

UCUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Carrera de Ingeniería Agronómica

**Contenido de carbono almacenado en biomasa de árboles y en el suelo en un parche del
bosque del género *Polylepis* en Zhuruca, provincia del Azuay**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Agrónoma

Autora:

Marcia Karina Puma Fernández

CI: 0104608161

karispurple@hotmail.com

Directora:

Blga. Fanny Ximena Palomeque Pesántez, PhD

CI: 0301356382

Cuenca, Ecuador

27-julio-2022

RESUMEN

Las especies del género *Polylepis* son árboles que crecen en una alta elevación en el ecosistema páramo y proveen varios servicios ecosistémicos para el bienestar humano como son: el almacenamiento de carbono, hábitat para la biodiversidad, control de erosión, entre otros. El objetivo de este estudio fue caracterizar las variables dasométricas y estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo a diferentes profundidades tanto al interior como en el borde en un parche de bosque de *Polylepis reticulata*, ubicado en la microcuenca del río Zhuruca, al sur del Ecuador. Se establecieron en total ocho parcelas de 20 x 20 m (400 m²). En cada parcela se midió el DAP (diámetro a la altura del pecho), la altura de todos los árboles y junto al valor obtenido de la densidad de madera se estimó el contenido de carbono aéreo a partir de ecuaciones alométricas. Por otro lado, en cada parcela se establecieron tres subparcelas de 0.25 m² para evaluar la contribución del carbono en la biomasa del suelo y además se realizó calicatas de 0.25 m² x 90 cm para tomar muestras de materia orgánica y densidad aparente del suelo en diferentes profundidades (0 – 10cm, 10 a 30cm, 30 a 60 cm y 60 a 90 cm). Los resultados revelaron que las variables analizadas como: altura, diámetro, densidad (ind/ha) no presentaron diferencias entre las parcelas de borde e interior, atribuible al tamaño y forma del área de estudio. En general, se encontró un mayor almacenamiento de carbono en el suelo que en la biomasa aérea y no tuvo significativas entre parcelas de borde e interior. Con respecto a las profundidades del suelo se encontró que el carbono es mayor a 30-60 cm. Los hallazgos de este estudio ayudan a entender la función de los bosques de *Polylepis* para un servicio ambiental importante como es el almacenamiento de carbono.

Palabras claves: Biomasa aérea. Carbono en el suelo. Raíces. Borde del bosque

ABSTRACT

The species of the genus *Polylepis* are trees that grow at high elevation in the páramo ecosystem and provide several ecosystem services for well being, such as carbon storage, habitat for biodiversity, erosion control and others. The aim of this study was to characterize the dasometric variables and estimate the carbon content stored in the above and below ground biomass at different soil depths in established plots in the interior and at the edge of a patch of *Polylepis reticulata* forest, located in the Zhurucay river micro-watershed, in southern Ecuador. A total of eight plots of 20 x 20 m (400 m²) were established. In each plot the Diameter at breast height (DBH) and height of the all trees were measured, in addition, the wood density was calculated to estimate the carbon content using allometric equations. On the other hand, within each plot, three subplots of 0.25 m² were established to evaluate the carbon stored in the belowground biomass. Additionally, organic matter and bulk density were sampled at different depths (0 – 10cm, 10 a 30cm, 30 a 60 cm y 60 a 90 cm) in 0.25 m² x 90 cm deep pits. The results revealed that the variables analyzed such as height, diameter, density (ind/ha) did not present differences between the edge and interior plots, attributable to the size and shape of the study area. In general, it was found a highest amount of carbon at belowground than above ground biomass and a non significance was found between interior vs edge plots. In regard to soil depths, at 30-60 cm had the greatest carbon storage. The findings in this study supports to understand the rol of *Polylepis* forest in term of carbon storage as an important ecosystem service.

Keywords: Aerial biomass. Carbon in the soil. Roots. Edge of Forest

TABLAS DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA.....	7
Agradecimientos.....	10
Dedicatoria.....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. HIPÓTESIS.....	13
3.1 Hipótesis Estadística.....	13
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1 Características generales y morfológicas.....	14
4.2 Distribucion de los bosques de <i>Polylepis</i> en una variedad de condiciones.....	14
4.3 Importancia de los bosques de <i>Polylepis</i> para mantener servicios ecosistémicos.....	15
4.4 Carbono en la biomasa de los bosques del género <i>Polylepis</i> y en el suelo.....	15
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
5.1 Descripción y ubicación del sitio de estudio.....	17
5.2 Tamaño y forma de las unidades de muestreo.....	19
5.3 Estimación del contenido de carbono en la biomasa aérea.....	20
5.4 Determinación del contenido de carbono en el suelo.....	21
5.5 Determinación del contenido de carbono sobre el suelo.....	21
5.6 Biomasa subterránea (raíces finas).....	21
5.7 Carbono orgánico en el suelo (COS).....	22
5.8 Determinación de fragmentos rocosos.....	22
6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	24
7. RESULTADOS.....	24
Objetivo 1.....	24

