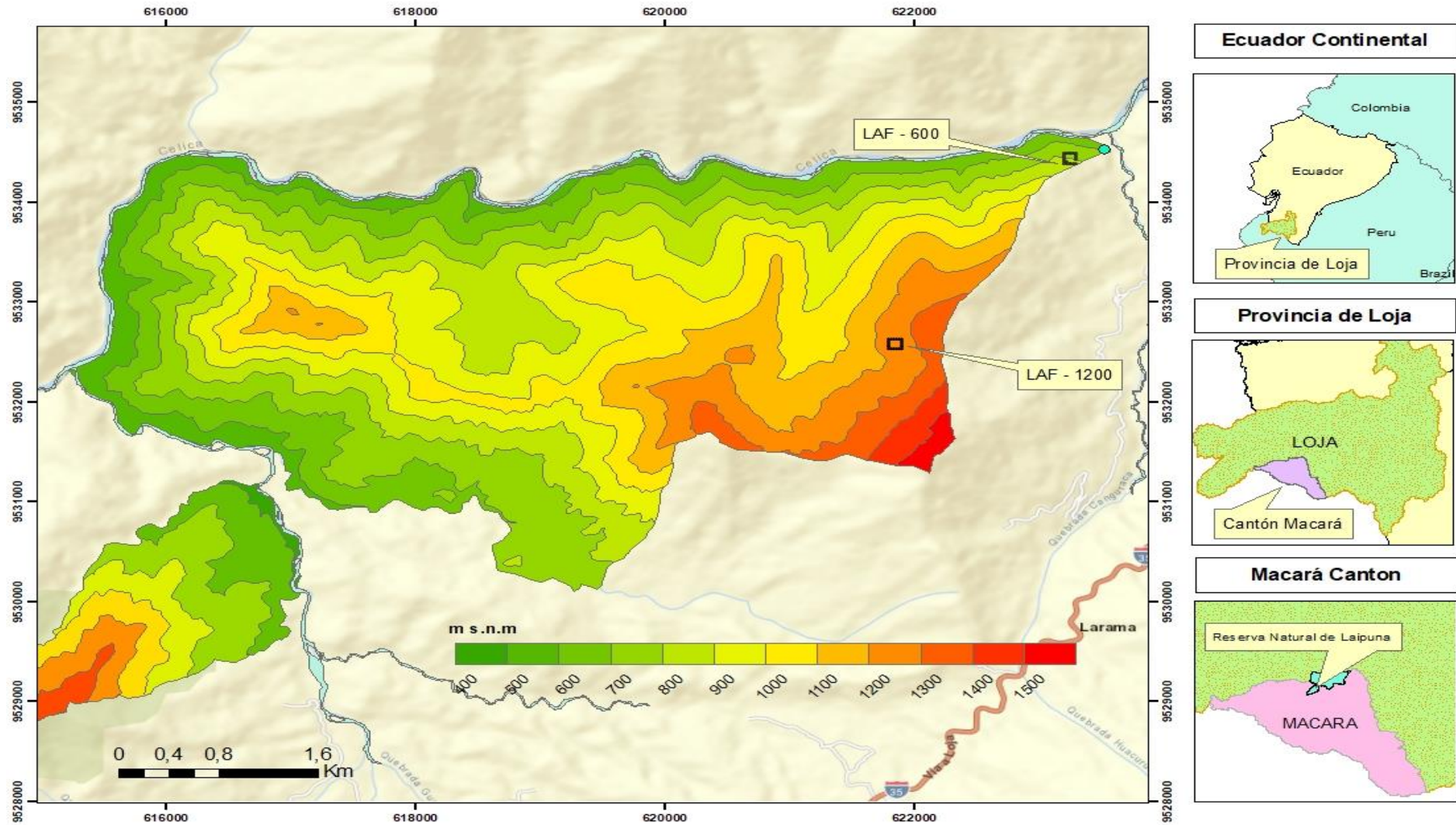


Figura 5. Pisos altitudinales del área de la Reserva Natural Laipuna y las parcelas de muestreo. Fuente: Gonzaga J. (2023)

## **5.2. Zona de vida y características climáticas**

Cañadas (1983), establece que el área de estudio tiene un clima Ecuatorial megatérmico Seco, que corresponde a las parroquias de Sabiango y las parroquias urbanas de Macará incluyendo a la parroquia Eloy Alfaro.

La precipitación anual registra un promedio de 625 mm durante la estación lluviosa, que abarca desde diciembre a abril, y la estación seca de mayo a noviembre con una precipitación de 648 mm, para la altitud de 590 m s.n.m y de 1238 mm a una altura de 1125 m s.n.m (Pucha-Cofrep et al., 2015).

## **5.3. Diseño del muestreo**

Se seleccionó dos parcelas permanentes del proyecto Respect ubicadas a 600 m s.n.m. y a 1200 m s.n.m., respectivamente, cada parcela tiene 100 m x 100 m, y esta subdividida en 25 subparcelas (20 m x 20 m). El Anexo 3, indica la distribución de las parcelas con sus respectivas subparcelas, los vértices de las subparcelas fueron señalados con una varilla y su numeración respectiva.

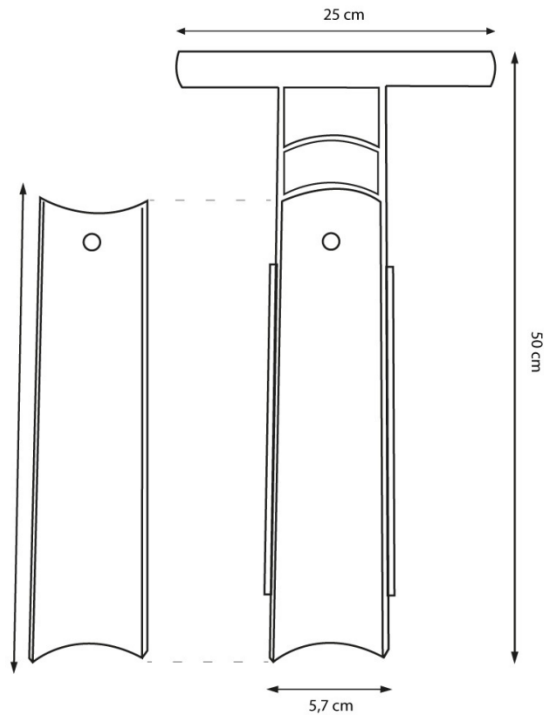
De forma aleatoria se generaron 10 puntos de muestreo con base a los números de los vértices de cada subparcela (varilla numerada), con lo que se cubre un 27.7 % del área de muestreo. Se obtuvieron 10 réplicas por parcela en cada mes de muestreo (desde mayo 2022 hasta febrero 2023) por lo que se logró obtener datos del bosque seco tanto de la época seca como lluviosa (Casal y Mateu, 2003).

Para tener las mismas condiciones de muestras tanto por parcela como por punto de muestreo, se estandarizó el proceso de muestreo. A una distancia de 1 m hacia el norte del punto de muestreo se tomó la primera muestra, con la ayuda de un barreno cilíndrico (Figura 6), el siguiente mes, se repitió el proceso desde el vértice de referencia y 30 ° a la derecha del punto donde se tomó la primera muestra, de esta manera se continua en sentido horario durante los 10 meses de muestreo.

El muestreo inició en mayo de 2022 y finalizó en febrero de 2023, los meses desde mayo hasta noviembre corresponden a la época seca, y a partir de diciembre hasta abril corresponde a la época lluviosa (Romero, 2011).

## **5.4. Cantidad de muestra colectada**

El tamaño de la muestra correspondió a los 10 cm de la capa orgánica del suelo, para ello se utilizó un barreno cilíndrico y aplicó la fórmula del área de un cilindro. Se estableció la cantidad aproximada en gramos por cada uno de los puntos de muestreo. La Figura 5, esquematiza la forma del barreno que se utilizó para la extracción de las muestras.



**Figura 6.** Barreno cilíndrico utilizado en el muestreo de las raíces finas. (Gonzaga, 2023)

$$VM_{RF} = \pi r^2 h$$

$$VM_{RF} = (3.1416) (2.85 \text{ cm})^2 (10 \text{ cm})$$

$$VM_{RF} = 255.1764 \text{ cm}^3$$

VM = Volumen muestra

RF = Raíces Finas.

$\pi = 3.1416$

$r^2 =$  Radio al cuadrado.

h = Altura

La cantidad aproximada de colecta fue de 255.18 cm<sup>3</sup>

## 5.5. Preparación de la muestra

Para analizar las raíces, se realizó un lavado inicial con el fin de eliminar la materia orgánica y mineral de la muestra. Para obtener las raíces, se realizaron varios lavados con agua común a través de dos tamices analíticos con luz de 2.00 mm y 2.30 mm. Para evitar daños a las raíces, se utilizó pinzas de laboratorio para su extracción y se colocaron en una caja petri con agua común, para su posterior clasificación en biomasa y necromasa. Imágenes referentes al proceso se encuentran en los Anexos 5 - 7.



Para la clasificación de las raíces se utilizó un estereomicroscopio modelo Stemi 2000. Se colocó la muestra de raíces finas en la caja petri con agua común para facilitar la separación y manipulación, se utilizó el lente de 40 x para obtener imágenes claras y distinguir las raíces vivas (biomasa), raíces muertas (necromasa), materia orgánica y hojarasca. Anexo 8.

Se aplicó dos parámetros de selección el primero fue el tamaño, en donde se identificó solo las raíces finas con un diámetro menor o igual a  $2 \text{ mm}^2$  (H. Wang et al., 2019). El segundo parámetro fue la consistencia anatómica de las raíces, una raíz viva presenta una consistencia firme, la flexibilidad de una raíz es propia de raíces que se encuentran vivas, por su parte la necromasa presenta consistencia quebradiza que con los mínimos movimientos se parte en fracciones (Pérez et al., 2013).

La necromasa y biomasa se colocó en una funda de papel de  $5 \text{ cm} * 10 \text{ cm}$  y se dejó en una estufa de convección forzada durante tres días para eliminar la humedad. (Pierret et al., 2005).

#### **5.6. Escaneo de raíces finas**

Se colocó 30 ml de agua común en una cubeta de policarbonato con la muestra de raíces finas para posterior colocarla en el HP Scanjet (escáner) G4050, se digitalizó las raíces con una resolución de 600 y un tamaño de imagen de  $25 \text{ cm} * 25 \text{ cm}$ , la cual se cargó al programa WinRHIZO de la empresa Regent Instruments Canadá Inc. Se registró las variables dependientes: Longitud total de las raíces (Len) [cm]; Área radicular de las raíces (SA) [ $\text{cm}^2$ ]; Volumen total de las raíces (Vol) [ $\text{cm}^3$ ]; promedio del diámetro de las raíces (AvgD) [mm] (Gutiérrez et al., 2014).

#### **5.7. Descripción de las propiedades de las raíces finas y su relación con factores ambientales**

Para determinar las propiedades de las raíces finas con los factores ambientales se usó el software libre de análisis estadístico R – Studio, en su versión RStudio 2022.12.0+353, este programa brinda paquetes estadísticos que al combinarlos ayudan a interpretar, graficar y analizar los datos generados.

Se utilizó las librerías: “lubridate” para leer líneas de fechas, para este propósito es útil ya que el periodo de muestreo implicó 10 meses con un mismo intervalo de semanas, “tidyverse” para cargar múltiples paquetes y compilar, organizar, filtrar o agrupar los datos y poder visualizarlos. “knitr” para leer varios formatos de archivo, también dar formato a la información generada, incluir tablas en diferentes formatos interpretando series de datos para ver su tendencia características y comportamientos. “rmarkdown” permitió la agrupación de datos ya sea numéricos o caracteres, “gpubr” permitió generar gráficas

comparativas entre variables con sus respectivos estadísticos, El paquete “Here” direcciona y abre los archivos base de un documento para poder tener el documento base.

Las bases de datos de variables climáticas fueron registradas por las estaciones climáticas del proyecto, se utilizó: temperatura aire (AirTC), lluvia acumulada previo al muestreo (Rain\_mm\_Tot), temperatura del suelo a los 5 cm de la capa orgánica (soil\_T\_5\_Avg), temperatura del suelo a los 15 cm de la capa orgánica (soil\_T\_15\_Avg), contenido de agua en el suelo (SWC).

Se utilizó estadística descriptiva para describir las propiedades de las raíces finas, mientras que para identificar las características morfológicas (área, volumen, longitud, diámetro) por piso altitudinal y su relación con los factores ambientales (precipitación, temperatura del aire, temperatura del suelo, humedad del suelo) se utilizó estadística inferencial.

Se utilizó la prueba t-Student que relaciona oportunamente los dos valores que se generan para cada variable morfológica (Bauhus y Messier, 1999). La hipótesis que se validó fue sobre la igualdad de los valores generados por variable morfológica, mientras que la hipótesis alternativa permitió determinar la existencia de diferencias en las características morfológicas de las raíces finas (Mishra et al., 2019).

#### **5.8. Cuantificación del porcentaje de biomasa y necromasa de las raíces finas en la capa superior del suelo**

El cálculo del porcentaje de biomasa y necromasa se calculó con base al peso en seco de las muestras obtenidas de raíces finas, tal como se menciona en Galicia et al., (2015). Las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en una estufa marca MEMMERT modelo GmbH + Co de 30 Kg, con convención natural a 60.0°C durante dos días. Para el pesaje en seco, se utilizó una balanza analítica de precisión marca KERN modelo ABS 220-4N, con capacidad máxima de carga de 220 g. Para el almacenamiento de las muestras secas siguió lo recomendado por Calvo-Alvarado (2014).

Para la cuantificación de la biomasa y necromasa se aplicó pruebas diagnóstico de normalidad y homogeneidad de varianzas, en el caso de algunas variables se sometió a un tratamiento logarítmico, se determinó la dinámica y diferencias en las medias entre las parcelas (Mosquera y Hurtado, 2022) para ello se aplicó la prueba t-Student, con lo que se determinó la existencia de una diferencia significativa entre las medias de dos grupos diferentes con un valor de significancia de 0.05 (Salehi et al., 2014).

## **5.9. Modelo de regresión entre las variables dependientes y las variables independientes**

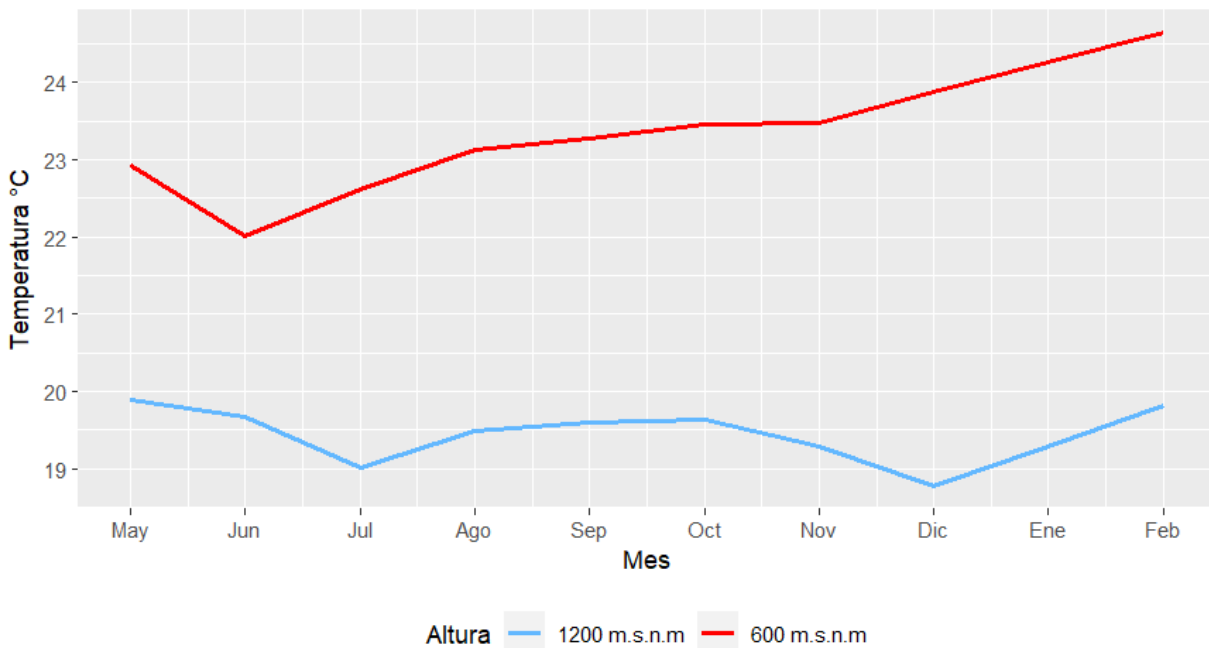
El modelo de regresión brindó la capacidad de ver la relación múltiple y como se podría comportar las variables dependientes (morfológicas), el supuesto que se evaluó entre las variables es una relación lineal en la cual se asocia cambio o comportamiento entre las mismas (Moral, 2006). Este tipo de prueba se aplicó por ser la que se adapta a los datos, al contar con varios parámetros de análisis se segmentó cada variable dependiente y determino cuál variable climática tendría mayor influencia sobre la variable (Núñez et al., 2011). Con esto se identificó si todas las variables morfológicas tienen el mismo comportamiento o cuál de estas responde de forma diferente ante las condiciones climáticas del área de estudio.

## 6. Resultados

### 6.1. Descripción de las raíces finas y su relación con factores ambientales

#### 6.1.1 Temperatura del aire [°C] por piso altitudinal

La Figura 7 muestra que la temperatura del aire es mayor en el piso altitudinal de 600 m s.n.m. mientras que a 1200 m s.n.m. la temperatura decrece de 23°C a 20°C, no obstante, similar patrón se mantiene a lo largo del tiempo de monitoreo. La temperatura media para LAF-600 es de 23.36°C, mientras que para LAF-1200 es de 19.44°C, por lo que las diferencias estadísticas son significativas con un p valor= < 2.2e-16.

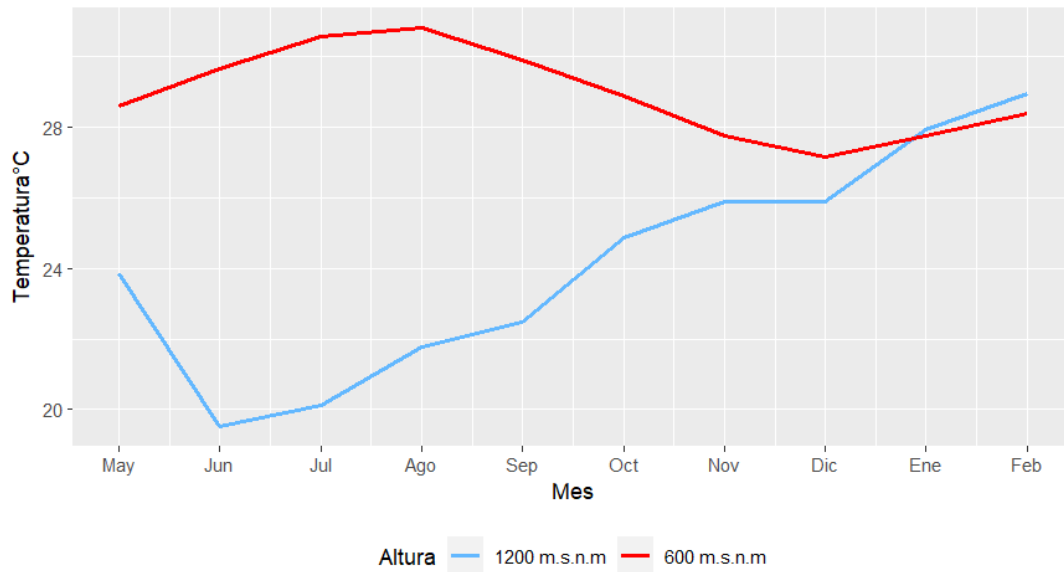


**Figura 7.** Comparativa de la temperatura del aire por piso altitudinal.

#### 6.1.2 Temperatura del suelo

- A 5 cm de profundidad [°C]

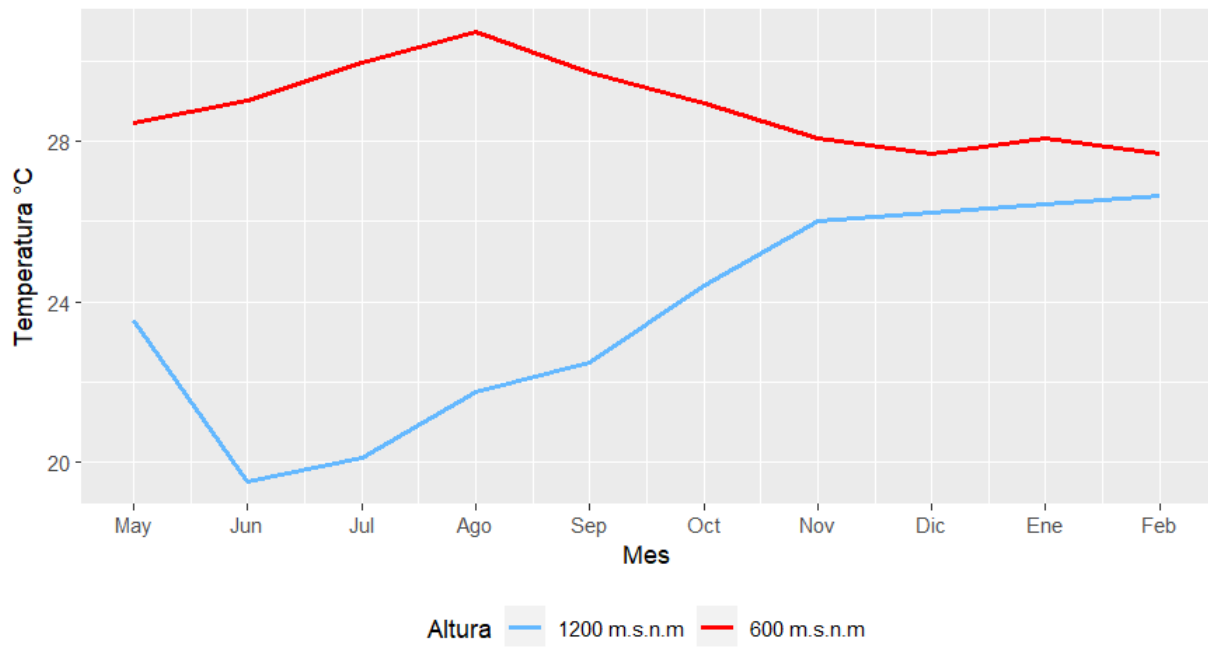
La temperatura en los primeros centímetros de suelo de la capa orgánica presentó un promedio de 28.937°C a 600 m s.n.m. mientras que a 1200 m s.n.m. alcanzo un promedio de 24.128 °C. En la figura 8, se muestra el comportamiento de esta variable a lo largo del periodo de monitoreo, se puede observar que los valores más altos coinciden con los meses secos y comienza a decrecer para los meses lluviosos, no obstante, se puede observar que ambas temperaturas llegan a ser similares en los últimos meses de monitoreo que coinciden con la época lluviosa, a pesar de ello este parámetro en las dos altitudes evaluadas es estadísticamente significativo con un p < 2.2e-16.



**Figura 8.** Temperatura del suelo a 5 cm de profundidad.

- **A 15 cm de profundidad [°C]**

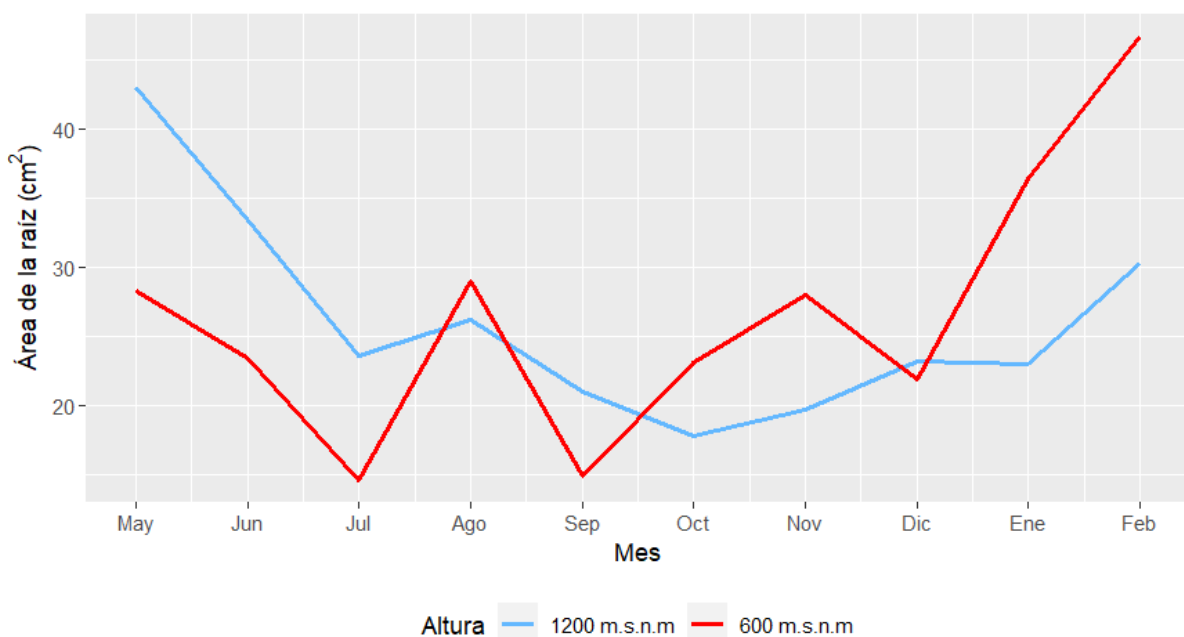
El ancho promedio de la capa orgánica esta entre 5 y 15 cm, La temperatura a 600 m s.n.m. presento un máximo de 31°C en el mes de agosto y mínima en enero de 27°C. mientras que a 1200 m s.n.m la temperatura mínima es de 13.5°C en el mes de junio y con máximas de 27.5°C para el mes de febrero. Las diferencias de este parámetro son estadísticamente significativas con un  $p < 2.2e-16$ .



**Figura 9.** Temperatura del suelo a 15 cm de profundidad.

### 6.1.3 Área radicular (SA) [cm<sup>2</sup>]

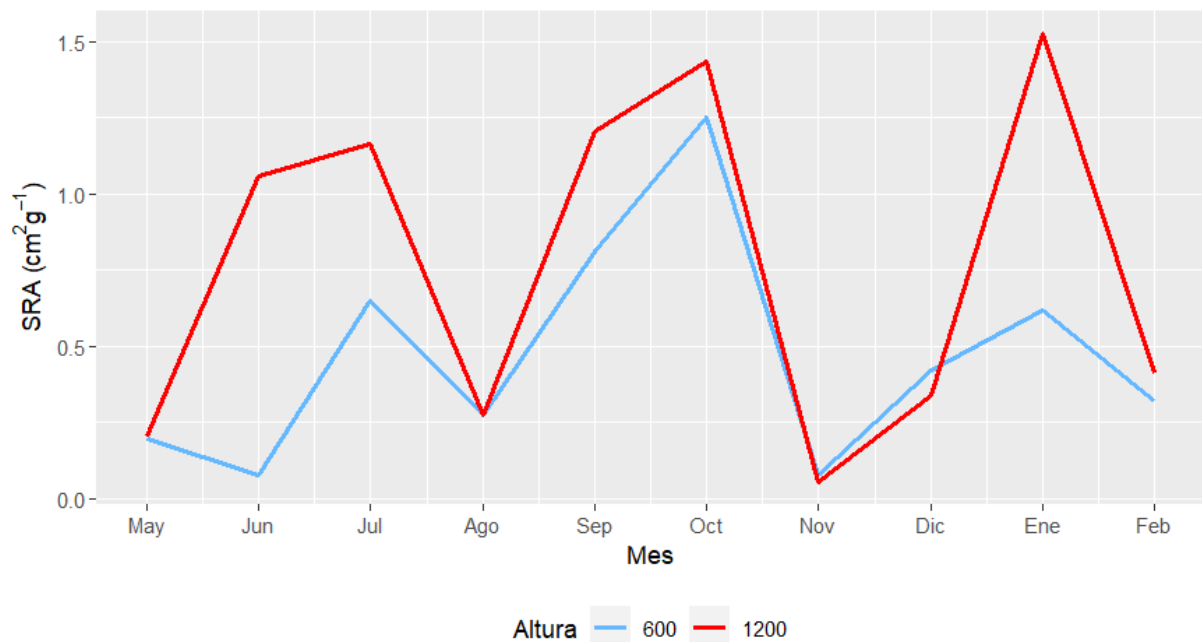
La figura 10, muestra variabilidad del área de la raíz a lo largo del periodo de monitoreo. Como se puede observar, ambas altitudes siguen patrones semejantes, en la época lluviosa (diciembre a abril) el área de las raíces se incrementa sobre todo a 600 m s.n.m. mientras que para los 1200 m s.n.m., febrero es el mes que empieza a registrar los valores más altos. Se puede evidenciar que durante los meses de mayo a noviembre el área de raíces finas disminuye en ambos pisos altitudinales. El área radicular media a 600 m s.n.m. fue de 26.606 cm<sup>2</sup>, mientras que los 1200 m s.n.m., la media registrada fue de 26.094 cm<sup>2</sup>, no existen diferencias estadísticas significativas entre las áreas radiculares de ambos pisos altitudinales con  $p = 0.7944$ .



**Figura 10.** Comparación del área radicular de las raíces finas (cm<sup>2</sup>) por pisos altitudinales.

### 6.1.4 Área específica (SRA) [cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>]

La figura 11, muestra la variabilidad del área específica (relación entre el área de las raíces finas por el peso seco de cada una de las muestras) durante el periodo de monitoreo. Como se puede observar, ambas altitudes siguen patrones semejantes, en la época lluviosa (diciembre a abril) el área específica se incrementa en particular a 1200 m s.n.m. mientras que para los 600 m s.n.m., desde diciembre empieza un leve ascenso de los valores registrados. No hay patrones de comportamiento definidos para el área específica. El diámetro medio a 600 m s.n.m. fue de 0.4692 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, mientras que a los 1200 m s.n.m. la media registrada fue de 0.7677 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> mm, existen diferencias significativas entre el volumen de ambos pisos altitudinales con  $p = < 0.02395$ .

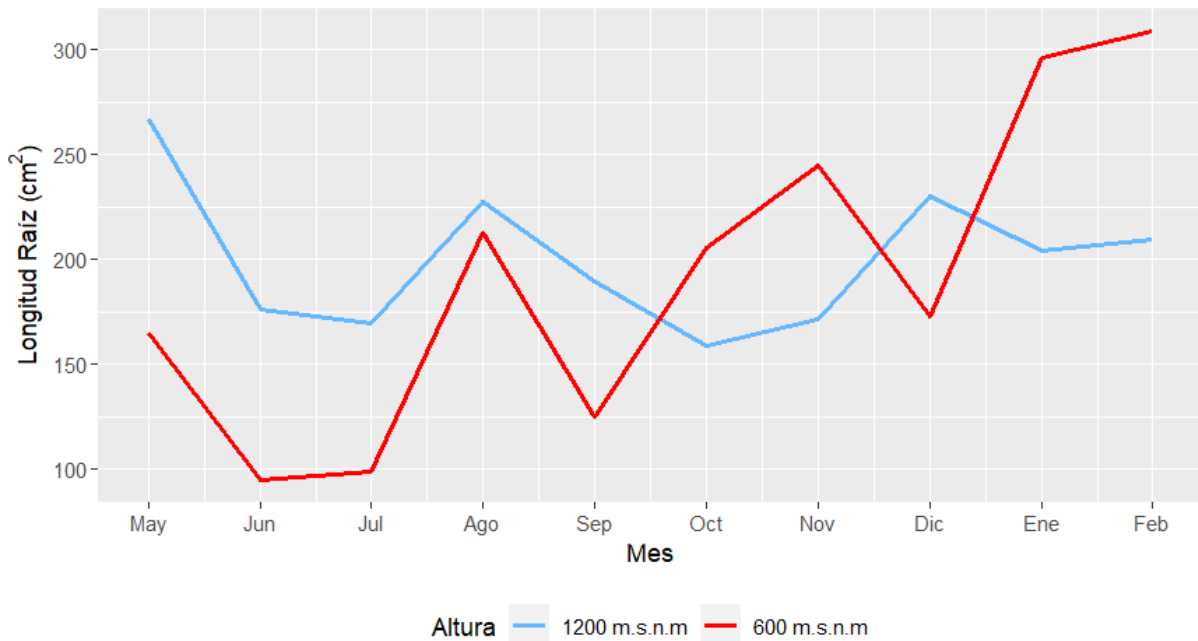


**Figura 11.** Área específica de raíces finas ( $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ )

### 6.1.5 Longitud total (LEN) [ $\text{cm}^2$ ]

La figura 12, muestra variabilidad de la longitud durante del periodo de monitoreo. Ambas altitudes siguen patrones semejantes, en la época seca (mayo a noviembre) la longitud se incrementa sobre todo a 1200 m s.n.m., para los 600 m s.n.m., enero es el mes que empieza a registrar los valores más altos. Se puede evidenciar que durante los meses de mayo a octubre la longitud de raíces finas disminuye en ambos pisos altitudinales. La longitud media a 600 m s.n.m. fue de  $192.472 \text{ cm}^2$  mientras que los 1200 m s.n.m. la media registrada fue de  $200.387 \text{ cm}^2$ , no existe diferencias estadísticas significativas entre la longitud total de ambos pisos altitudinales con  $p = 0.5969$ .

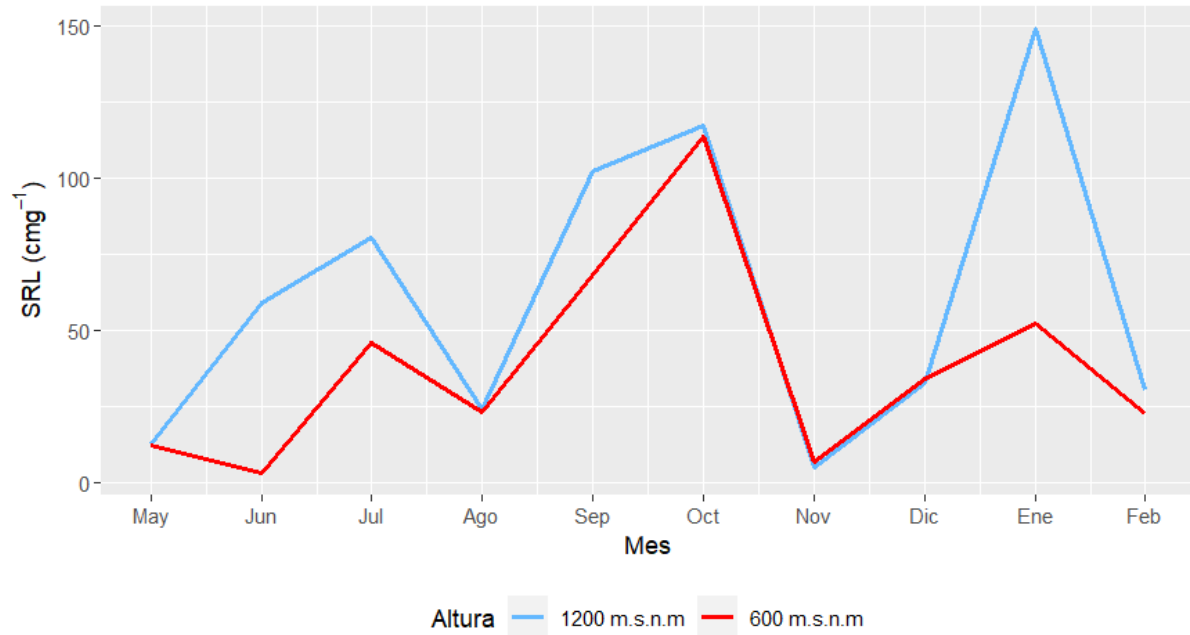




**Figura 12.** Longitud total de raíces finas (cm<sup>2</sup>)

#### **6.1.6 Longitud específica de las raíces (SRL) [ cm g<sup>-1</sup>]**

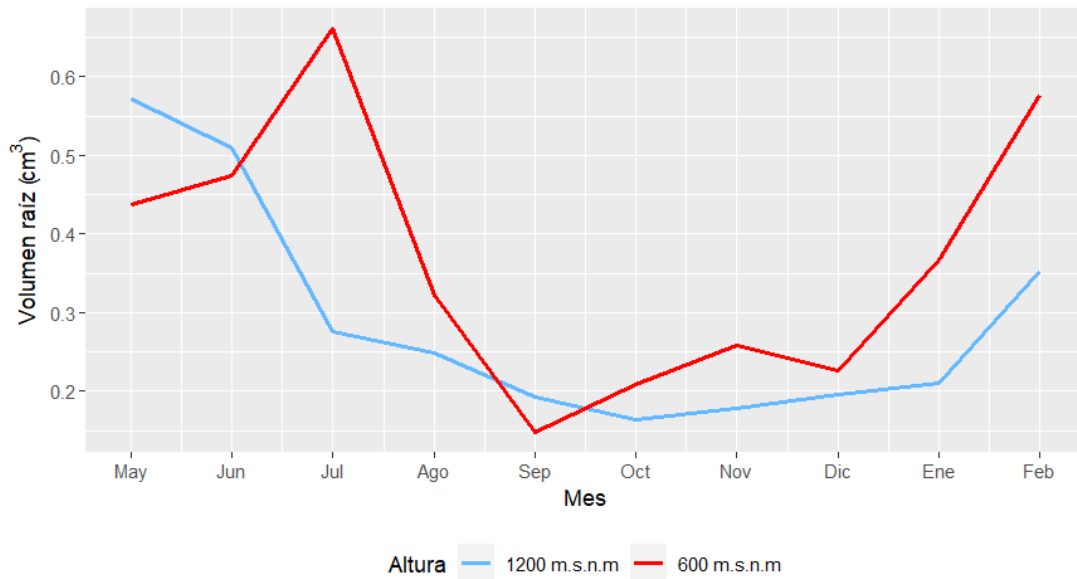
La figura 13, muestra la variabilidad de la longitud específica (relación entre la longitud de las raíces finas para el peso seco de cada muestra). Como se puede observar, ambas altitudes siguen patrones similares, en la época lluviosa (diciembre a abril) la SRL de las raíces se incrementa a 1200 m s.n.m., para los 600 m s.n.m., diciembre es el mes que empieza a ascender hasta su punto máximo en enero. Se puede evidenciar que durante los meses de junio a noviembre el diámetro disminuye en ambos pisos altitudinales. La longitud específica media a 600 m s.n.m., fue de 038.0966 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, mientras que a los 1200 m s.n.m., la media fue de 61.2785 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, existen diferencias significativas entre la longitud de ambos pisos altitudinales con un valor p de = < 0.03959.



**Figura 13.** Longitud específica de raíces finas (cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>)

### 6.1.7 Volumen total (VOL) [cm<sup>3</sup>]

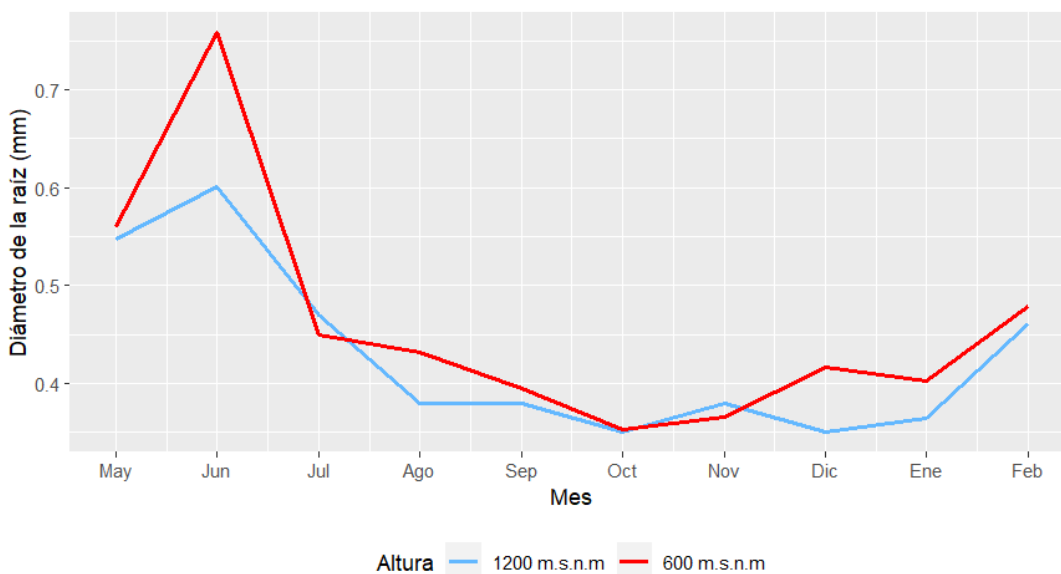
La figura 14, muestra la variabilidad del volumen a lo largo del periodo de monitoreo. Como se puede observar, ambas altitudes siguen patrones semejantes, en la época lluviosa (excepto julio-600 m s.n.m.) el volumen de las raíces se incrementa sobre todo a 600 m s.n.m. mientras que para los 1200 m s.n.m., diciembre es el mes que empieza a ascender los valores registrados. Se puede evidenciar que durante los meses de mayo a noviembre el volumen disminuye en ambos pisos altitudinales. El volumen medio a 600 m s.n.m. fue de 0.3684 cm<sup>3</sup>, mientras que los 1200 m s.n.m., la media registrada fue de 0.2906 cm<sup>3</sup>, existen diferencias estadísticas leves entre el volumen de ambos pisos altitudinales con  $p = 0.1638$ .



**Figura 14.** Volumen total de raíces finas (cm<sup>3</sup>)

### 6.1.8 Promedio del diámetro (AvgD) [ mm]

La figura 15. muestra la variabilidad del promedio del diámetro durante el periodo de monitoreo. Ambas altitudes siguen patrones semejantes, en la época lluviosa (diciembre a abril) el diámetro de las raíces se incrementa en especial a 600 m s.n.m., mientras que para los 1200 m s.n.m., desde diciembre es el mes que empieza a ascender los valores registrados. Se puede evidenciar que durante los meses de junio a noviembre el diámetro disminuye en ambos pisos altitudinales. El diámetro medio a 600 m s.n.m. fue de 0.4619 mm, mientras que a los 1200 m s.n.m., la media registrada fue de 0.4289 mm, existen diferencias significativas entre el diámetro de ambos pisos altitudinales con  $p = < 0.08133$ .



**Figura 15.** Diámetro total de raíces finas (mm)

### 6.1.9 Correlación mensual de la longitud total con las variables ambientales

Con respecto a la longitud total no se observa una relación estadísticamente significativa con ninguna de las variables dependientes. La variable lluvia acumulada tienen un valor de R positivo (0,0448) sin embargo, el valor de p (0,5291) es mayor que el nivel de significancia por lo que, no hay una relación estadísticamente significativa.