Caracterizar las variables dasométricas de los árboles en el parche de <i>Polylepis</i> en parcelas ubicada al interior y borde del parche de bosque.....	24
Objetivo 2	28
Estimar el contenido de carbono almacenada en la biomasa aérea y a diferentes profundidades del suelo al interior y al borde del parche de bosque	28
Carbono sobre el suelo.....	29
Estimación del carbono en la biomasa subterránea	31
Carbono orgánico del suelo (COS).....	32
Contenido de carbono en los diferentes compartimentos	34
8. DISCUSIÓN	37
9. CONCLUSIONES	40
10. RECOMENDACIONES.....	41
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
12. ANEXOS	47
49	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio (Zhurucay), en la provincia del Azuay.....	18
Figura 2. Disposición de las parcelas en el borde y al interior del parche de bosque de <i>Polylepis</i> en Zhurucay	19
Figura 3. Boxplot del carbono almacenado en la biomasa aérea (Tm/ha) en parcelas de borde e interior en el parche de <i>Polylepis reticulata</i> en Zhurucay, n=4.....	29
Figura 4. Boxplot del carbono almacenado en la materia viva sobre el suelo en parcelas de borde e interior en el parche de <i>Polylepis reticulata</i> en Zhurucay, n=4	30
Figura 5. Boxplot del carbono almacenado en la necromasa en parcelas de borde e interior en el parche de <i>Polylepis reticulata</i> , n=4	30
Figura 6 Boxplot del carbono subterráneo almacenado en parcelas de borde e interior a diferentes profundidades (a), 0 a 10 cm (b)10-30 cm, (c)30-60 cm y (d) 60-90 cm, en el parche de <i>P.reticulata</i> , Zhurucay	32
Figura 7. Boxplot del carbono orgánico del suelo en parcelas de borde e interior a cuatro profundidades en diferentes profundidades (a) 0- 10 cm, (b) 10-30 cm, (c) 30-60 cm y (d) 60-90 cm en el parche de <i>Polylepis reticulata</i> , Zhurucay	33
Figura 8. Valores de mediana acumulados de carbono en los cuatro compartimentos obtenidos en parcelas de borde e interior): CBA: Carbono en la biomasa aérea, CBS: Carbono en la biomasa subterránea, CN: Carbono en la necromasa y CS: Carbono en el suelo.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número total de individuos, número de individuos promedio por parcela, y número de individuos promedio por hectárea para cuatro especies en parcelas de borde como interior en un parche de <i>Polylepis reticulata</i> , Zhurucay	25
Tabla 2. Valores promedio de altura (m) para cuatro especies en parcelas de borde como de interior en el área de estudio (Zhurucay) y valores p de las comparaciones mediante el test de U de Mann- Whitney ...	25
Tabla 3. Valores promedios, mínimos y máximos de Densidad de individuos, DAP (Diámetro a la altura del pecho) y Área Basal para cuatro especies en parcelas de borde como de interior en un parche de <i>Polylepis reticulata</i> , Zhurucay	27
Tabla 4. Análisis estadístico utilizando la prueba de U de Mann Whitney (p 0,05) para las variables Densidad (N/ha), DAP y Área Basal para las cuatro especies considerando el factor ubicación de las parcelas (Borde vs Interior) en un parche de bosque de <i>P. reticulata</i>	27
Tabla 5. Análisis estadístico utilizando la prueba de U de Mann Whitney (p 0,05) para las medianas de las variables de carbono en la biomasa aérea y de los compartimentos sobre el suelo en parcelas de borde e interior en el parche del bosque de <i>P. reticulata</i>	30
Tabla 6. Análisis estadístico del contenido de carbono en la biomasa subterránea y del carbonó orgánico del suelo en parcelas de borde e interior en el parche del bosque de <i>P. reticulata</i> mediante la prueba de U de Mann- Whitney	34
Tabla 7. Resumen de medias del contenido de carbono almacenado (Tm/ha) en cada uno de los compartimentos.....	35