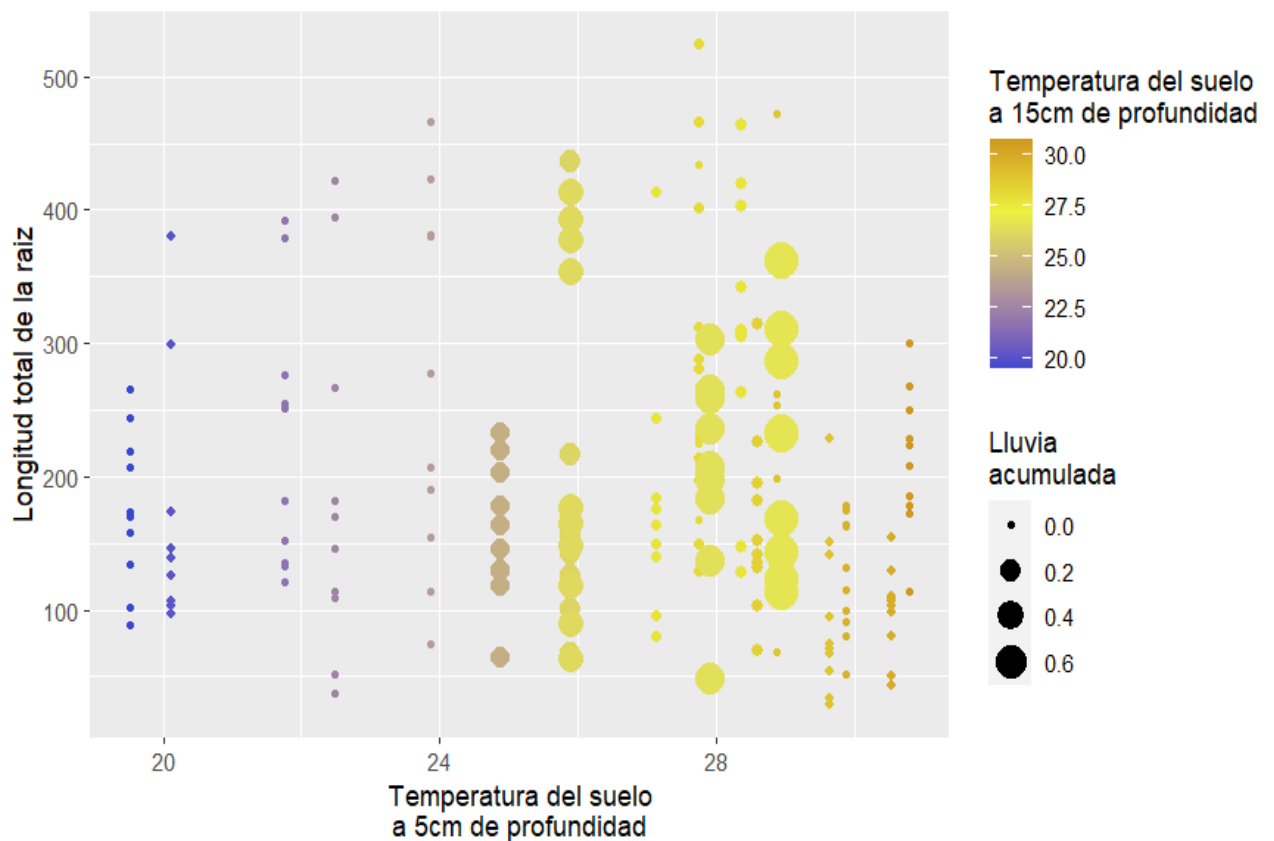
La temperatura del suelo a 5 cm tiene un valor de R negativo (-0,0637), lo que indica que hay una tendencia inversa entre la variable y la longitud total de las raíces finas. Sin embargo, el valor de p (0,3699) es mayor al nivel de significancia, lo que indica que esta relación no es estadísticamente significativa. No se encontró una correlación significativa entre Longitud total y la longitud a los 5 cm de la capa orgánica (p-valor > 0.05).

Igualmente, la temperatura del suelo a 15 cm tiene un valor de R negativo (-0,057), indica que hay una tendencia ligeramente inversa, sin embargo, el valor p (0,4224) es mayor que el nivel de significancia, por lo que no hay una relación estadísticamente significativa. No se encontró una correlación significativa entre Longitud total y la temperatura a los 15 cm de la capa orgánica (p-valor > 0.05).

En el caso de la temperatura del aire, el valor de R es positivo (0,0737), sin embargo, el valor de p (0,2989) es mayor al nivel de significancia, lo que indica que la relación de la longitud total de las raíces finas y esta variable no es estadísticamente significativa. En la tabla 1 y figura 16, se presentan la correlación entre la longitud de las raíces y su correlación con la temperatura a los 5 y 15 cm adicional se agrega la lluvia acumulada (factores ambientales).

**Tabla 1.** Correlación longitud de las raíces finas con factores ambientales

<b>Longitud total</b>	<b>R</b>	<b>p value</b>
Cantidad de lluvia acumulada	0,0448	0,5291
Temperatura del suelo a 5cm del suelo	-0,0637	0,3699
Temperatura del suelo a 15cm del suelo	-0,057	0,4224
Temperatura del aire	0,0737	0,2989



**Figura 16.** Correlación longitud de las raíces finas con factores ambientales

#### 6.1.10 Correlación mensual del área de raíces finas con los factores ambientales

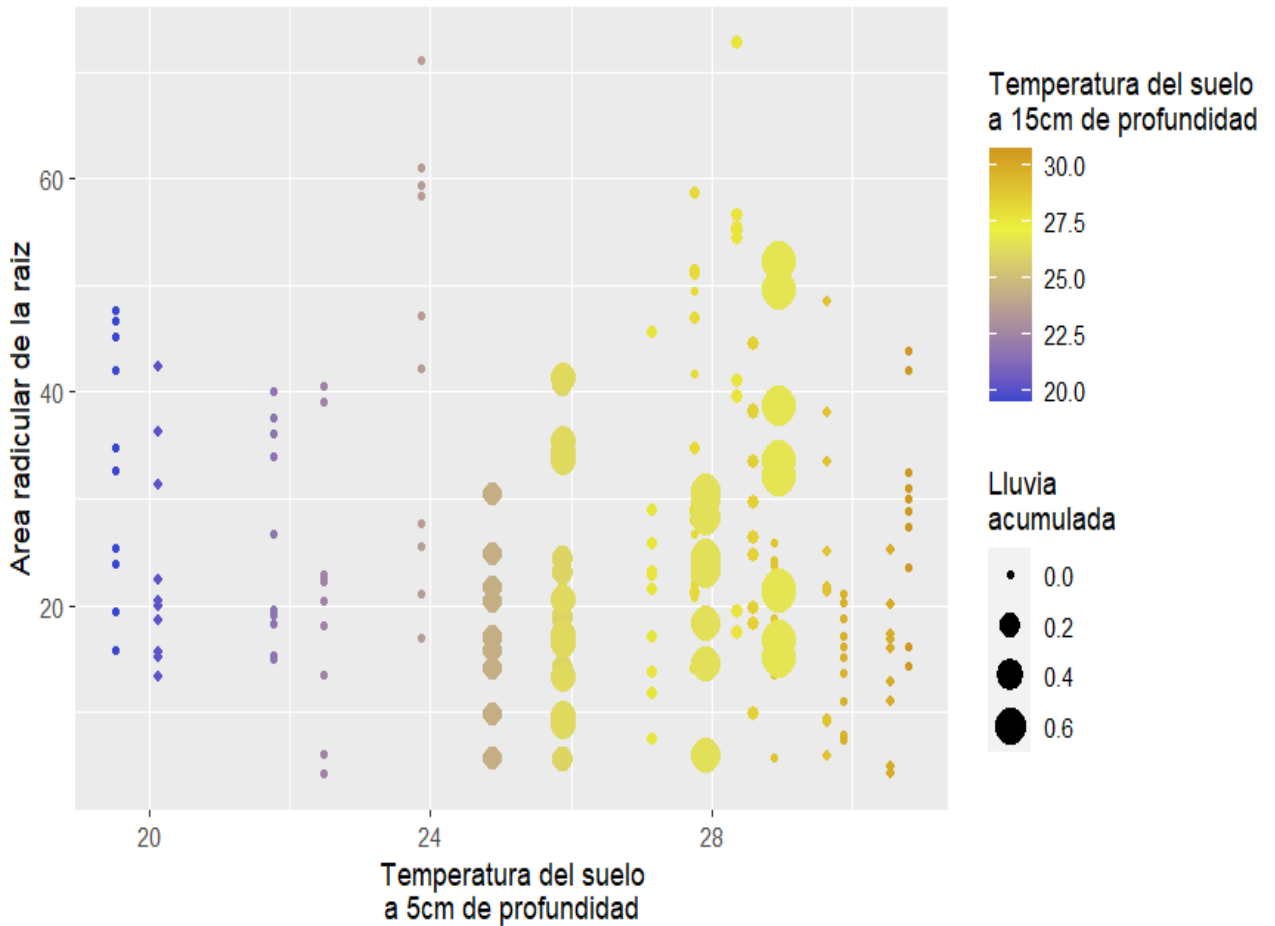
Para el área de las raíces finas no se observa una relación estadísticamente significativa con ninguna de las variables independientes. La variable Lluvia acumulada tiene un valor de R negativo (-0,0393), lo que indica una ligera tendencia inversa, sin embargo, el valor de p (0,5807) no es estadísticamente significativa.

La variable temperatura del suelo a 5 cm muestra un valor de R negativo (-0,0729), lo que indica una ligera tendencia inversa, sin embargo, no es estadísticamente significativo ( $p=0,305$ ). En cuanto a la temperatura del suelo a 15 cm, el valor de R es negativo (-0,0859), lo que indica una leve tendencia inversa, sin embargo, su valor de p (0,02265) muestra una relación estadísticamente significativa.

Finalmente, la temperatura del aire tiene un valor de R positivo (0,1212), lo cual indica tendencia positiva. Sin embargo, el valor de p (0,0873) no muestra una relación estadísticamente significativa. En la tabla 2 y en la figura 17, se presenta la correlación de la variable área específica de las raíces con los factores ambientales significativos Lluvia acumulada, temperatura del suelo a los 5 y 15 cm y como se distribuyen a través del periodo de muestreo en donde se puede observar que no existe una correlación significativa entre el área de las raíces finas con los factores ambientales.

**Tabla 2.** Correlación área específica de las raíces finas con factores ambientales

Área radicular	R	p value
Cantidad de agua acumulada	-0,0393	0,5807
Temperatura del suelo a 5cm del suelo	-0,0729	0,305
Temperatura del suelo a 15cm del suelo	-0,0859	0,2265
Temperatura del aire	0,1212	0,0873



**Figura 17.** Correlación área específica de las raíces finas con factores ambientales

### 6.1.11 Correlación mensual del volumen de raíces finas total con factores ambientales

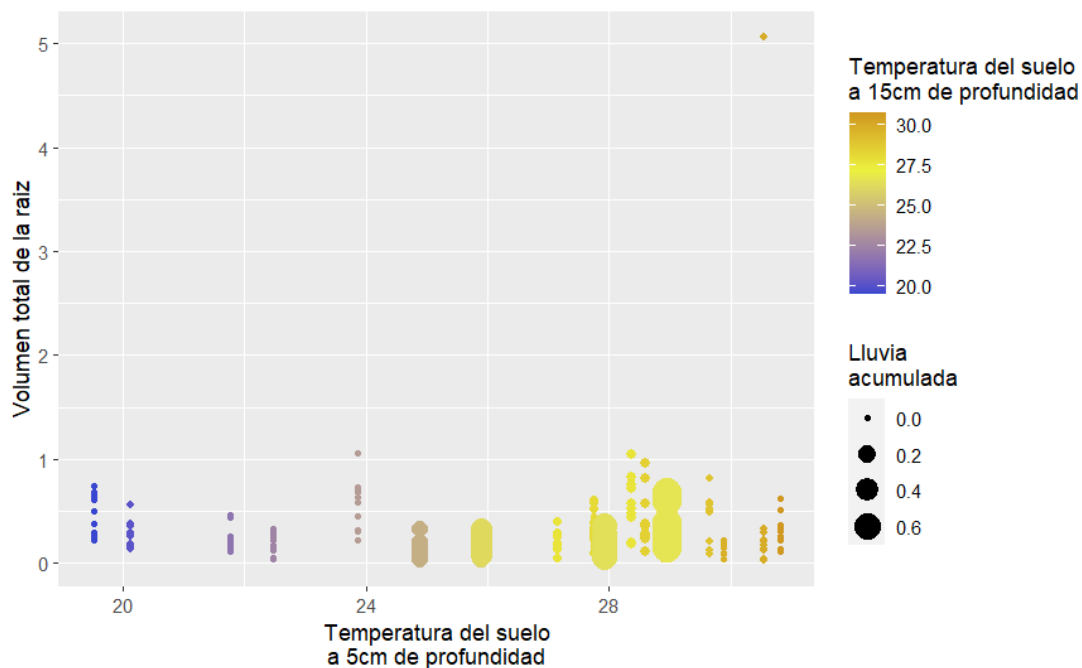
En el caso del volumen total de la raíz no se observa una relación estadísticamente significativa con las variables explicativas. La cantidad de lluvia acumulada obtuvo un valor de R negativo (-0,0908), lo cual indica una ligera tendencia inversa no significativa con un valor de p (0,2012).

La variable temperatura del suelo a 5 cm presento un valor de R positivo (0,0439), con un valor de p (0,5367) por lo que no existe diferencias estadísticas significativas. De igual forma la temperatura del suelo a 15 cm presento un valor de R positivo (0,0274), lo cual indica una relación positiva, sin embargo, el valor de p (0,7003) es mayor que 0,05 lo que significa que esta relación no es estadísticamente significativa.

Finalmente, la temperatura del aire tiene un valor de R positivo (0,09), indicando una relación positiva. Sin embargo, valor de p (0,163) no muestra una relación estadísticamente significativa. En la tabla 3 y en la figura 18, se presenta la correlación de la variable volumen total con los factores ambientales significativos lluvia acumulada, temperatura del suelo a los 5 y 15 cm y como se distribuyen a través del periodo de muestreo en donde se puede observar que no existe una correlación significativa entre el área de las raíces finas con los factores ambientales.

**Tabla 3.** Correlación volumen de las raíces finas con factores ambientales

Volumen total de la raíz	R	p value
Cantidad de agua acumulada	-0,0908	0,2012
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	0,0439	0,5367
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	0,0274	0,7003
Temperatura del aire	0,099	0,163



**Figura 18.** Correlación volumen de las raíces finas con factores ambientales

### **6.1.12 Correlación mensual del diámetro total de las raíces finas con factores ambientales**

En el caso del diámetro de la raíz no se observa una relación estadísticamente significativa con las variables explicativas. La cantidad de lluvia acumulada obtuvo un valor de R negativo (-0,1722), lo cual indica una ligera tendencia inversa.

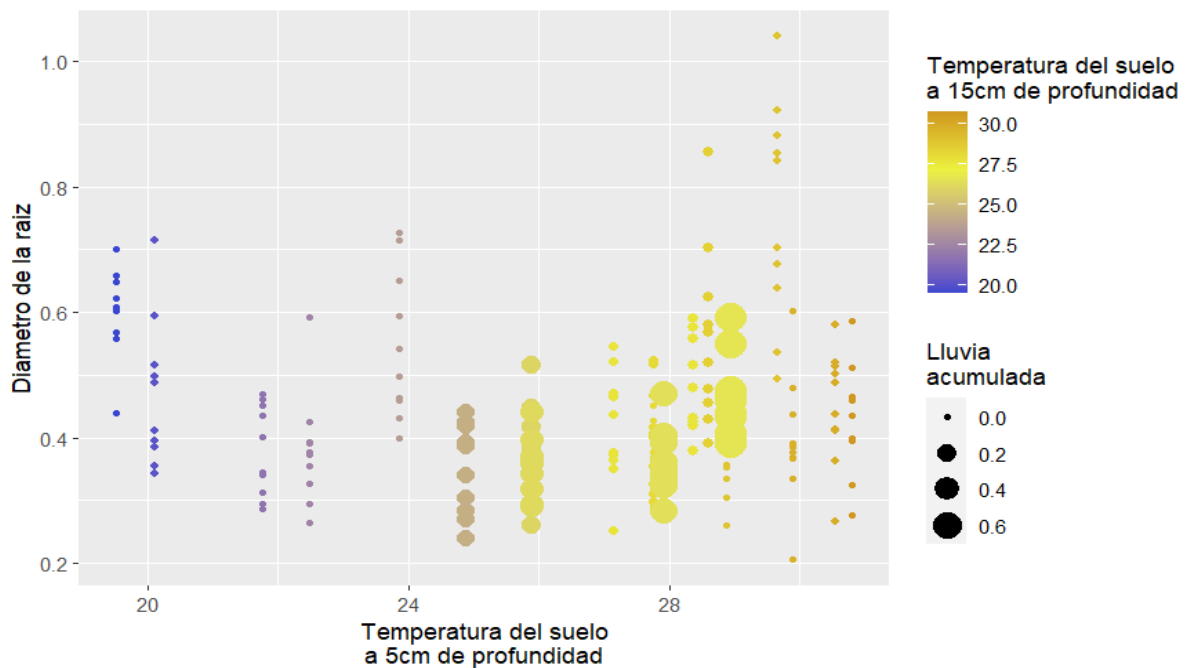
La variable temperatura del suelo a 5 cm tiene un valor de R negativo (-0,0087), lo cual indica que hay una relación positiva el volumen total de las raíces finas la variable en cuestión ( $p=0,9026$ ) sin una significancia estadística. La temperatura del suelo a 15 cm presento un valor de R positivo (0,0274), lo cual indica una relación positiva, sin embargo, el valor de p (0,7003) es mayor que 0,05 lo que significa que esta relación no es estadísticamente significativa.

Finalmente, la temperatura del aire tiene un valor de R positivo (0,09), indicando una relación positiva. Sin embargo, esta relación no es estadísticamente significativa ya que el valor de p (0,163) es mayor a 0,05. En la tabla 4 y en la figura 19, se presenta la correlación de la variable diámetro total con los factores ambientales significativos lluvia acumulada, temperatura del suelo a los 5 y 15 cm y como se distribuyen a través del periodo de muestreo en donde se puede observar que no existe una correlación significativa entre el diámetro total con los factores ambientales.

**Tabla 4.** Correlación diámetro de las raíces finas con factores ambientales

<b>Diámetro de la raíz</b>	<b>R</b>	<b>p value</b>
Cantidad de lluvia acumulada	-0,1722	0,0148
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	-0,0087	0,9026
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	-0,0366	0,6072
Temperatura del aire	0,0513	0,4707





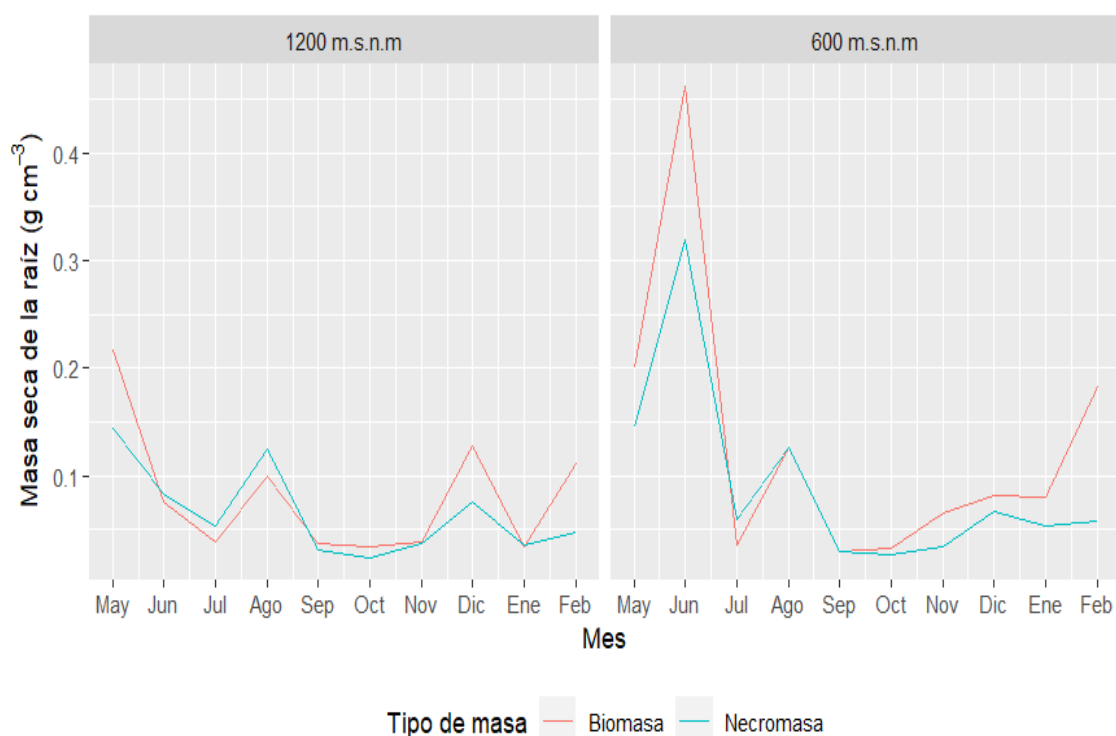
**Figura 19.** Correlación diámetro de las raíces finas con factores ambientales

## 6.2. Cuantificación del porcentaje de biomasa y necromasa del sistema radicular de la capa superior del suelo en el bosque seco tumbesino

### 6.2.1 Biomasa frente a la necromasa

En la Figura 20. se muestra la relación entre la biomasa y la necromasa durante el periodo de monitoreo. En el primer piso altitudinal de 600 m s.n.m., se observa que la biomasa supera a la necromasa en términos de masa seca de la raíz ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Tanto la biomasa como la necromasa presentaron un patrón similar, con valores máximos de masa seca de la raíz ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) en el mes de junio:  $0.46 \text{ g}/\text{cm}^3$  para la biomasa y  $0.32 \text{ g}/\text{cm}^3$  para la necromasa. Durante el periodo de agosto a enero, que coincide con la época seca, ambas variables muestran bajos niveles de masa seca de la raíz ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Para el piso altitudinal 1200 m s.n.m., tanto la biomasa como la necromasa se comportan de manera semejante. Ambas variables alcanzan sus valores máximos de masa seca de raíz ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) en el mes de mayo:  $0,22 \text{ g}/\text{cm}^3$  para la biomasa y  $0,14 \text{ g}/\text{cm}^3$  para la necromasa, mientras que su punto más bajo se alcanza en octubre.



**Figura 20.** Biomasa y necromasa radicular a diferentes pisos altitudinales.

En la tabla 5 se aprecia que el piso altitudinal ubicado a 600 m s.n.m. realiza el mayor aporte tanto en biomasa como en necromasa al valor total de raíces finas. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los aportes de biomasa de ambos pisos altitudinales con un valor p (0.01091).

**Tabla 5.** Porcentaje de biomasa y necromasa

Parcela	Biomasa	Necromasa
<b>600 m s.n.m.</b>	61 %	58 %
<b>1200 m s.n.m.</b>	39 %	42 %

Estos porcentajes al relacionarlos con cada uno de los factores ambientales permite ver la influencia de los factores climáticos y como la estacionalidad marca una tendencia variable según la época en la que se realice los muestreos. Para la necromasa, el valor p (0.07392). Sugiere que no hay evidencia suficiente para afirmar una diferencia estadísticamente significativa en las medias de necromasa entre las parcelas de ambos pisos altitudinales.

### 6.2.2 Biomasa y el contenido de agua en el suelo a los 5 cm de profundidad

El contenido de agua del suelo, a una profundidad de 5 cm, está relacionado con la cantidad de biomasa. En el piso altitudinal de 600 m s.n.m., la biomasa no supera el valor de  $0.15 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ , mientras que el contenido de agua es inferior a  $0.10 \text{ m}^3$ . El valor máximo de contenido de agua del suelo en este piso altitudinal es  $0.14 \text{ m}^3$ , correspondiente a un valor de  $0.2 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  de biomasa.

Para el piso altitudinal de 1200 m s.n.m., la cantidad de biomasa en las raíces está directamente relacionada con el contenido de agua en el suelo. Es decir, a medida que aumenta la biomasa en las raíces, el contenido de agua del suelo también aumenta. El valor máximo de contenido de agua en el suelo es de  $0.25 \text{ m}^3$ , cuando la biomasa de las raíces es de  $0.21 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ . Por otro lado, el valor mínimo de contenido de agua en el suelo es de  $0.11 \text{ m}^3$ , cuando la biomasa de las raíces es de  $0.02 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ , como se muestra en la Figura 21.

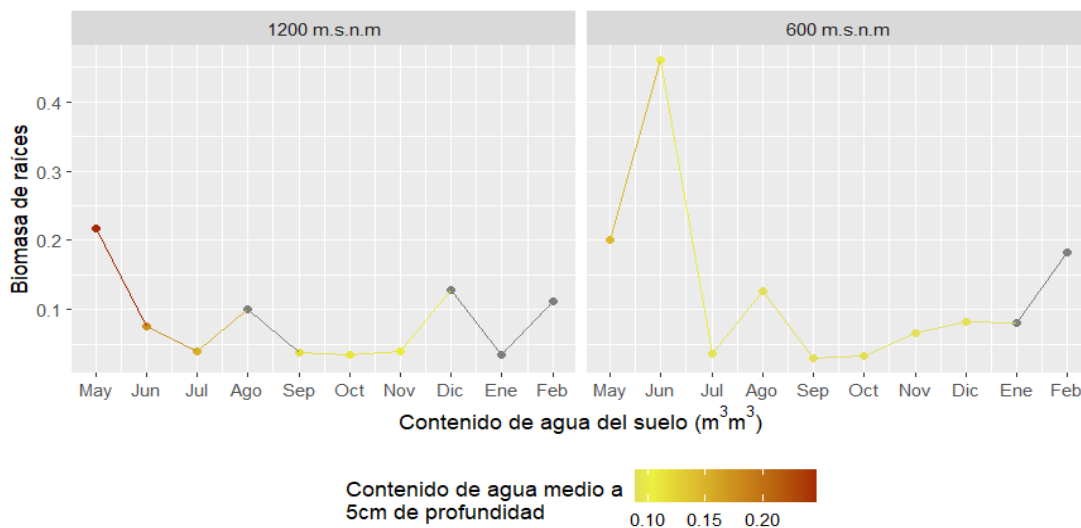


Figura 21. Biomasa de raíces y contenido de agua en el suelo a 5 cm de profundidad

### 6.2.3 Biomasa y el contenido de agua en el suelo a los 15 cm de profundidad

La relación entre el contenido de biomasa de las raíces, y el contenido de agua del suelo se ilustra en la Figura 22. Para el piso altitudinal de 600 m s.n.m., se puede observar un contenido de agua inferior a los  $0.10 \text{ m}^3$ , con una biomasa inferior a  $0.15 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ , mientras que, en el piso altitudinal de 1200 m s.n.m. el valor máximo de contenido de agua

registrado es de 0.26 m<sup>3</sup>, con una biomasa máxima de 0.22 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

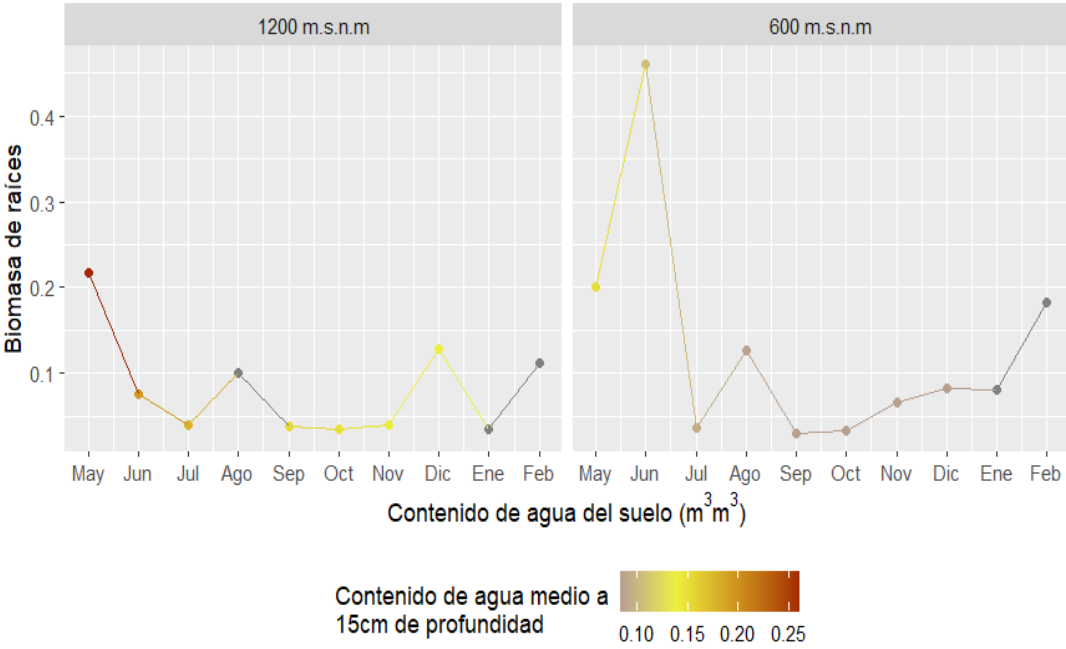


Figura 22. Biomasa de raíces y contenido de agua en el suelo a 15 cm de profundidad

#### 6.2.4 Biomasa frente a la temperatura del aire

En la Figura 24 se ilustra la relación entre la biomasa y la temperatura del aire. En el piso altitudinal de 600 m s.n.m., la biomasa alcanza un valor máximo de  $0.45 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  cuando la temperatura del aire es de  $22^\circ\text{C}$ . mientras que con temperaturas que oscilan entre los  $22.6$  y  $24.3^\circ\text{C}$  se reportan valores inferiores a  $0.1 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ .

En el piso altitudinal de 1200 m s.n.m., se registró la cantidad máxima de biomasa y la temperatura fue de  $0.21 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  y  $19.85^\circ\text{C}$  respectivamente.

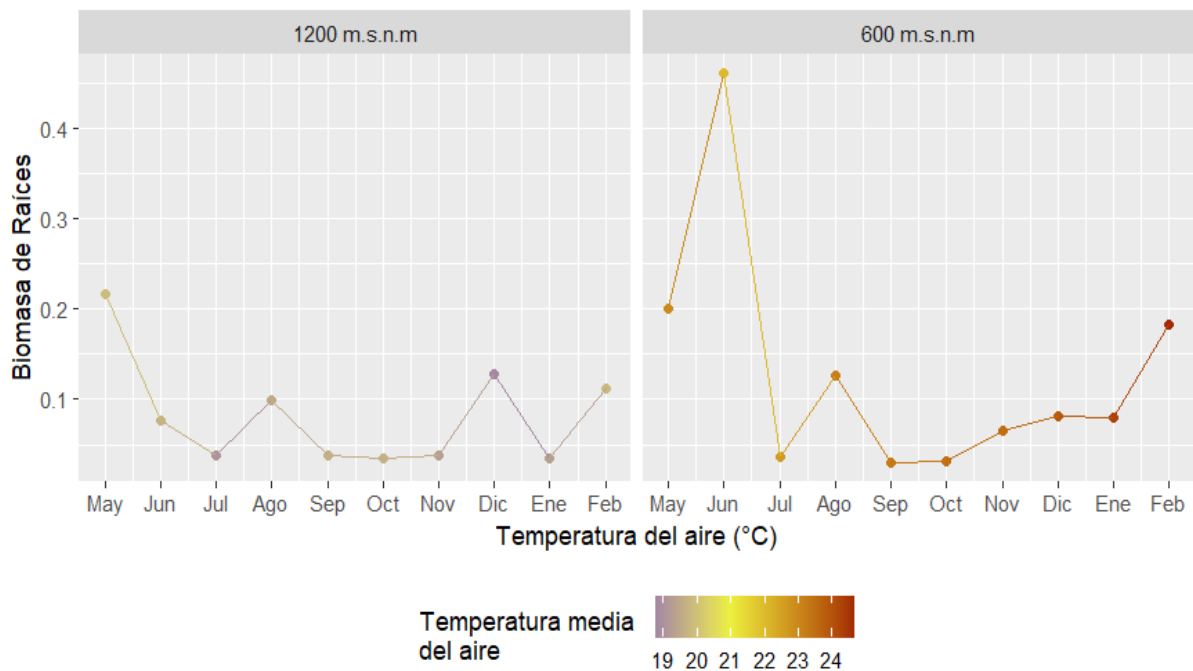


Figura 23. Biomasa de raíces relacionado con la temperatura del aire.

#### 6.2.5 Biomasa frente a la temperatura del suelo a los 5 cm de profundidad

En la Figura 23, se observa el comportamiento de la biomasa con relación a la temperatura del suelo a los 5 cm de profundidad. En el piso altitudinal de 600 m s.n.m., la biomasa alcanza su valor máximo de  $0.22 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  cuando la temperatura del aire es de  $22^\circ\text{C}$ . mientras que en el resto de los meses los contenidos de biomasa decrecen. Para el piso altitudinal de 1200 m s.n.m., la cantidad máxima de biomasa alcanzada fue de  $0.46 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  en el mes de junio, lo cual concuerda con la temperatura más elevada registrada de  $27.5^\circ\text{C}$ .

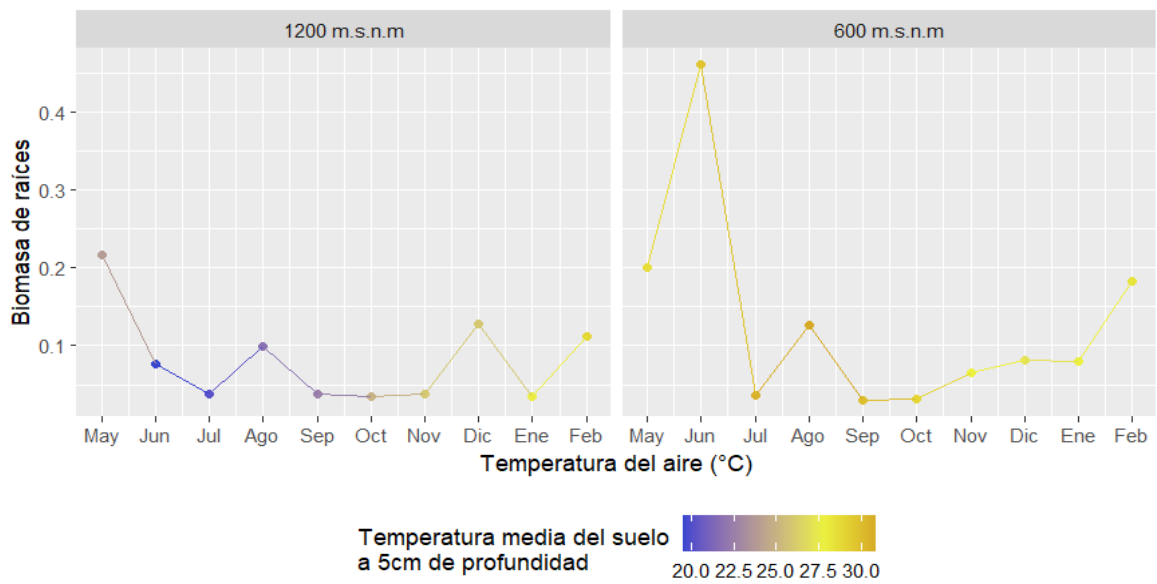


Figura 24. Biomasa de raíces relacionado con la temperatura del suelo a los 5 cm.

### 6.2.6 Biomasa frente a la temperatura del suelo a los 15 cm de profundidad

En la Figura 25 se ilustra la relación entre la biomasa y la temperatura del suelo en dos diferentes pisos altitudinales. similar comportamiento del suelo a los 5 cm de profundidad. Para 600 m s.n.m., la biomasa alcanza su valor máximo de 0.45 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> cuando la temperatura del aire es de 22°C, mientras que en el piso altitudinal de 1200 m s.n.m., que la cantidad máxima de biomasa alcanzada fue de 0.21 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, lo cual concuerda con la temperatura más elevada registrada de 19.85°C.

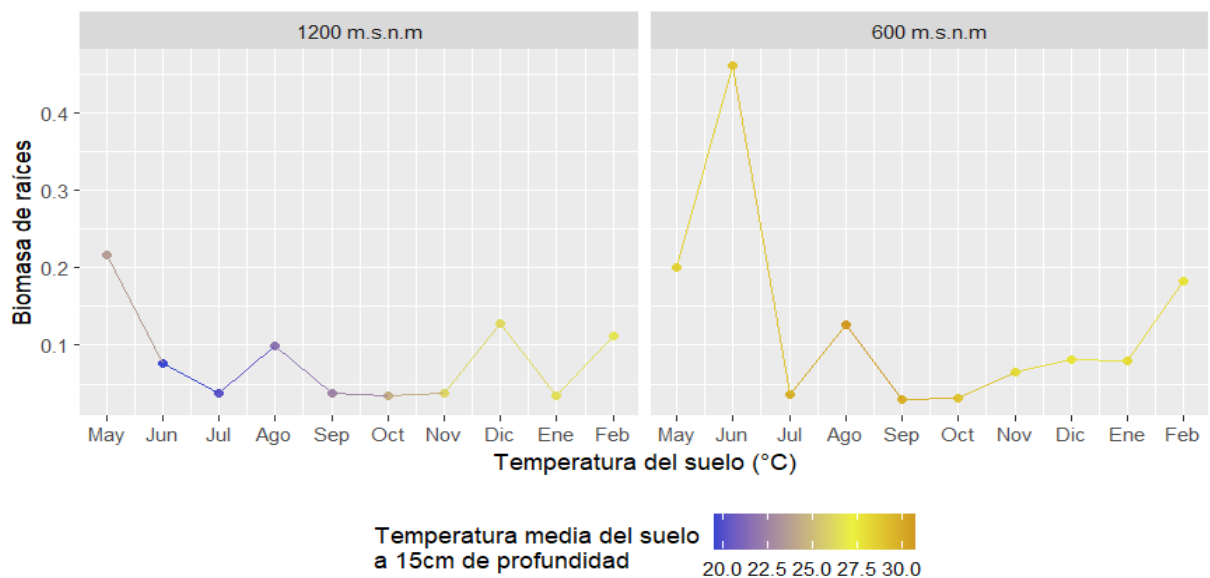


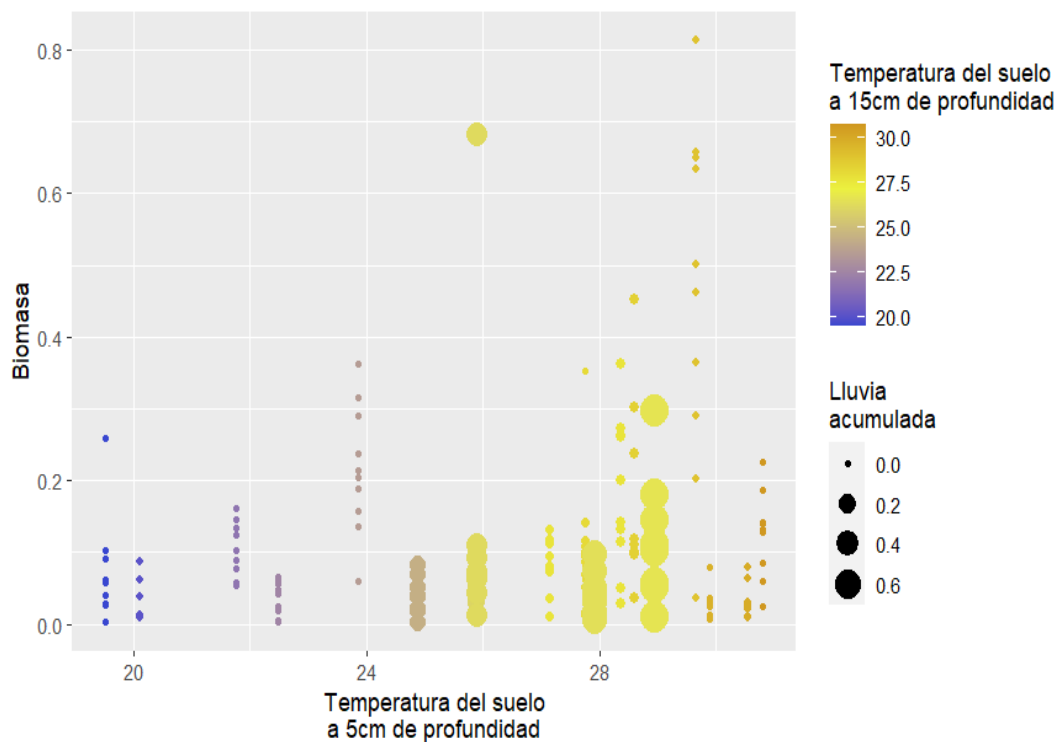
Figura 25. Biomasa de raíces relacionado con la temperatura del suelo a los 15 cm.

### 6.2.7 Correlación mensual de la biomasa con las variables ambientales

La biomasa presenta correlación con las variables ambientales. La cantidad de lluvia acumulada presenta un valor de coeficiente de correlación negativo (-0,0887) para la variable de temperatura del suelo a 5 cm (variable independiente) muestra un valor de R positivo (0,1625), con un valor de p (0,0215). La variable de temperatura del suelo a los 15 cm muestra un valor de R positivo (0,1469), con un valor de p (0,03789). La variable temperatura del aire, presento un valor de R positivo (0,1071) sin embargo, el valor de p (0,1311) no es estadísticamente significativo. En la tabla 6 y figura 26 se presentan los valores de correlación entre la biomasa y los factores ambientales significativos Lluvia acumulada, temperatura del suelo a los 5 y 15 cm y como se distribuyen a través del periodo de muestreo donde se observa la significancia estadística.