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Medición del DAP en árboles bifurcados.....	46
Anexo 2. Medición del DAP cuando presenta deformaciones a 1.30 m	46
Anexo 3. Medición del DAP en árboles inclinados: A): en terreno llano y B): en terreno inclinado.....	46
Anexo 4. Determinación del peso fresco del carbono sobre el suelo que comprende necromasa (materia muerta) y herbáceas (materia viva); y secado de las muestras tomadas en campo	47
Anexo 5. Pesaje de biomasa subterránea	47
Anexo 6. Aplicación del método de calcinación.....	48
Anexo 7. Secado y Medición del volúmen de fragmentos rocosos.....	48

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva

Ksat: Conductividad eléctrica saturada

DAP: Diámetro a la altura del pecho

H: Altura

BT: Biomasa total

COS: Carbono orgánico del suelo

Pb: Densidad aparente

Prof: Profundidad del horizonte

Frag: Volumen porcentual de fragmentos rocosos

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo Marcia Karina Puma Fernández en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Contenido de carbono almacenado en biomasa de árboles y en el suelo en un parche del bosque del género *Polylepis* en Zhurucay, provincia del Azuay", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 27 de julio de 2022



Marcia Karina Puma Fernández

C.I: 0104608161

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo Marcia Karina Puma Fernández, autora del trabajo de titulación "Contenido de carbono almacenado en biomasa de árboles y en el suelo en un parche del bosque del género *Polylepis* en Zhurucay, provincia del Azuay", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 27 de Julio de 2022



Marcia Karina Puma Fernández

C.I: 0104608161

Agradecimientos

A la Dra. Ximena Palomeque mi directora de tesis, por su colaboración durante todo el proceso de esta investigación, al Ingeniero Franklín Marín, al Blgo. Aldemar Carabajo, al Ing. Alberto Macancela, al Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, a mis hermanos Paúl y Camila, mis primas Génesis y Doménica y a mi abuelo Emiliano, que me ayudaron en las salidas de campo.

Dedicatoria

A mi madre y hermanos que fueron mi apoyo e inspiración.

1. INTRODUCCIÓN

En general los bosques suministran servicios valiosos como la estabilización del clima, la protección de las cuencas, la conservación de la biodiversidad (Franquis & Infante, 2003). También, ofrecen otros servicios como: la acumulación de materia orgánica asociada a la fertilidad de los suelos, la regulación hídrica y el secuestro de carbono (Fjeldså & Kessler, 2004; Tejedor, y otros, 2012).

Los parches de bosques de *Polylepis*, son un ecosistema único de los Andes con adaptaciones especiales, que les permite hacer frente a las condiciones adversas del medio andino (Mena & Hofstede, 2006). El género *Polylepis* presenta rasgos morfológicos, por ejemplo a nivel de la corteza, de las hojas (Larcher, 2003), las mismas que varían en formas y presencia de pubescencia para hacer frente a las temperaturas bajas (Colmenares, Rada, & Luque, 2005; Ely, Torres, & Gaviria, 2005; Toivonen, 2014; Wright et al., 2017), o fisiológicos como por ejemplo, la baja transpiración (Azocar, Rada, & García, 2007; Macek, Macková, & De Bello, 2009; Wright et al., 2017). Por otro lado, varios autores indican que el microclima en la vegetación, puede facilitar la supervivencia y el crecimiento de las especies (Körner, 2003; Azocar, Rada, & Garcia, 2007; Ramos, Buitrago, Pulido, & Vanegas, 2013; Toivonen, 2014), por lo que, se espera que árboles con mayor exposición al viento y a las variaciones de temperatura propias del borde puedan tener una respuesta diferente en términos de crecimiento, y por tanto repercutir en la capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa aérea y a nivel del suelo con respecto a los árboles con menor exposición, localizados en el interior (Laurance W. , 2004; Ramos, Buitrago, Pulido, & Vanegas, 2013). Dado lo anterior, en esta investigación, se planteó caracterizar las variables dasométricas y estimar el carbono en la biomasa aérea y en el suelo en parcelas de borde e interior de un parche de *Polylepis*, de modo que la información generada en este estudio contribuirá para programas de manejo y conservación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Determinar el contenido de carbono almacenado en biomasa de árboles y en el suelo en un parche del bosque del género *Polylepis* en Zhurucay, provincia del Azuay

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las variables dasométricas de los árboles en el parche de *Polylepis* en parcelas ubicada al interior y borde del parche de bosque.
- Estimar el contenido de carbono almacenada en la biomasa aérea y a diferentes profundidades del suelo al interior y al borde del parche de bosque

3. HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis Estadística

El contenido de carbono en los componentes de biomasa aérea y a diferentes profundidades de suelo difiere del interior del bosque con respecto al borde del parche del bosque de *Polylepis*

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Características generales y morfológicas

El género *Polylepis* pertenece a la familia Rosaceae (Pavón & Ruíz, 1794), se han descrito 27 especies de este género (Mendoza & Cano, 2011), de las cuales, en Ecuador, se han encontrado siete especies nativas, *P. incana*, *P. lanuginosa*, *P. microphylla*, *P. pauta*, *P. sericea*, *P. weberbaueri* y *P. reticulata* (Romoleroux, 2006), de estas, solamente *P. lanuginosa*, y *P. reticulata*, son endémicas (Montalvo et al., 2018). Esta última ha sido catalogada como vulnerable a la extinción (Alvites et al., 2019). Dentro de su descripción botánica, se conoce que *P. reticulata* puede tener entre 4 y 8 m de altura, pero puede llegar a medir hasta 15 m de altura (Pinos, 2015), presenta hojas compuestas de 2 a 4 pares de folíolos, con su raquis que posee entrenudos afelpados, el tamaño de las hojas por lo general es de 1.2 cm a 5 cm de ancho y de 1 cm a 4 cm de largo. Sus inflorescencias se caracterizan por tener racimos simples de 2 cm a 10 cm de largo con 4 a 10 flores de color verde, cada una de estas mide alrededor de 5 mm a 7 mm de largo. Los frutos son drupáceos, compuestos por espinas allanadas y desiguales, cada fruto tiene un ancho entre 0.2 a 0.8 cm y un largo entre 0.3 a 0.9 cm (Simpson, 1979; Tinoco, Astudillo, Latta, Strubbe, & Graham, 2013; Mendoza & Cano, 2011).

4.2 Distribución de los bosques de *Polylepis* en una variedad de condiciones

Las especies del género *Polylepis* se encuentran en la zona tropical andina, pues se tiene registros de su presencia desde los 1800 m s.n.m en Argentina hasta los 5200 m s.n.m en el altiplano boliviano (Simpson, 1979). Su distribución es amplia, pues empieza en Venezuela y termina en Argentina. Su desarrollo se limita a quebradas, fondo de valles y laderas rocosas, tanto en ambientes secos como húmedos. Su crecimiento está limitado a las variaciones ambientales de la precipitación y temperatura (Luckman & Boninsegna, 2001).

Las condiciones de temperatura, precipitación, efectos de los vientos, intensa radiación ultravioleta y características de los suelos (Luteyn, Cleef, & Rangel, 1992), son los responsables de adaptaciones morfológicas y fisiológicas en especies del género *Polylepis* (Körner, 2003). Este género es capaz de llevar a cabo sus funciones biológicas a temperaturas del suelo muy bajas como 4 °C (Hoch & Körner, 2005). El rango de precipitación donde se desarrollan estos bosques

es muy amplio, desde 250 hasta 2,000 mm anuales que se distribuyen durante 6-7 meses (Lao, Zevallos, & Cruz Silva, 1990).

Crece en una amplia gama de suelos (Lao, Zevallos, & Cruz Silva, 1990), y estos se caracterizan por ser un verdadero sumidero de carbono. Debido a, las bajas temperaturas, la descomposición de la materia orgánica es lenta (Llambi, Soto, Celleri, Ochoa, & Borja, 2012). En consecuencia, la mineralización y reciclaje de nutrientes es baja (Fernández, Mercado, Arrazola, & Martínez, 2001).

4.3 Importancia de los bosques de *Polylepis* para mantener servicios ecosistémicos

Según, Zutta et al. (2012) y Fernández et al. (2001) estos bosques cumplen un rol importante en la función hidrológica debido a, su capacidad de retención y regulación del agua (Fjeldså & Kessler, 1996; Kessler, 2006). Cabe destacar que, gracias a su cobertura vegetal, los bosques protegen el suelo contra la erosión, incluso no solo producen materia orgánica, sino que también, retienen sedimentos, nutrientes y fijan carbono (Fjeldså & Kessler, 1996). Los bosques del género *Polylepis* pueden fijar hasta 2 Tm/ha/año de carbono (Hofstede & Aguirre, 1999).