**Tabla 6.** Correlación biomasa con factores ambientales

Biomasa	R	p value
Precipitación acumulada	-0,0887	0,2117
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	0,1625	0,0215
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	0,1469	0,03789
Temperatura del aire	0,1071	0,1311



**Figura 26.** Correlación de la biomasa con los factores ambientales.

### 6.2.8 Correlación mensual de la necromasa con las variables ambientales

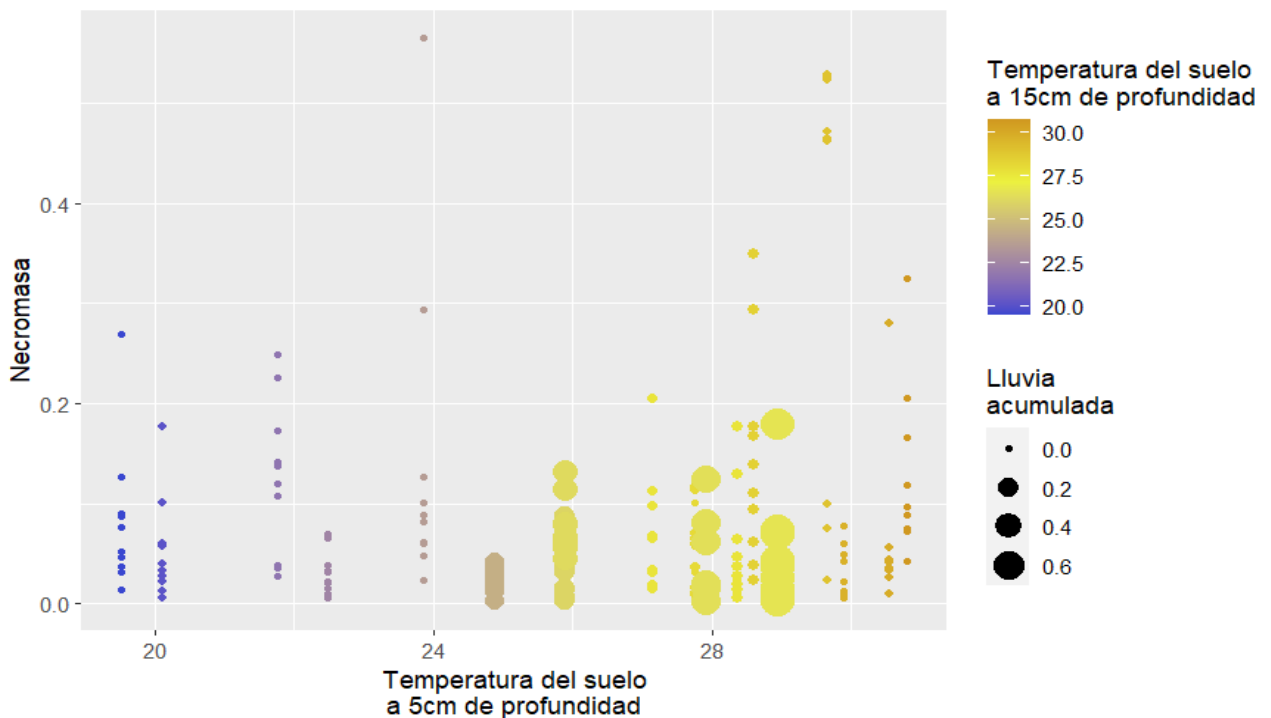
La necromasa únicamente tiene una relación estadísticamente significativa con la cantidad de agua acumulada indicando una relación inversa entre las variables por lo que entre mayor es el nivel de agua acumulado en el suelo menor es la cantidad de necromasa encontrado. Ver tabla 7 y figura 27. La cantidad de lluvia acumulada y la necromasa presenta una correlación negativa (-0,1555) con un valor p estadísticamente significativo.

La temperatura del suelo a 5 cm del suelo presenta un valor de R positivo (0,0747), con un valor p (0,293) que indica que esta la relación no es estadísticamente significativa. La variable temperatura del suelo a 15 cm presento un valor R es positivo (0,0734) sin significancia estadística.

La temperatura del aire muestra un valor de correlación positivo (0,0324) aunque no, muestra una significativamente estadística.

**Tabla 7.** Correlación necromasa con factores ambientales

Necromasa	R	p value
Cantidad de agua acumulada	-0,1555	0,0279
Temperatura del suelo a 5cm del suelo	0,0747	0,293
Temperatura del suelo a 15cm del suelo	0,0734	0,3017
Temperatura del aire	0,0324	0,6488



**Figura 27.** Correlación necromasa con factores ambientales



### 6.2.9 Correlación mensual del área específica de las raíces con las variables ambientales

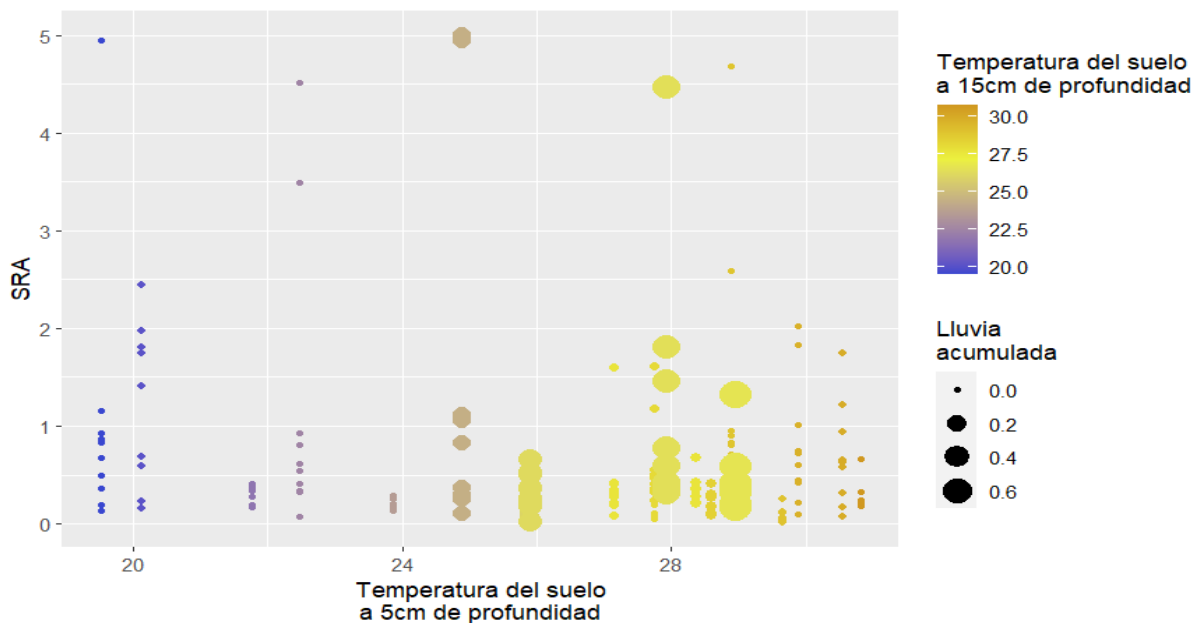
Para el área específica de la raíz (SRA) no se observa una relación estadísticamente significativa con las variables explicativas, tal como se presenta en la tabla 8 y figura 28. La cantidad de lluvia acumulada obtuvo un valor de correlación negativo (0.0667) sin embargo, el valor de p (0,3483) no es significativo.

La variable temperatura del suelo a 5 cm tiene un valor de R negativo (-0,1517) con un valor p (0,0319) significativo. De igual forma la temperatura del suelo a 15 cm presento un valor de R positivo (-0.1734), que indica una relación positiva, sin embargo, el valor de p (0,0141) es mayor que 0,05 lo que significa que esta relación no es estadísticamente significativa.

Finalmente, la temperatura del aire tiene un valor de R positivo (-0.1421), indicando una relación positiva. Sin embargo, esta relación no es estadísticamente significativa ya que el valor de p (0.0447) es mayor a 0,05.

**Tabla 8.** Correlación SRA de las raíces finas con factores ambientales

SRA	R	p value
Cantidad de lluvia acumulada	0,0667	0,3483
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	-0,1517	0,0319
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	-0,1734	0,0141
Temperatura del aire	-0,1421	0,0447



**Figura 28.** Correlación SRA de las raíces finas con factores ambientales

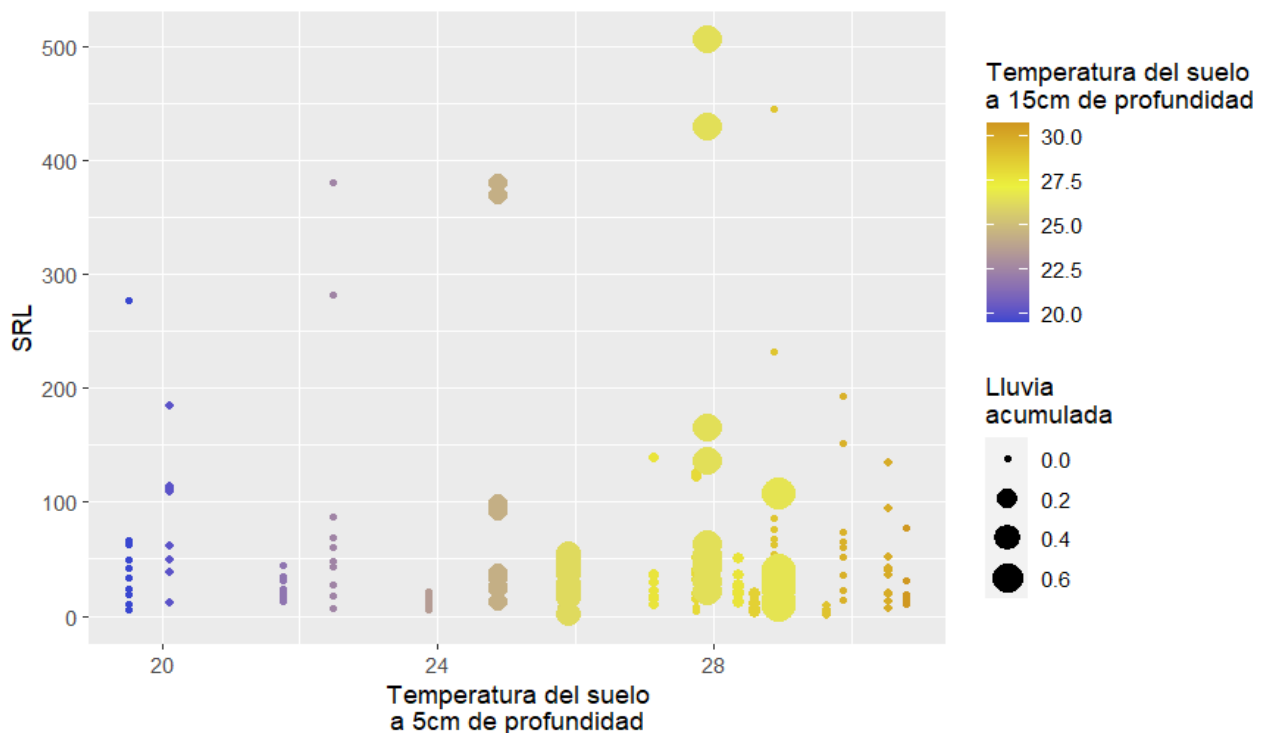
### 6.2.10 Correlación mensual de la longitud específica con los factores ambientales

Para la longitud específica de la raíz (SRL) no se observa una relación estadísticamente significativa con los factores ambientales. La cantidad de lluvia acumulada obtuvo un valor de R (0,1094), con un valor de p (0,1231) lo cual indica que no existe relación estadísticamente significativa.

La variable temperatura del suelo a 5 cm tiene un valor de R negativo (-0,0919) con un valor p, que no es estadísticamente significativo. De igual forma la temperatura del suelo a 15 cm presento un valor de R positivo (-0,1147), lo cual indica una relación positiva, sin embargo, el valor de p (0,1057) es mayor que 0,05 lo que significa que esta relación no es estadísticamente significativa. Finalmente, la temperatura del aire tiene un valor de R positivo (-0,1291), relación positiva con un valor de p (0,0685) que no es estadísticamente significativo. Ver tabla 9 y figura 29.

**Tabla 9.** Correlación SRL de las raíces finas con factores ambientales

SRL	R	p value
Cantidad de agua acumulada	0,1094	0,1231
Temperatura del suelo a 5cm del suelo	-0,0919	0,1956
Temperatura del suelo a 15cm del suelo	-0,1147	0,1057
Temperatura del aire	-0,1291	0,0685



**Figura 29.** Correlación SRL de las raíces finas con factores ambientales

### 6.2.11 Modelo de regresión

En la tabla 10, se presenta el modelo de regresión para predecir la cantidad de biomasa de raíces en el bosque seco, los coeficientes de la cantidad de agua y la temperatura a 5 y 15 cm del suelo son significativos, en donde la cantidad de agua y la temperatura a 15 centímetros del suelo tienen un efecto inverso en la biomasa, mientras que, la temperatura a 5 cm del suelo tiene un efecto directo sobre la biomasa.

**Tabla 10.** Modelo de regresión, variables climáticas vs la biomasa de raíces finas

<b>Variable</b>	<b>B</b>	<b>ee(B)</b>	<b>t</b>	<b>P(&gt; t )</b>
Intercepto	0,1260	0,1155	1,0909	0,2767
Cantidad de agua acumulada	-0,2938	0,0789	-3,7250	0,0003
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	0,0741	0,0206	3,6009	0,0004
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	-0,0621	0,0210	-2,9572	0,0035
Temperatura del aire	0,0152	0,0090	1,6904	0,0925

Var. Dependiente: Biomasa

En el caso de la necromasa se observa que todos los coeficientes son estadísticamente significativos, la única variable que tiene un efecto directo es la temperatura a 5 cm del suelo, mientras que la cantidad de agua acumulada, la temperatura a 15 cm del suelo y la temperatura del aire tienen un efecto inverso en la cantidad de necromasa. Ver tabla 11.

**Tabla 11.** Modelo de regresión, variables climáticas vs la necromasa

<b>Variable</b>	<b>B</b>	<b>ee(B)</b>	<b>t</b>	<b>P(&gt; t )</b>
Intercepto	0,2538	0,0885	2,8660	0,0046
Cantidad de agua acumulada	-0,2884	0,0605	-4,7630	0,0000
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	0,0494	0,0158	3,1262	0,0020
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	-0,0376	0,0161	-2,3324	0,0207
Temperatura del aire	-0,0218	0,0069	-3,1716	0,0018

Var. Dependiente: Necromasa

La cantidad de agua acumulada, la temperatura a 5 cm del suelo y la temperatura del aire presentan coeficientes estadísticamente significativos, en donde la temperatura del suelo a 5 cm es la única variable que tiene un efecto inverso en la longitud total. Ver tabla 12.

**Tabla 12.** Modelo de regresión, variables climáticas vs la longitud total

<b>Variable</b>	<b>B</b>	<b>ee(B)</b>	<b>t</b>	<b>P(&gt; t )</b>
Intercepto	-59,2670	90,9670	-0,6515	0,5155
	237,291			
Cantidad de agua acumulada	0	62,1290	3,8193	0,0002
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	-34,0080	16,2170	-2,0971	0,0373
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	18,5780	16,5340	1,1236	0,2626
Temperatura del aire	30,0960	7,0640	4,2605	0,0000

Var. Dependiente: Longitud total

En cuanto al área radicular, en la tabla 13 se observa que la temperatura del aire tiene un efecto directo en el área radicular con un coeficiente estadísticamente significativo.

**Tabla 13.** Modelo de regresión, variables climáticas vs área radicular

<b>Variable</b>	<b>B</b>	<b>ee(B)</b>	<b>t</b>	<b>P(&gt; t )</b>
Intercepto	-4,2626	11,7502	-0,3628	0,7172
Cantidad de agua acumulada	11,4802	8,0253	1,4305	0,1542
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	2,6004	2,0947	1,2414	0,2159
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	-5,0398	2,1357	-2,3598	0,0193
Temperatura del aire	4,3346	0,9124	4,7508	0,0000

Var. Dependiente: Área radicular

En el caso del volumen de la raíz, se tienen coeficientes estadísticamente diferentes significativos para las variables: cantidad de agua, temperatura a 5 y 15 cm del suelo, en donde únicamente la temperatura a 5 cm del suelo tiene un efecto directo en el volumen total de la raíz. Ver tabla 14.

**Tabla 14.** Modelo de regresión, variables climáticas vs volumen total

<b>Variable</b>	<b>B</b>	<b>ee(B)</b>	<b>t</b>	<b>P(&gt; t )</b>
Intercepto	0,1692	0,3467	0,4878	0,6262
Cantidad de agua acumulada	-0,5244	0,2368	-2,2142	0,0280
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	0,1721	0,0618	2,7847	0,0059
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	-0,1998	0,0630	-3,1709	0,0018
Temperatura del aire	0,0172	0,0269	0,6387	0,5238

Var. Dependiente: Volumen total de la raíz

En el diámetro de la raíz, únicamente el coeficiente de la temperatura del aire no es estadísticamente significativo. La temperatura a 5 cm del suelo tiene un efecto directo en el diámetro de la raíz, mientras que la cantidad de agua acumulada y la temperatura a 15 cm del suelo tienen un efecto inverso en el diámetro de la raíz. Ver tabla 15.

**Tabla 15.** Modelo de regresión, variables climáticas vs diámetro de la raíz

<b>Variable</b>	<b>B</b>	<b>ee(B)</b>	<b>t</b>	<b>P(&gt; t )</b>
Intercepto	0,6131	0,1102	5,5648	0,0000
Cantidad de agua acumulada	-0,4079	0,0752	-5,4213	0,0000
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	0,1175	0,0194	6,0464	0,0000
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	-0,1175	0,0200	-5,8677	0,0000
Temperatura del aire	0,0073	0,0086	0,8548	0,3937

Var. Dependiente: Diámetro de la raíz

En cuanto al SRL, ninguna de las variables muestra un coeficiente estadísticamente significativo, por lo que no se podría validar el modelo para realizar proyecciones. Ver tabla 16.

**Tabla 16.** Modelo de regresión, variables climáticas vs longitud específica de las raíces

<b>Variable</b>	<b>B</b>	<b>ee(B)</b>	<b>t</b>	<b>P(&gt; t )</b>
Intercepto	117,6099	71,4608	1,6458	0,1014
Cantidad de agua acumulada	30,1373	48,8067	0,6175	0,5376
Temperatura del suelo a 5 cm del suelo	6,5280	12,7392	0,5124	0,6089
Temperatura del suelo a 15 cm del suelo	-9,7894	12,9884	-0,7537	0,4519
Temperatura del aire	0,5985	5,5492	0,1079	0,9142

Var. Dependiente: SRL

## 7. Discusión

### 7.2 Propiedades de las raíces finas y su relación con factores ambientales

Las raíces finas son un componente altamente variable y estos cambios dependen en gran medida de las condiciones ambientales en las que se desarrollan, el presente estudio utilizó las características morfológicas de las raíces finas (área radicular, longitud de las raíces, diámetro de las raíces, volumen de las raíces ) para determinar la relación de estos parámetros con factores ambientales (lluvia acumulada, temperatura del aire, temperatura del suelo a 5 cm y 15 cm de profundidad y contenido de agua en la capa orgánica) (Aragón et al., 2020).

El análisis t-Student determinó que la temperatura del aire, temperatura del suelo tanto a 5 cm de profundidad como a 15 cm, y la lluvia acumulada que experimenta el piso altitudinal a 600 m s.n.m., los valores de temperatura del suelo coinciden con los meses secos y disminuye la temperatura del suelo en la época de lluvia. Las condiciones ambientales registradas para el piso a 1200 m s.n.m., estas diferencias fueron determinadas con un intervalo de confianza del 95 %. C. Wang et al (2018), establecen que la salud y buena condición de las raíces finas está influenciado por varios aspectos entre los cuales, la estacionalidad es un factor determinante. La estación climática en la que se encuentre el bosque seco intensificará los parámetros ambientales, como consecuencia las características morfológicas de las raíces tendrán variaciones.

El área radicular no muestra mayor variación entre los pisos altitudinales, la diferencia de las medias fue de 0.5113, con una correlación que no refleja argumentos suficientes para establecer relación entre el área y los factores ambientales. La estacionalidad determina una disminución del área radicular en los meses más secos. El piso altitudinal influye en la cantidad de área radicular que se registra de raíces finas por parcela, estos resultados coinciden con los encontrados por Morat (2014), quien determina que la falta de agua puede estar relacionada con la disminución en el número de meristemas radicales y/o apicales ramificaciones en las raíces finas.

Según Ma y Chen (2016), el área de las raíces finas es un importante índice para el estudio de productividad de los ecosistemas; cuando mayor es el área de estas raíces mayor será el número de tricoblastos, estructuras encargadas de la obtención de nutrientes; lo cual sugiere que la productividad de los ecosistemas secos es mayor en los meses lluviosos, debido al aumento radicular de las raíces finas.

Los valores registrados en el área radicular en el BST son inferiores al compararlos con los resultados presentados por Powers y Pérez (2013) en el que establece una variación del área radicular, dependiendo del ecosistema en que se realice la cosecha de raíces finas,

también establece que al área de las raíces finas es extensa para compensar el diámetro  $\leq 2$  mm.

La longitud de las raíces finas varía para ambos pisos altitudinales, la diferencia entre las medias fue de  $7.914 \text{ cm}^3$ . Las variaciones en la longitud de las raíces en la época seca pueden tener varias repuestas, pero Allen et al (2017) plantean que en la estación lluviosa las raíces de los bosques secos incrementan notablemente su longitud en sus sistemas radiculares finos. La correlación de Pearson no refleja argumentos sólidos para establecer relación estadísticamente significativa con los factores ambientales. Además, Perkons et al (., 2014) también mencionan que la longitud de las raíces finas estaría relacionada con la profundidad del suelo, lo que es respaldado por Freschet et al (2017), quien determinó que los sistemas radiculares tienen una mayor longitud en los primeros 5 cm de profundidad.

La longitud de raíz por unidad de masa o longitud específica de la raíz varían mucho dependiendo del tipo de especie lo que constituye un parámetro que sobresale en los bosques secos (Weemstra et al., 2020). Esta variable es significativa en relación con las demás características morfológicas que se midieron en la presente investigación, Freschet et al (2017), menciona que los bosques estacionales tienen mayor incidencia de crecimiento longitudinal debido a la estacionalidad que se experimenta en este tipo de ecosistemas lo que concuerda con la presente investigación.

En lo que respecta a la longitud específica de las raíces (SRL) existe variación en ambos pisos altitudinales, sin embargo, la correlación de Pearson no refleja argumentos suficientes para establecer relación estadísticamente significativa entre longitud específica y los factores ambientales. La estacionalidad determina un aumento en la longitud específica en los meses más lluviosos y el piso altitudinal, siendo determinante en la longitud específica radicular que se registra por parcela (Girardin et al., 2013).

La longitud específica de las raíces encontrada en la investigación, en ambos pisos altitudinales muestra un patrón de crecimiento y decrecimiento a lo largo del tiempo por lo que amerita seguir monitoreando su comportamiento. La longitud de raíz por unidad de masa o longitud específica de la raíz varían y depende del tipo de especies (Pérez et al., 2013)

Según Polania et al. (2011) el alto nivel de longitud específica de raíces finas, explica que hay una gran cantidad de raíces de diámetro pequeño, como se evidencia en la presente investigación, además que estas tienen una mayor capacidad de exploración y explotación del suelo, por ello, la productividad primaria neta aporta mayor índice de longitud específica al ecosistema en contraste a las raíces con baja longitud específica.



En lo que respecta al volumen total de raíces se encontró una variación entre ambos pisos altitudinales, la diferencia de las medias fue de  $0.0778 \text{ cm}^3$ , al ejecutar la correlación de Pearson no refleja argumentos suficientes para establecer relación entre el volumen y los factores ambientales, la estacionalidad determina un aumento del volumen en los meses lluviosos y el piso altitudinal también es determinante. Estudios previos mencionan una disposición a incrementar el volumen de raíces cuando las condiciones ambientales son adecuadas, de forma particular cuando hay presencia de lluvias (Kramer-Walter et al., 2016).

El diámetro de las raíces finas no muestra variación significativa entre los pisos altitudinales, la diferencia de las medias es de 0.5113 para las dos parcelas, los diámetros son relativamente pequeños particularmente en los meses de la estación seca, lo que sugiere que el diámetro de las raíces podría estar relacionado con las precipitaciones, la correlación de Pearson no refleja argumentos suficientes para establecer relación entre el diámetro y los factores ambientales. La temporalidad determina un aumento del diámetro de las raíces que disminuye de agosto a diciembre y comenzó a crecer desde el mes de diciembre.

El piso altitudinal no tiene relación directa con el diámetro de las raíces finas. De acuerdo con Girardin et al., (2013), las raíces de 0.5 a 2 mm y las menores a 0.5 mm tienen un alto potencial de productividad, en base a esto se puede argumentar que las raíces finas del bosque seco de Laipuna en cortos periodos puede recuperar el diámetro que se ve afectado en la época seca.

El área específica de las raíces finas (SRA) del bosque seco tumbesino tiene un rango de 0.1 a  $1.5 \text{ cm}^2/\text{g}^2$ , y los valores en el piso altitudinal de 1200 m s.n.m. son mayores que el piso a 600 m s.n.m., pero ambos siguen el mismo patrón de crecimiento y decrecimiento, la correlación de Pearson no refleja argumentos suficientes para establecer relación entre el área y los factores ambientales, la estacionalidad determina un aumento del área radicular en los meses más lluviosos y el piso altitudinal determina el área radicular que se registra por parcela.

Según Birouste et al., (2014), el área específica de las raíces finas se la puede expresar en densidad de longitud de raíz, lo que permite conocer la relación entre espacio poroso, aireación, movimiento del agua y los nutrientes en el suelo cuando las raíces finas mueren (Chaudhari et al., 2013). Estos parámetros son importantes de estudiar ya que permiten comprender la dinámica de los nutrientes y el carbono en el suelo (McCormack et al., 2015), lo cual tiene relación con los resultados encontrados en la investigación, ya que tanto la longitud específica como el área específica siguen un patrón de crecimiento similar en ambos pisos altitudinales.



## **7.2 Porcentaje de biomasa y necromasa del sistema radicular de la capa superior del suelo en el bosque seco tumbesino**

Al analizar la biomasa radicular a 600 m s.n.m. se determinó una relación con la temperatura del suelo a los 5 cm, la lluvia acumulada, los factores de temperatura del aire, y temperatura del suelo a los 15 cm, Montagnoli et al., (2014) plantea una dinámica del suelo en el que su temperatura determina la lluvia que se contiene y como resultado el porcentaje de biomasa que se registrará. Para el presente estudio cuando se registra precipitación, baja la temperatura del suelo y se puede ver un incremento en la biomasa.

Al analizar la necromasa radicular se evidencio una correlación significativa con la lluvia acumulada, no obstante, los factores: temperatura del aire, y temperatura del suelo a los 15 cm no presentan argumentos suficientes para establecer una correlación, Mou et al (2021), también establece una relación entre la necromasa y una variable climática, para esta investigación la lluvia tiene correlación directa con los porcentajes de necromasa.

La investigación muestra que la biomasa y necromasa de las raíces finas están influenciadas por las precipitaciones (estación seca y lluviosa) lo que coincide con los hallazgos de Galicia et al. (2015), donde también indican que las precipitaciones son un factor importante para evaluar el efecto de las lluvias en la biomasa y necromasa.

Al analizar la biomasa a 1200 m s.n.m. se evidencia una relación entre la biomasa y la temperatura del suelo a los 5 cm, mientras que los factores de precipitación, temperatura del aire, y el porcentaje de humedad a los 15 cm no presentan argumentos suficientes para establecer una correlación significativa.

La necromasa refleja argumentos sólidos para establecer relación entre la biomasa y la lluvia acumulada, mientras que los factores de precipitación, temperatura del aire, y temperatura del suelo a los 15 cm no presentan argumentos suficientes para establecer una correlación con la biomasa Por su parte López (2017) encontró que la necromasa de las raíces finas está influenciada tanto por la estación seca como lluviosa, sin embargo, sus resultados difieren de los encontrados en esta investigación.

## 8. Conclusiones

- Las propiedades morfológicas (área, longitud, volumen, diámetro) de las raíces finas varía según el piso altitudinal, a 600 m s.n.m., y aumentan lo que podría ser una respuesta a las condiciones ambientales que se presentan en esa altitud del bosque seco tumbesino.
- La estacionalidad climática del bosque seco tumbesino ejerce influencia sobre las características morfológicas del sistema radicular fino en ambos pisos altitudinales devino a que se desarrollan las raíces finas cuando son adecuadas las condiciones climáticas (época de lluvias).
- Los factores ambientales mostraron tendencias leves sobre las propiedades morfológicas de las raíces, únicamente el diámetro de las raíces para ambos pisos altitudinales del bosque seco tumbesino mostró una correlación significativa con la lluvia acumulada, lo que permite comprender la importancia de la época de lluvias para la regeneración de las raíces finas.
- La biomasa y necromasa radicular se presentan en mayor porcentaje en el piso altitudinal de 600 m s.n.m., mientras que a 1200 m s.n.m., la humedad del suelo favorece a la sobrevivencia de las raíces finas, por lo que las condiciones ambientales en donde se desarrollan las plantas son vitales e influyen sobre la dinámica del sistema radicular.

## 9. Recomendaciones

- Continuar con la recolección y uso de los datos climáticos para completar con el monitoreo en el estudio de las raíces finas en este ecosistema de importancia para la región sur del Ecuador.
- Ampliar el periodo de muestreo permite tener una base de datos confiable y clara con esto poder establecer la dinámica de comportamiento en los sistemas radiculares finos, o captura de carbono terrestre para tener porcentajes reales y propios para bosques secos tumbesinos.
- Implementar la metodología en el estudio del sistema radicular de especies forestales representativas del bosque seco con el propósito de comprender sus funciones en el ecosistema de bosque seco.
- Incorporar procesos como la respiración y absorción de nutrientes para completar información que permita comprender la dinámica y ecología en los sistemas radiculares finos en los bosques secos tumbesinos.

## 10. Bibliografía

- Aguilar, Z., Cisneros, X., Cueva, E., Martínez, D., & Tinoco, B. (2008). *Guía de vida silvestre del área de conservación y desarrollo: La Ceiba, Zapotillo-Ecuador*. 87. <https://isbn.cloud/9789942018304/guia-de-vida-silvestre-del-area-de-conservacion-y-desarrollo-la-ceiba/>
- Aguirre Mendoza, Z. H. (2012). *Especies Forestales de los Bosques Secos del Ecuador*.
- Aguirre, N., & Erazo, A. (2017). *Valoración económica ambiental del compartimiento leñoso como una alternativa para conservar la biodiversidad del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador*.
- Allen, K., Dupuy, J. M., Gei, M. G., Hulshof, C., Medvigy, D., Pizano, C., Salgado-Negret, B., Smith, C. M., Trierweiler, A., Van Bloem, S. J., Waring, B. G., Xu, X., & Powers, J. S. (2017). Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes? In *Environmental Research Letters* (Vol. 12, Issue 2). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5968>
- Aragón, R., Rodríguez, G., Vargas, J., Enríquez, J., Hernández, A., & Campos, G. (2020). *Vista de Selección fenotípica y características reproductivas de Pinus pseudostrobus var. oaxacana (Mirov) S.G.Harrison | Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/700/1988>
- Arias, A. C. (2007). *Suelos Tropicales*. [https://books.google.com.ec/books?id=L6TaVpWk8goC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_atb#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=L6TaVpWk8goC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false)
- Bauhus, J., & Messier, C. (1999). *IMAGE ANALYSIS Evaluation of Fine Root Length and Diameter Measurements Obtained Using RHIZO Image Analysis*.
- Bellini, C., Pacurar, D. I., & Perrone, I. (2014). Adventitious roots and lateral roots: Similarities and differences. In *Annual Review of Plant Biology* (Vol. 65, pp. 639–666). Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035645>
- BirdLife. (2023). *BirdLife Data Zone*. <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/14650>
- Birouste, M., Zamora-Ledezma, E., Bossard, C., Pérez-Ramos, I. M., & Roumet, C. (2014). Measurement of fine root tissue density: A comparison of three methods reveals the potential of root dry matter content. *Plant and Soil*, 374(1–2), 299–313. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1874-y>
- Block, R. M. A., Van Rees, K. C. J., & Knight, J. D. (2006). A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. In *Agroforestry Systems* (Vol. 67, Issue 1, pp. 73–84). <https://doi.org/10.1007/s10457-005-2002-7>

- Briceño, J., Iñiguez-Gallardo, V., & Ravera, F. (2016). Factores que influyen en la percepción de servicios de los ecosistemas de los bosques secos del sur del Ecuador. *Ecosistemas*, 25(2), 46–58. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.06>
- Cañadas, L. (1983). *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. <https://www.ipgh.gob.ec/portal/index.php/biblioteca-menu/novedades-bibliograficas/456-el-mapa-bioclimatico-y-ecologico-del-ecuador>
- Cano, M., Godoy, R., & Soto, D. (2014). Raíces adventicias de *Saxegothea conspicua* Lindl. (Podocarpaceae) en su etapa de senescencia en bosques adultos. *Institute of Biological Science, University of Edinburgh and Royal Botanic Garden of Edinburgh, 20A Inverleith Row, Edinburgh*.
- Casal, J., & Mateu, E. (2003). TIPOS DE MUESTREO. In *Rev. Epidem. Med. Prev* (Vol. 1).
- Chaudhari, P. R., Ahire, D. V., Ahire, V. D., Chkravarty, M., & Maity, S. (2013). Soil Bulk Density as related to Soil Texture, Organic Matter Content and available total Nutrients of Coimbatore Soil. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(2). [www.ijsrp.org](http://www.ijsrp.org)
- Chialva, M., De Rose, S., Novero, M., Lanfranco, L., & Bonfante, P. (2021). Plant genotype and seasonality drive fine changes in olive root microbiota. *Current Plant Biology*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2021.100219>
- Conti, G., Pérez-Harguindeguy, N., Quètier, F., Gorné, L. D., Jaureguiberry, P., Bertone, G. A., Enrico, L., Cuchiatti, A., & Díaz, S. (2014). Large changes in carbon storage under different land-use regimes in subtropical seasonally dry forests of southern South America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 197, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.025>
- Corcobado, T., Cubera, E., Moreno, G., & Solla, A. (2013). *Quercus ilex* forests are influenced by annual variations in water table, soil water deficit and fine root loss caused by *Phytophthora cinnamomi*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169, 92–99. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2012.09.017>
- Torre, M. de los Á., & Linares, R. (2008). Mapas y clasificación de vegetación en ecosistemas estacionales: un análisis cuantitativo de los bosques secos de Piura Vegetation maps and classification in seasonal ecosystems: a quantitative analysis of the Piura dry forests. In *Rev. peru. biol* (Vol. 15, Issue 1). <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/biologiaNEW.htm>
- Elliott, D., & Velasquez, P. (2023). *BOTANY IN HAWAI'I*. <https://LibreTexts.org>
- Enquist, B. J., & Leffler, A. J. (2001). Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: Individualistic responses to climatic variation. *Journal of Tropical Ecology*, 17(1), 41–60. <https://doi.org/10.1017/S0266467401001031>

- Esau, Katherine., Izagirre de Artucio, P., & Laguardia, A. M. (1982). *Anatomía de las plantas con semilla*. Editorial Hemisferio Sur.
- Escribano-Ávila, G. (2016). Tropical dry forest of the Ecuadorian province: A great little unknown. *Ecosistemas*, 25(2), 1–4. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.01>
- Espinosa, C. I., De La Cruz, M., Luzuriaga, A. L., & Escudero, A. (2012). Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación. *Ecosistemas*, 21(2), 167–179. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=713>
- FAO. (2000). *Mapeo mundial*. <https://www.fao.org/3/y1997s/y1997s1j.htm>
- Farwig, N., Bendix, J., Calvas, B., & Matt, F. (2022). *Environmental changes in biodiversity hotspot ecosystems of South Ecuador: RESPonse and feedback effECTs (RESPECT) Coordinators' Corner Successful launch of the second phase of RESPECT research*. <https://doi.org/10.5678/9xq8-jy86>
- Fornaris, G. (2012). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Cebolla 1*.
- Freschet, G. T., Valverde-Barrantes, O. J., Tucker, C. M., Craine, J. M., McCormack, M. L., Violle, C., Fort, F., Blackwood, C. B., Urban-Mead, K. R., Iversen, C. M., Bonis, A., Comas, L. H., Cornelissen, J. H. C., Dong, M., Guo, D., Hobbie, S. E., Holdaway, R. J., Kembel, S. W., Makita, N., ... Roumet, C. (2017). Climate, soil and plant functional types as drivers of global fine-root trait variation. *Journal of Ecology*, 105(5), 1182–1196. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12769>
- Galicia, L., Saynes, V., & Campo, J. (2015a). Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences*, 93(3), 473–484. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.66>
- Galicia, L., Saynes, V., & Campo, J. (2015b). Biomasa Aérea, Subterránea y Necromasa en una Cronosecuencia de Bosques Templados con Aprovechamiento Forestal. *Botanical Sciences*, 93(3), 473–484. <https://doi.org/10.17129/botsci.66>
- Gárate, M., & Blanco, J. A. (2013). Importance of root biomass characterization when simulating forest ecosystems. *Ecosistemas*, 22(3), 66–73. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.10>
- García-Cervigón, A. I., Camarero, J. J., & Espinosa, C. I. (2017). Intra-annual stem increment patterns and climatic responses in five tree species from an Ecuadorian tropical dry forest. *Trees - Structure and Function*, 31(3), 1057–1067. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1530-x>
- Girardin, C. A. J., Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Huaraca Huasco, W., Metcalfe, D. B., Durand, L., Mamani, M., Silva-Espejo, J. E., & Whittaker, R. J. (2013a). Fine root



- dynamics along an elevational gradient in tropical Amazonian and Andean forests. *Global Biogeochemical Cycles*, 27(1), 252–264. <https://doi.org/10.1029/2011GB004082>
- Girardin, C. A. J., Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Huaraca Huasco, W., Metcalfe, D. B., Durand, L., Mamani, M., Silva-Espejo, J. E., & Whittaker, R. J. (2013b). Fine root dynamics along an elevational gradient in tropical Amazonian and Andean forests. *Global Biogeochemical Cycles*, 27(1), 252–264. <https://doi.org/10.1029/2011GB004082>
- Gutiérrez, M., Torres, J., & Araya, J. (2014). *USO DE WINRHIZO® EN LA CUANTIFICACIÓN DE LAS RAÍCES Y*.
- Helmisaari, H. S., & Hallbäck, L. (1999). Fine-root biomass and necromass in limed and fertilized Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *Forest Ecology and Management*, 119(1–3), 99–110. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00514-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00514-3)
- Hernández, L., & Sánchez, J. A. (2012). Dinámica de la humedad del suelo y la fitomasa de raíces en ecosistemas de la Sierra del Rosario, Cuba Dynamics of soil moisture and root phytomass in ecosystems of Sierra del Rosario, Cuba. In *Pastos y Forrajes* (Vol. 35, Issue 1).
- Hishi, T., & Takeda, H. (2005). Dynamics of heterorhizic root systems: Protoxylem groups within the fine-root system of *Chamaecyparis obtusa*. *New Phytologist*, 167(2), 509–521. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01418.x>
- Jiménez Rodríguez, C. (2004). *Caracterización de la distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en un gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica*.
- Kavanagh, T., & Kellman, M. (1992). *Seasonal Pattern of Fine Root Proliferation in a Tropical Dry* (Vol. 24, Issue 2).
- Kramer-Walter, K. R., Bellingham, P. J., Millar, T. R., Smissen, R. D., Richardson, S. J., & Laughlin, D. C. (2016). Root traits are multidimensional: specific root length is independent from root tissue density and the plant economic spectrum. *Journal of Ecology*, 104(5), 1299–1310. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12562>
- Linares, P. J. (2004). *Los Bosques Tropicales estacionalmente Secos*.
- Lizarraga, S., Ana I. Ruiz, & Patricia L. Albornoz. (2016). *Morfoanatomía foliar y radical en plántulas de *Fragaria ananassa* var. Camino Real (Rosaceae)*.
- López, R. (2017). *Valoración de carbono en la necromasa y el suelo del bosque protector Aguarongo, Provincia del Azuay, Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana .
- Lorbiecke, R., & Sauter, M. (1999). *Adventitious Root Growth and Cell-Cycle Induction in Deepwater Rice 1*. <https://academic.oup.com/plphys/article/119/1/21/6098635>
- Ma, Z., & Chen, H. Y. H. (2016). Effects of species diversity on fine root productivity in diverse ecosystems: a global meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 25(11), 1387–1396. <https://doi.org/10.1111/geb.12488>

- MAATE. (2017). *Bosque Seco ecuatoriano es parte de la Red Mundial de Reservas de Biosfera de la UNESCO – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/bosque-seco-ecuatoriano-es-parte-de-la-red-mundial-de-reservas-de-biosfera-de-la-unesco/>
- Mancomunidad Bosque Seco. (2014). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL GAD MACARÁ*.
- Mancomunidad Bosque Seco. (2023). *La decisión está en nuestras manos*. <http://www.mancomunidadbosqueseco.gob.ec/>
- Markesteyn, L., Poorter, L., & Yanguas-Fernández, E. (2008). *Seasonal and topographical water availability in a tropical dry and moist forest and variation in tree seedling morphology*.
- Mathers, H. M., Lowe, S. B., Scagel, C., Struve, D. K., & Case, L. T. (2007). *Abiotic Factors Influencing Root Growth of Woody Nursery Plants in Containers*.
- McCormack, M. L., Dickie, I. A., Eissenstat, D. M., Fahey, T. J., Fernandez, C. W., Guo, D., Helmisaari, H. S., Hobbie, E. A., Iversen, C. M., Jackson, R. B., Leppälammil-Kujansuu, J., Norby, R. J., Phillips, R. P., Pregitzer, K. S., Pritchard, S. G., Rewald, B., & Zadworny, M. (2015). Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. In *New Phytologist* (Vol. 207, Issue 3, pp. 505–518). <https://doi.org/10.1111/nph.13363>
- Medeiros, J. X. de, Feliciano, A. L. P., Medeiros, J. E. de, Santos, H. H. D., & Matos, V. P. (2019). MORFOLOGIA DA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Senna cana* (Nees & Mart.) H.S. Irwin & Barneby. *Nativa*, 7(6), 784. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i6.8626>
- Mishra, P., Singh, U., Pandey, C., Mishra, P., & Pandey, G. (2019). Application of student's t-test, analysis of variance, and covariance. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(4), 407. [https://doi.org/10.4103/aca.aca\\_94\\_19](https://doi.org/10.4103/aca.aca_94_19)
- Mogni, V. Y., Oakley, L. J., Maturo, H. M., Galetti, L. A., & Prado, D. E. (2015). *BIOGEOGRAFÍA Y FLORÍSTICA DE LOS BOSQUES SECOS ESTACIONALES NEOTROPICALES (BSEN)*. 9, 275–296. <http://www.okara.ufpb.br>
- Montagnoli, A., Di Iorio, A., Terzaghi, M., Trupiano, D., Scippa, G. S., & Chiatante, D. (2014). Influence of soil temperature and water content on fine-root seasonal growth of European beech natural forest in Southern Alps, Italy. *European Journal of Forest Research*, 133(5), 957–968. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0814-6>
- Moral, I. (2006). *Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística*.
- Moral, Picó, Barber, Mininni, Agulló, Pérez-Murcia, Pérez-Espinosa, Paredes, & Bustamente. (2014). Uso del escaneo de raíces para estimar la calidad de sustratos alternativos a la turba. *Actas de Horticultura*, 67, 49–54.

- Moreira, Ileana., & Arnáez, Elizabeth. (2008). *Algunos aspectos de la morfología radicular de Hieronyma alchorneoides (Pilón)*.
- Mosquera, H., & Hurtado, F. (2022). Effects of nutrient (N, P, K) fertilization on the dynamics of fine roots in tropical rain forests with different soil texture in the Colombian Pacific region. *Revista de Biología Tropical*, 70(1), 482–494. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.2022.47351>
- Mou, Z., Kuang, L., He, L., Zhang, J., Zhang, X., Hui, D., Wu, W., Mei, Q., He, X., Kuang, Y., Wang, J., Wang, Y., Lambers, H., Sardans, J., Peñuelas, J., & Liu, Z. (2021). *Climatic and edaphic controls over the elevational pattern of microbial necromass in 1 subtropical forests*.
- Mullins, S. (2011). *Biomasa de raíces finas en cuatro estadíos de sucesión del bosque seco tropical y dos estaciones climáticas, santa rosa, costa rica*.
- Núñez, E., Steyerberg, E. W., & Núñez, J. (2011). Estrategias para la elaboración de modelos estadísticos de regresión. *Revista Espanola de Cardiología*, 64(6), 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.01.019>
- Padilla, N., Alvarado, J., & Granda, J. (2018a). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. In *Bosques Latitud Cero* (Vol. 8, Issue 2).
- Padilla, N., Alvarado, J., & Granda, J. (2018b). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. In *Bosques Latitud Cero* (Vol. 8, Issue 2).
- Paladines, R. (2003). *Propuesta de conservación del Bosque seco en el Surde Ecuador*.
- Pérez, C., Frangi, J., Goya, J., Luy, A., & Arturi, M. (2013). Contenido de nutrientes en las raíces finas y el mantillo de rodales de *Eucalyptus grandis* de diferente edad en la Mesopotamia Argentina. *Bosque*, 34(3), 303–310. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002013000300006>
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., De Vos, A. C., ... Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3), 167–234. <https://doi.org/10.1071/BT12225>
- Perkons, U., Kautz, T., Uteau, D., Peth, S., Geier, V., Thomas, K., Lütke Holz, K., Athmann, M., Pude, R., & Köpke, U. (2014). Root-length densities of various annual crops following crops with contrasting root systems. *Soil and Tillage Research*, 137, 50–57. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2013.11.005>

- Pierick, K., Link, R. M., Leuschner, C., & Homeier, J. (2023). Elevational trends of tree fine root traits in species-rich tropical Andean forests. *Oikos*, 2023(1). <https://doi.org/10.1111/oik.08975>
- Pierret, A., Moran, C. J., & Doussan, C. (2005). Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. *New Phytologist*, 166(3), 967–980. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01389.x>
- Polania, C., Pla, L., & Casanoves, F. (2011). *Diversidad funcional y servicios ecosistémicos*.
- Powers, J., & Pérez, D. (2013). Edaphic Factors are a More Important Control on Surface Fine Roots than Stand Age in Secondary Tropical Dry Forests. *Biotropica*, 45(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00881.x>
- Powers, J. S., & Pérez, D. (2013). Edaphic Factors are a More Important Control on Surface Fine Roots than Stand Age in Secondary Tropical Dry Forests. *Biotropica*, 45(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00881.x>
- Pregitzer, K. S., King, J. S., Burton, A. J., & Brown, S. E. (2000). Responses of tree fine roots to temperature. In *New Phytologist* (Vol. 147, Issue 1, pp. 105–115). <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00689.x>
- Pucha-Cofrep, D., Peters, T., & Bräuning, A. (2015). Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree-rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. *Global and Planetary Change*, 133, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.08.003>
- Ramírez, C., Alberdi, I., Bahamondez, C., & Freitas, J. (2022). *NATIONAL FOREST INVENTORIES of LATIN AMERICA and the CARIBBEAN*.
- Ramirez, C., Grinbergs, J., Valenzuela, E., & San Martin, C. (1990). *Influencia de las raíces proteiformes de plántula de Gevuina avellana Mol. (Protaaceae)*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=r6IEI4mzQjwC&oi=fnd&pg=PA11&dq=principales+funciones+de+las+raices+en+la+vida+de+los+bosques+&ots=xo6tP5Abp-&sig=P-dzEsQUpugcfZR5hV6eCIJXHA#v=onepage&q&f=false>
- Redagricola. (2022). “La raíz es el cerebro de la planta” *Manejos y productos para raíces*. <https://redagricola.com/la-raiz-es-el-cerebro-de-la-planta/>
- Reyes, R., Bastidas, S., & Peña, E. (1998). *Crecimiento del sistema radical de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.) en Tumaco, Colombia*.
- Reyna, H., Fernández, O., Marisa, A., & Fierro Álvarez, A. (2016). *Manual de propagación de plantas superiores*.
- Romero, J. M., & Pérez, C. (2016). Seed morphological traits and their implication in the ex situ conservation of woody species in Tumbesian dry forests. *Ecosistemas*, 25(2), 59–65. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.07>

- Romero, M. (2011). *IDENTIFICACIÓN Y DINAMIZACIÓN DEL CORREDOR AVITURÍSTICO DE ENDEMISMO TUMBESINO, SECTOR "RESERVA NATURAL LAIPUNA."*
- Ruthsatz, B. (1978). Las Plantasen cojín de los semi-desiertos andinos del Noroeste Argentino. *Instituto de Botánica Darwinion*.
- Salehi, A., Mazaffar, M., Chai, F., Mardaliza, G., & Ghorbanzadeh, N. (2014). *Effect of Soil Physical Properties on Natural Regeneration of Populus caspica Bornm. and Alnus glutinosa L. in Northern Iran* (Vol. 5). <http://eb.bio.uni-plovdiv.bg>
- Tapia, M. (2011). *IDENTIFICACIÓN Y DINAMIZACIÓN DEL CORREDOR AVITURÍSTICO DE ENDEMISMO TUMBESINO. SECTOR RESERVA NATURAL LAIPUNA.*
- Torres, A., Bautista, A., Cárdenas, M., Vargas, J., Londoño, V., Rivera, K., Home, J., Duque, O., & González, Á. (2012). Dinámica sucesional de un fragmento de bosque seco tropical del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*.
- Universidad Nacional de la Plata. (2016). *LA RAÍZ DE LAS PLANTAS: MORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA PRIMARIA.*
- UNLP. (2008). *LA RAÍZ DE LAS PLANTAS: MORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA PRIMARIA.*
- Wang, C., Chen, Z., Yin, H., Guo, W., Cao, Y., Wang, G., Sun, B., Yan, X., Li, J., Zhao, T. H., Brunner, I., Dai, G., Zheng, Y., Zheng, Y., Zu, W., & Li, M. H. (2018). The Responses of Forest Fine Root Biomass/Necromass Ratio to Environmental Factors Depend on Mycorrhizal Type and Latitudinal Region. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123(5), 1769–1788. <https://doi.org/10.1029/2017JG004308>
- Wang, H., Wang, Z., & Dong, X. (2019). Anatomical structures of fine roots of 91 vascular plant species from four groups in a temperate forest in Northeast China. *PLoS ONE*, 14(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215126>
- Weemstra, M., Kiorapostolou, N., van Ruijven, J., Mommer, L., de Vries, J., & Sterck, F. (2020). The role of fine-root mass, specific root length and life span in tree performance: A whole-tree exploration. *Functional Ecology*, 34(3), 575–585. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13520>
- Wurz, A., Bendix, J., Homeier, J., Matt, F., Paladines, P., Serrano, F., & Farwig, N. (2023). A HIDDEN GEM IN THE TUMBESIAN DRY FOREST IN SOUTHERN ECUADOR: ESTACIÓN CIENTÍFICA LAIPUNA. *ECOTROPICA INTERNATIONAL JOURNAL OF TROPICAL ECOLOGY*, 25, 202301. <https://doi.org/10.30427/ecotrop202301>
- Zent, E. L., & Zent, S. (2004). Floristic composition, structure, and diversity of four forest plots in the Sierra Maigualida, Venezuelan Guayana. In *Biodiversity and Conservation* (Vol. 13). Kluwer Academic Publishers.
- Zhang, X., & Wang, W. (2015). The decomposition of fine and coarse roots: Their global patterns and controlling factors. *Scientific Reports*, 5. <https://doi.org/10.1038/srep09940>



## 11. Anexos

**Anexo 1.** Vista del bosque seco desde la reserva en el área de conservación Laipuna.



Fotografía tomada el 14 / 11 / 2022 correspondiente a la época seca. Autor Lea Kerwer.



Fotografía tomada el 21 / 04 / 2023 correspondiente a la época de lluvia. Autor Lea Kerwer.

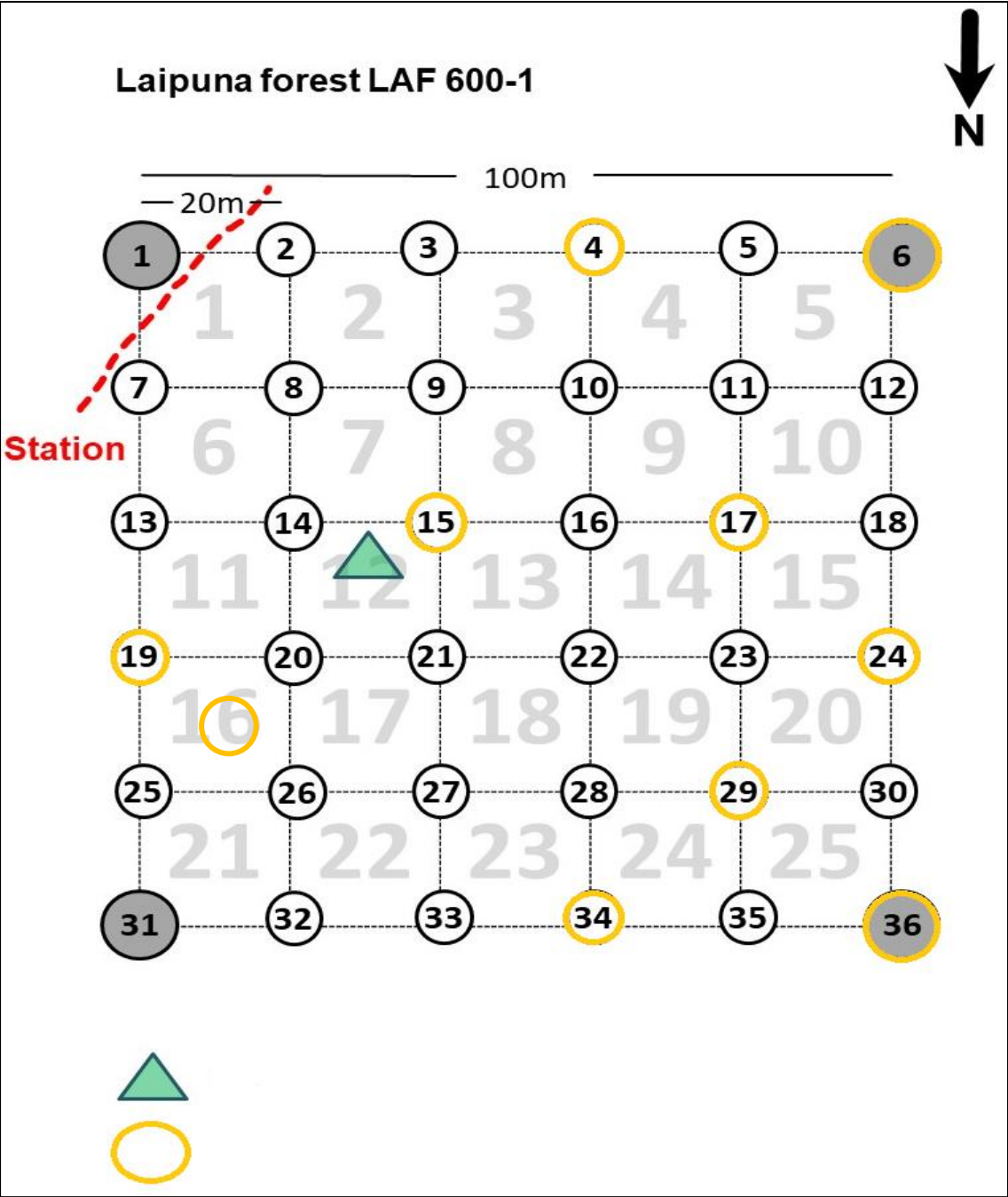
**Anexo 2.** Especies registradas en el área de conservación de Laipuna.

	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>N. Común</b>
1	<i>Achatocarpaceae</i>	<i>Achatocarpus cf pubescens</i>	Guallachi
2	<i>Anacardiaceae</i>	<i>Loxopterygium huasango</i>	Hualtaco
3	<i>Araliaceae</i>		
4	<i>Asteraceae</i>	<i>Fulcaldea laurifolia</i>	
5	<i>Bignoniaceae</i>	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Guayacan
6	<i>Bignoniaceae</i>	<i>Tecoma</i>	
7	<i>Boraginaceae</i>	<i>Cordia alliodora</i>	
8	<i>Boraginaceae</i>	<i>Cordia lutea</i>	Veral
9	<i>Burseraceae</i>	<i>Bursera graveolens</i>	Palo santo
10	<i>Cannabaceae</i>	<i>Celtis cf loxensis</i>	Cafetillo
11	<i>Capparaceae</i>	<i>Capparis</i>	
12	<i>Capparaceae</i>	<i>Morisonia flexuosa</i>	Margarito
13	<i>Capparaceae</i>	<i>Morisonia petiolare</i>	Chora
14	<i>Capparaceae</i>	<i>Morisonia scabrida</i>	Zapote
15	<i>Caricaceae</i>	<i>Vasconcella candicans</i>	Chamburo
16	<i>Celastraceae</i>	<i>Maytenus sp.</i>	
17	<i>Celastraceae</i>	<i>Schaefferia serrata</i>	
18	<i>Cochlospermaceae</i>	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Polo polo
19	<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia valverdae</i>	Guarapo
20	<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea wolcottiana ssp. calodendron</i>	Samba samba
21	<i>Erythroxylaceae</i>	<i>Erythroxylum cf glaucum</i>	Cacho del toro
22	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Croton beetlei</i>	
23	<i>Fabaceae</i>	<i>Acacia macracantha</i>	Faique
24	<i>Fabaceae</i>	<i>Albizia multiflora</i>	Angulo
25	<i>Fabaceae</i>	<i>Bauhinia aculeata</i>	Azuceno
26	<i>Fabaceae</i>	<i>Libidibia glabrata</i>	Charán
27	<i>Fabaceae</i>	<i>Clitoria cf arborea</i>	
28	<i>Fabaceae</i>	<i>Cyathostegia mathewsii</i>	
29	<i>Fabaceae</i>	<i>Erythrina velutina</i>	Porotillo
30	<i>Fabaceae</i>	<i>Geoffrea spinosa</i>	Almendro
31	<i>Fabaceae</i>	<i>Leucaena trichodes</i>	Shapra

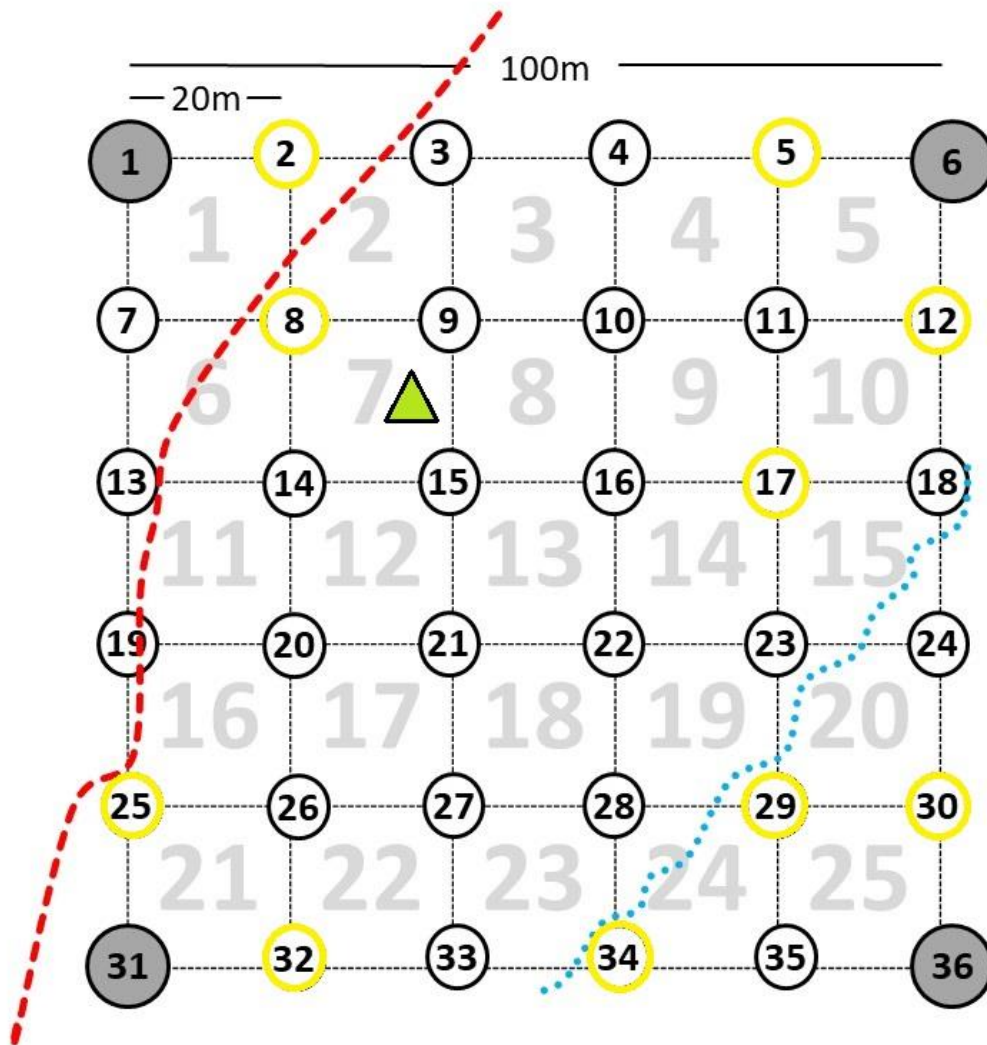


32	<i>Fabaceae</i>	<i>Machaerium millei</i>	Chicho
33	<i>Fabaceae</i>	<i>Piptadenia flava</i>	Aserillo
34	<i>Fabaceae</i>	<i>Piscidia carthagenensis</i>	Barbasco
35	<i>Fabaceae</i>	<i>Prosopis juliflora</i>	Algarrobo
36	<i>Fabaceae</i>	<i>Senna mollissima</i>	Vainillo
37	<i>Flacourtiaceae</i>		
38	<i>Hippocrateaceae</i>	<i>Salacia</i>	Diente
39	<i>Lauraceae</i>	<i>Ocotea</i>	
40	<i>Malvaceae</i>	<i>Ceiba trichistandra</i>	Ceibo
41	<i>Malvaceae</i>	<i>Eriotheca ruizii</i>	Pasallo
42	<i>Meliaceae</i>	<i>Schmardaea microphylla</i>	
43	<i>Moraceae</i>	<i>Ficus sp1</i>	
44	<i>Moraceae</i>	<i>Ficus sp2</i>	
45	<i>Moraceae</i>	<i>Maclura tinctoria</i>	Zota
46	<i>Myrtaceae</i>	<i>Myrcia fallax</i>	Saca saca
47	<i>Myrtaceae</i>	<i>Psidium rostratum</i>	Guayabillo
48	<i>Myrtaceae</i>	<i>Psidium sp2</i>	
49	<i>Nyctaginaceae</i>	<i>Bougainvillea peruviana</i>	
50	<i>Nyctaginaceae</i>	<i>Pisonia aculeata</i>	Pega pega
51	<i>Opiliaceae</i>	<i>Agonandra excelsa</i>	Limoncillo
52	<i>Phyllanthaceae</i>	<i>Phyllanthus</i>	Palo colorado
53	<i>Polemoniaceae</i>	<i>Cantua</i>	
54	<i>Polygonaceae</i>	<i>Coccoloba ruiziana</i>	Añalque
55	<i>Polygonaceae</i>	<i>Coccoloba sp1</i>	
56	<i>Polygonaceae</i>	<i>Triplaris cf americana</i>	Roblon
57	<i>Rhamnaceae</i>	<i>Ziziphus thyrsoiflora</i>	Cortezo/ebano
58	<i>Rubiaceae</i>	<i>Simira ecuadorensis</i>	
59	<i>Rutaceae</i>	<i>Esenbeckia warscewiczii</i>	
60	<i>Rutaceae</i>	<i>Zanthoxylum fagara</i>	
61	<i>Salicaceae</i>	<i>Prockia pentamera</i>	Manzano
62	<i>Sapindaceae</i>	<i>Allophylus mollis</i>	
63	<i>Sapindaceae</i>	<i>Cupania</i>	
64	<i>Sapindaceae</i>	<i>Sapindus saponaria</i>	Checo/jorupe
65	<i>Solanaceae</i>	<i>Acnistus arborescens</i>	Pico pico
66	<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum</i>	

Anexo 3. Puntos de muestreo para cada una de las parcelas.



Laipuna forest LAF 1200-1



**Anexo 4.** Ramificación de un sistema secundario (SRF) de un sistema primario



**Anexo 5.** Muestra con agua previo al lavado



**Anexo 6.** Raíces resultantes del proceso de lavado.



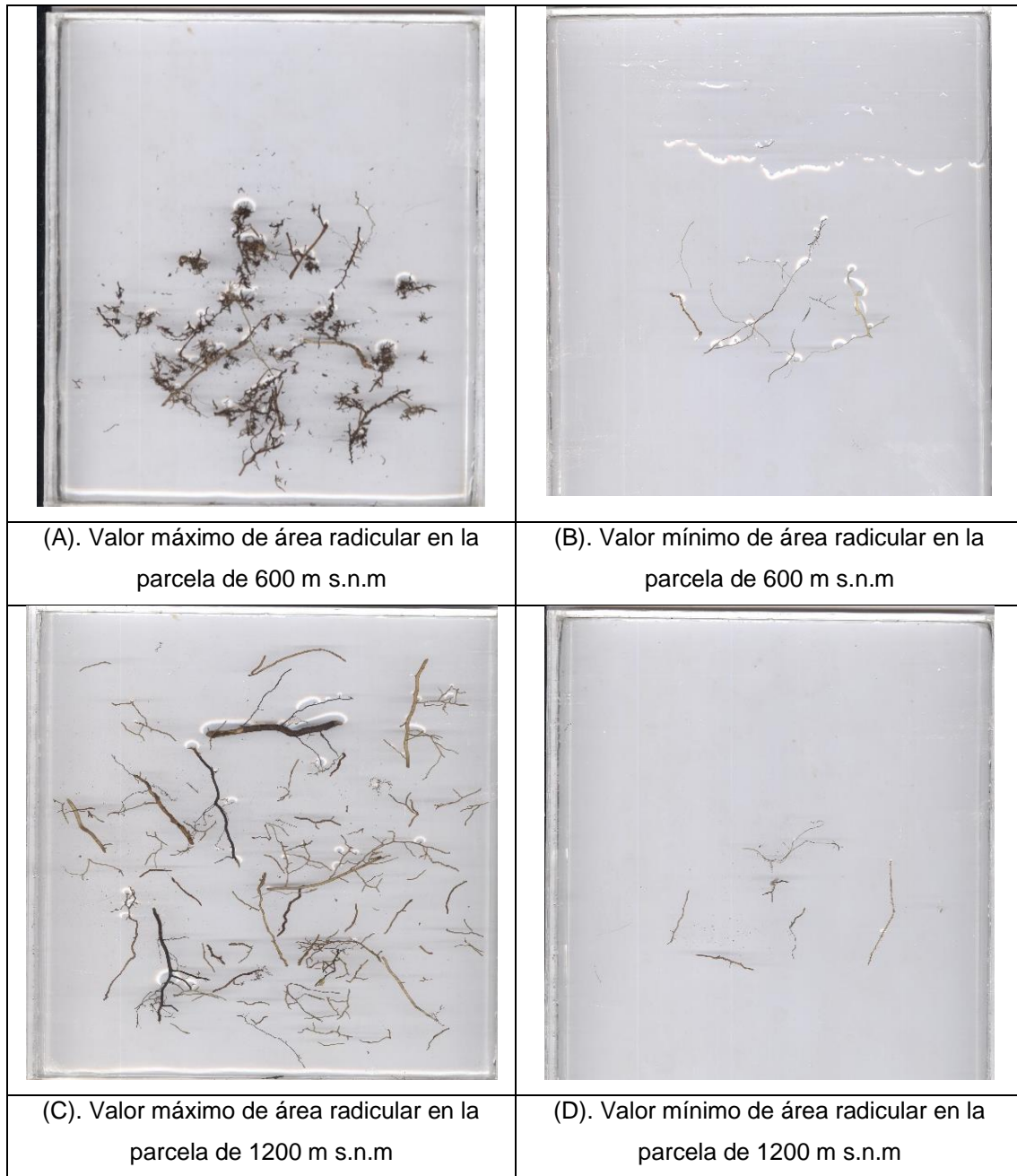
**Anexo 7.** Raíces obtenidas y listas para ser separadas.



**Anexo 8.** Vista de las raíces desde el estereomicroscopio con un aumento de 40x.



**Anexo 9.** Muestras que generaron valores mínimo y máximo para el área radicular.



**Tabla 17.** Estadísticas del área radicular de las raíces finas

<b>Área radicular</b>					
	<b>Mediana</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Des. estándar</b>
<b>600 m s.n.m</b>	22,890	25,714	72,719	4,274	14,173
<b>1200 m s.n.m</b>	22,926	26,035	71,182	4,233	12,684

**Anexo 10.** Muestras y sus valores máximos y mínimos para la longitud de raíces finas



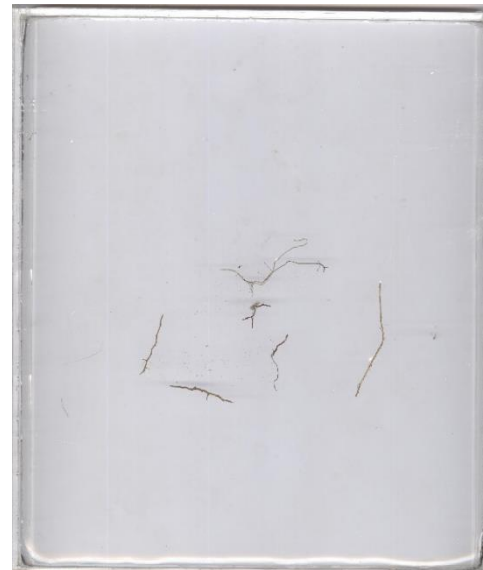
(A). Valor máximo de longitud radicular en la parcela de 600 m s.n.m



(B). Valor mínimo de longitud radicular en la parcela de 600 m s.n.m



(C). Valor máximo de longitud radicular en la parcela de 1200 m s.n.m







(D). Valor mínimo de longitud radicular en la parcela de 1200 m s.n.m

**Tabla 18.** Estadísticas de la longitud total de las raíces finas

<b>Longitud total de raíces finas</b>					
	<b>Mediana</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Des. estándar</b>
<b>600 m s.n.m</b>	160,750	181,928	524,274	29,01	106.791
<b>1200 m s.n.m</b>	164,735	192,328558	465,874	37,97	97.039







**Anexo 11.** Muestras escaneadas y sus valores mínimo y máximo para el volumen

	
(A). Valor máximo de volumen radicular en la parcela de 600 m s.n.m	(B). Valor mínimo de volumen radicular en la parcela de 600 m s.n.m
	
(C). Valor máximo de volumen radicular en la parcela de 1200 m s.n.m	(D). Valor mínimo de volumen radicular en la parcela de 1200 m s.n.m

**Tabla 19.** Estadísticas de Volumen (cm<sup>3</sup>) de las raíces finas.

Volumen (cm <sup>3</sup> )					
	Mediana	Promedio	Máximo	Mínimo	Des. estándar
<b>600 m s.n.m</b>	0,256	0,354	5,057	0,028	0,480
<b>1200 m s.n.m</b>	0,248	0,301	1,057	0,036	0,191




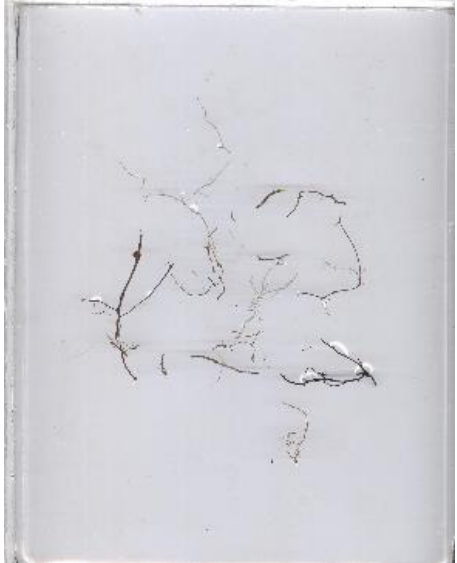
**Anexo 12.** Muestras y sus valores mínimo y máximo para el diámetro (mm).

	
<p>(A). Valor máximo de diámetro total en la parcela de 600 m s.n.m</p>	<p>(B). Valor mínimo de diámetro total en la parcela de 600 m s.n.m</p>
	
<p>(C). Valor máximo de diámetro total en la parcela de 1200 m s.n.m</p>	<p>(D). Valor mínimo de diámetro total en la parcela de 1200 m s.n.m</p>

**Tabla 20.** Estadísticas de diámetro total de las raíces finas.

<b>Diámetro total de raíces finas (mm)</b>					
	<b>Mediana</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Des. estándar</b>
<b>600 m s.n.m</b>	0.437	0,468	1.04	0.206	0,141
<b>1200 m s.n.m</b>	0,399	0,420	0.739	0,012	0,152





**Anexo 13.** Muestras y sus valores mínimo y máximo para la biomasa (gr).

	
(A). Valor máximo de biomasa en la parcela de 600 m s.n.m	(B). Valor mínimo de biomasa en la parcela de 600 m s.n.m
	
(C). Valor máximo de biomasa en la parcela de 1200 m s.n.m	(D). Valor mínimo de biomasa en la parcela de 1200 m s.n.m

**Tabla 21.** Estadísticas de biomasa de las raíces finas.

<b>Biomasa (gr)</b>					
	<b>Mediana</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Des. estándar</b>
<b>600 m s.n.m</b>	0.074	0,120	0.812	0.029	0,1475

**Anexo 14.** Muestras y sus valores mínimo y máximo para la necromasa (gr).

	
(A). Valor máximo de necromasa en la parcela de 600 m s.n.m	(B). Valor mínimo de necromasa en la parcela de 600 m s.n.m
	
(C). Valor máximo de necromasa en la parcela de 1200 m s.n.m	(D). Valor mínimo de necromasa en la parcela de 1200 m s.n.m

**Tabla 22.** Estadísticas de necromasa de las raíces finas.

<b>Biomasa (gr)</b>					
	<b>Mediana</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Des. estándar</b>
<b>600 m s.n.m</b>	0.049	0.090	0.529	0.0023	0.1141
<b>1200 m s.n.m</b>	0.050	0.067	0.565	0.0015	0.0711

## Anexo 15. Script aplicado para el análisis de datos en R

```
rm(list=ls(all=TRUE)) #remove all objects (from other sessions)
library(lubridate)
library(tidyverse)
library(knitr)
library(rmarkdown)
library(ggpubr)
library(here)
```

### ## 1. IMPORTACION, VISUALIZACION, ESTADISTICOS BASICOS Y EXPORTACION DE DATOS

```
allData <- readxl::read_xlsx(here("RawData", "Daten_komplett_1.xlsx")) %>%
  mutate(month = ym(month)) %>%
  mutate(across(c(plot, id), as.character))
```

```
rain <- readxl::read_xlsx(here("RawData", "RainLaipuna600_20220429-20221217.xlsx")) %>%
  mutate(
    TIMESTAMP = ymd_hms(TIMESTAMP),
    Rain_mm_Tot = as.numeric(Rain_mm_Tot)
  )
```

### ## 2. ASIGNACIÓN DE VARIABLES

```
monthlyMeans_long <- allData %>%
  pivot_longer(
    cols = -c(plot, month, id),
    names_to = "name",
    values_to = "value"
  ) %>%
  group_by(
    plot,
    month,
    name
  ) %>%
  summarise(
    mean = mean(value, na.rm = TRUE),
    sd = sd(value, na.rm = TRUE)
  )
```

## ## 2. AGRUPACIÓN DE LOS DATOS POR PARCELAS.

```
monthlyMeans_wide <- monthlyMeans_long %>%
  pivot_wider(
    names_from = name,
    values_from = c(mean, sd)
  )%>%
  mutate(
    TIMESTAMP = as.POSIXct(month) + hours(5)
  )
```

```
allDataWithTimestamp <- allData %>%
  mutate
```

```
DataWithRain <- rain %>%
  left_join(monthlyMeans_wide)
```

```
## Joining with `by = join_by(TIMESTAMP)`
```

## ## 3. GRAFICA DE BOX PLOTS POR MES Y PISO ALTITUDINAL.

```
allData %>%
  #filter(month == "may") %>%
  ggplot(aes(x=plot, y=biomass)) +
  #geom_point(aes(x=SWC5, y=biomass, color = plot)) +
  geom_boxplot(aes(fill = plot)) +
  geom_jitter() +
  facet_wrap(~month)
```

## ## 4. GRAFICA BIOMASA DE RAICES Y CONTENIDO DE AGUA EN LOS 5 CM DE LA CAPA ORGANICA.

```
monthlyMeans_wide %>%
  ggplot() +
  geom_line(aes(x=month, y=mean_biomass,color = plot)) +
  geom_line(aes(x=month, y=mean_SWC5,color = plot)) +
  labs(title = "Root biomass and soil water content in 5cm depth",
    subtitle = "Dashed line: soil water content"
  ) +
```

```
xlab("Date") +  
ylab("Biomass / soil water content 5cm")
```

### ## 5. GRAFICA ÁREA DE RAICES.

```
monthlyMeans_wide %>%  
  ggplot() +  
  geom_line(aes(x=month, y=mean_area,color = plot), linewidth = 1) +  
  labs(title = "Root area",  
        subtitle = ""  
  ) +  
  xlab("Date") +  
  ylab(expression("Root area ("* cm^2*")))
```

### ## 6. GRAFICA VOLÚMEN DE RAICES.

```
monthlyMeans_long %>%  
  filter(  
    name == "vol"  
  ) %>%  
  ggplot() +  
  geom_line(aes(x=month, y=mean,color = plot), linewidth = 1) +  
  labs(title = "Root volume",  
        subtitle = ""  
  ) +  
  xlab("Date") +  
  ylab(expression("Root vol ("* cm^3*")))
```

### ## 7. GRAFICA LONGITUD DE RAICES.

```
monthlyMeans_long %>%  
  filter(  
    name == "len"  
  ) %>%  
  ggplot(aes(x=month, y=mean,color = plot)) +  
  geom_line(linewidth = 1) +  
  #geom_errorbar(aes(ymin=mean-sd,ymax=mean+sd),linewidth = 1) +
```

```

labs(title = "Root length",
      subtitle = ""
    ) +
xlab("Date") +
ylab("Root length (cm)")

```

#### ## 8. GRAFICA DIAMETRO DE RAICES.

```

monthlyMeans_long %>%
  filter(
    name == "diam"
  ) %>%
  ggplot(aes(x=month, y=mean,color = plot)) +
  geom_line(linewidth = 1) +
  #geom_errorbar(aes(ymin=mean-sd,ymax=mean+sd),linewidth = 1) +
  labs(title = "Root diameter",
        subtitle = ""
    ) +
  xlab("Date") +
  ylab("Root diameter (mm)")

```

#### ## 9. GRAFICA LONGITUD ESPECIFICA DE RAICES.

```

monthlyMeans_long %>%
  filter(
    name == "SRL"
  ) %>%
  ggplot(aes(x=month, y=mean,color = plot)) +
  geom_line(linewidth = 1) +
  #geom_errorbar(aes(ymin=mean-sd,ymax=mean+sd),linewidth = 1) +
  labs(title = "Root diameter",
        subtitle = ""
    ) +
  xlab("Date") +
  ylab(expression("SRL (" * cm * g-1"))

```

#### ## 10. GRAFICA DIAMETRO ESPECIFICO DE RAICES.



```

monthlyMeans_long %>%
  filter(
    name == "SRA"
  ) %>%
  ggplot(aes(x=month, y=mean,color = plot)) +
  geom_line(linewidth = 1) +
  #geom_errorbar(aes(ymin=mean-sd,ymax=mean+sd),linewidth = 1) +
  labs(title = "Root diameter",
        subtitle = ""
  ) +
  xlab("Date") +
  ylab(expression("SRA (" * cm^2 * g^-1*")"))

```

#### ## 11. GRAFICA TEMPERATURA DEL ÁIRE.

```

monthlyMeans_long %>%
  filter(
    name == "airtemp"
  ) %>%
  ggplot(aes(x=month, y=mean,color = plot)) +
  geom_line(linewidth = 1) +
  #geom_errorbar(aes(ymin=mean-sd,ymax=mean+sd),linewidth = 1) +
  labs(title = "air temperatur",
        subtitle = ""
  ) +
  xlab("Date") +
  ylab(expression("°C"))

```

#### ## 12. GRAFICA TEMPERATURA DEL SUELO 5CM.

```

monthlyMeans_long %>%
  filter(
    name == "soiltemp5"
  ) %>%
  ggplot(aes(x=month, y=mean,color = plot)) +
  geom_line(linewidth = 1) +
  #geom_errorbar(aes(ymin=mean-sd,ymax=mean+sd),linewidth = 1) +
  labs(title = "soil temperature 5cm",

```

```

    subtitle = ""
  ) +
  xlab("Date") +
  ylab(expression("°C"))

```

### ## 13. GRAFICA TEMPERATURA DEL SUELO 15CM.

```

monthlyMeans_long %>%
  filter(
    name == "soiltemp15"
  ) %>%
  ggplot(aes(x=month, y=mean,color = plot)) +
  geom_line(linewidth = 1) +
  #geom_errorbar(aes(ymin=mean-sd,ymax=mean+sd),linewidth = 1) +
  labs(title = "soil temperature 15cm",
    subtitle = ""
  ) +
  xlab("Date") +
  ylab(expression("°C"))

```

### ## 14. GRAFICA BIOMASA DE RAICES VS CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO 5CM.

```

monthlyMeans_wide %>%
  ggplot(aes(x=mean_SWC5, y=mean_biomass, color = month)) +
  geom_point() +
  geom_line() +
  facet_wrap(~plot) +
  labs(title = "Root biomass and soil water content in 5cm depth",
    subtitle = ""
  ) +
  ylab("root biomasse") +
  xlab(expression("Soil water content (" m^3*m^-3*")"))

```

### ## 15. GRAFICA BIOMASA DE RAICES VS CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO 15CM.

```

monthlyMeans_wide %>%

```

```

ggplot(aes(x=mean_SWC15, y=mean_biomass, color = month)) +
geom_point() +
geom_line() +
facet_wrap(~plot) +
labs(title = "Root biomass and soil water content in 15cm depth",
      subtitle = ""
    ) +
ylab("root biomass") +
xlab(expression("Soil water content (" m^3*m^-3*")"))

```

#### ## 16. GRAFICA BIOMASA DE RAICES VS TEMPERATURA DEL SUELO 5CM.

```

monthlyMeans_wide %>%
ggplot(aes(x=mean_soiltemp5, y=mean_biomass, color = month)) +
geom_point() +
geom_line() +
facet_wrap(~plot, scales = "free_x") +
labs(title = "Root biomass vs soil temperature in 5cm depth",
      subtitle = ""
    ) +
ylab("root biomass") +
xlab(expression("Soil temp (°C)"))

```

#### ## 17. GRAFICA BIOMASA DE RAICES VS TEMPERATURA DEL SUELO 15CM.

```

monthlyMeans_wide %>%
ggplot(aes(x=mean_soiltemp15, y=mean_biomass, color = month)) +
geom_point() +
geom_line() +
facet_wrap(~plot, scales = "free_x") +
labs(title = "Root biomass vs soil temperature in 15cm depth",
      subtitle = ""
    ) +
ylab("root biomass") +
xlab(expression("Soil temp (°C)"))

```

```
## 18. GRAFICA BIOMASA DE RAICES VS TEMPERATURA DEL AIRE.
```

```
monthlyMeans_wide %>%  
  ggplot(aes(x=mean_airtemp, y=mean_biomass, color = month)) +  
  geom_point() +  
  geom_line() +  
  facet_wrap(~plot, scales = "free_x") +  
  labs(title = "Root biomass vs air temperature",  
        subtitle = ""  
        ) +  
  ylab("root biomass") +  
  xlab(expression("Soil temp (°C)"))
```

```
## 19. GRAFICA BIOMASA DE RAICES VS NECROMASA.
```

```
monthlyMeans_long %>%  
  filter(  
    name %in% c("biomass", "necromass")  
  ) %>%  
  ggplot() +  
  geom_line(aes(x=month, y=mean, color = name)) +  
  facet_wrap(~plot) +  
  labs(title = "Root biomass and necromass",  
        subtitle = ""  
        ) +  
  xlab("Month") +  
  ylab(expression("Root dry mass (g " "cm^-3)"))
```

```
## 20. GRAFICA BIOMASA DE RAICES VS CONTENIDO DE AGUA VS LLUVIA.
```

```
g_rain <- DataWithRain %>%  
  ggplot() +  
  geom_line(aes(x=TIMESTAMP, y=Rain_mm_Tot, linewidth = 1, color = "steelblue")) +  
  # labs(title = "Rainfall",  
  #   subtitle = ""  
  #   ) +  
  xlab("Date") +
```

```

ylab(expression("Rain mm"))

g_biomass <- DataWithRain %>%
  drop_na(plot) %>%
  ggplot() +
  geom_line(aes(x=TIMESTAMP, y=mean_biomass,color = plot)) +
  #geom_line(aes(x=month, y=mean_SWC5,color = plot)) +
  # labs(title = "Root biomass and soil water content in 5cm depth",
  #       subtitle = "Dashed line: soil water content"
  #       ) +
  # xlab("Date") +
  theme(axis.text.x=element_blank(), #remove x axis labels
        axis.ticks.x=element_blank(),
        axis.title.x=element_blank()
        ) +
  ylab("Biomass / soil water content 5cm")

g_combined <- ggarrange(g_biomass, g_rain,
  ncol = 1, nrow = 2,
  common.legend = TRUE
  )

g_combined

## 21. ANOVA POR VARIABLE.

aov_biomass_plots <- aov(biomass ~ plot, data = allData)
summary(aov_biomass_plots)

##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## plot          1  0.115  0.11499   6.621 0.0108 *
## Residuals  198  3.439  0.01737
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

aov_biomass_plots_SWC5 <- aov(biomass ~ plot + SWC5, data = allData)
summary(aov_biomass_plots_SWC5)

```

```

##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## plot      1 0.1048 0.1048  5.931 0.0162 *
## SWC5      1 0.3547 0.3547 20.072 1.56e-05 ***
## Residuals 137 2.4211 0.0177
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## 60 Beobachtungen als fehlend gelöscht

```

```

aov_biomass_plots_airtemp_SWC5 <- aov(biomass ~ plot + airtemp + SWC5, data = allData)
summary(aov_biomass_plots_airtemp_SWC5)

```

```

##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## plot      1 0.1048 0.1048  7.714 0.00625 **
## airtemp   1 0.4758 0.4758 35.019 2.52e-08 ***
## SWC5      1 0.4521 0.4521 33.269 5.16e-08 ***
## Residuals 136 1.8479 0.0136
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## 60 Beobachtungen als fehlend gelöscht

```

**Anexo 16.** Certificado de traducción del resumen

## Lic. Larry Palacio

Con cédula de identidad 1103982987, certificado como traductor e intérprete en la Senecyt con registro MDT-3104-CCL-279678,

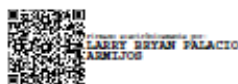
### **C E R T I F I C O:**

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen de la tesis, “**ESTACIONALIDAD DE RAÍCES FINAS EN EL BOSQUE SECO DE LA RESERVA NATURAL LAIPUNA AL SUR DEL ECUADOR**”, cuya autoría del estudiante Jorge Antonio Gonzaga Poma, con cédula 1721860227, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Se autoriza a los interesados hacer uso de la misma para los trámites que crean convenientes.

Emitida en Loja, a los 21 días del mes de noviembre de 2023.

Atentamente



Lic. Larry Palacio

Licenciado en Ciencias de la Educación mención Idioma Inglés