4.4 Carbono en la biomasa de los bosques del género *Polylepis* y en el suelo

Los bosques andinos actúan como, fuertes sumideros de carbono en los diferentes compartimentos del suelo (Duque et al., 2021) y destaca su gran capacidad para fijar carbono en sus estructuras leñosas (Trugman, Medvigy, Hoffmann, & Pellegrin, 2018). En el caso de un bosque de *Polylepis incana* con rodales de 6, 15, 30 años y bosque maduro sin edad conocida, se ha encontrado valores desde los 90 a 365.6 Tm/ha en biomasa aérea dentro de la localidad de Pifo, perteneciente a la provincia de Pichincha (Fehse et al., 2002). De igual manera, en el estudio de Calderón & Lozada (2010) se registraron valores desde 0.0087 a 20.55 Tm/ha para *Polylepis incana* a los 2 y 17 años de edad y de 0.00869 a 9.18 Tm/ha para *Polylepis reticulata* a los 2 a 8 años de edad. Por otro lado, Pacheco (2015) reportó en *Polylepis reticulata* un valor promedio de 51.28 Tm/ha correspondiente a biomasa aérea y un valor de 7.49 Tm/ha para biomasa foliar dentro del Parque Nacional El Cajas. Los valores obtenidos en este estudio están relacionados con la zona; pues se trata de un área destinada a la producción y conservación de la flora y fauna,

y en segundo lugar tiene que ver con la densidad de árboles. En cuanto al carbono almacenado en *Polylepis racemosa* en el páramo de Jambinachi es de 719.81 Tm/ha/año, del cual el 99.81% pertenece a carbono almacenado en el suelo y solo el 0.11% a la biomasa viva, biomasa muerta y de raíces (Guachamín, 2017). El carbono fijado en la biomasa de raíces finas para un bosque de *Polylepis incana* en el valle del Mantaro, perteneciente a la región Junín presentó un valor medio de 19.86 Tm/ha, destacando que la mayor concentración se dio en el estrato: 0–10 cm, por otra parte, en el suelo a una profundidad de 50 cm reportó una media de 77.2 Tm/ha (Zanabria & Cuellar, 2015); esto se debe a que la fijación de carbono está influenciada por factores como, la precipitación, temperatura y características del suelo como, textura, estructura, pH, nutrientes presentes y profundidad.

En el departamento de Ancash, perteneciente a Perú en el bosque de *Polylepis sp.*, Tacarpo (2018) reportó 14.266 Tm/ha de biomasa subterránea, 6.791 Tm/ha en la biomasa de hojarasca y 321.982 Tm/ha en el suelo. Los valores obtenidos estuvieron relacionados con la especie, el clima, la fertilidad de los suelos; además, de la altitud y latitud. En el estudio de Bernardo & Parodi (2017) en plantaciones de la comunidad campesina de Paccha, Huancayo – Junín se registró 0.0749, 1.60 y 104.68 Tm/ ha correspondientes a necromasa, raíces y suelo respectivamente para *Polylepis incana* Kunth.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Descripción y ubicación del sitio de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el Observatorio Ecohidrológico Zhurucay de la Universidad de Cuenca, donde existe un parche de bosque de *Polylepis* de 1.56 ha, que se encuentra a 3800 m s.n.m., entre las coordenadas UTM 694,700 m – 697,700 m (X), 9`658,750 m – 9`662,500 m (Y) (Fig.1), con pendientes que varían de 10 a 50%. La especie vegetal dominante es *Polylepis reticulata*, acompañada de otras especies leñosas como: *Escallonia myrtilloides*, *Oreopanax sp.*, *Weinmannia sp.*, *Gynoxys sp.*, *Valeriana sp.*, entre otros.

El lugar de estudio tiene un clima frío y húmedo influenciado tanto por el pacífico como el atlántico (Crespo et al., 2011). La precipitación media anual es de 1300 mm (Ochoa, Crespo, Carrillo, Marín, & Celleri, 2020), con una estación lluviosa en los meses de enero a julio. La temperatura media anual es de 6 ° C (máx. = 14,2 ° C, mín. = 0,4 ° C) y la humedad relativa es del 93,6% (Córdova, Bogerd, Smeets, & Carrillo, 2020). Con respecto a la radiación solar, tiene valores de 1.4 kWm⁻² (Padrón, 2013) y la velocidad del viento presenta un valor promedio de 3 ms⁻¹ durante el período octubre-abril y con 4.5 ms⁻¹ en el período mayo-septiembre (Padrón et al., 2020). La tasa de evapotranspiración actual anual es de 622 mm (Ochoa, Crespo, Carrillo, Sucozhañay, & Célleri, 2019).

Los tipos de suelo predominantes sobre los que generalmente se desarrolla en el bosque de estudio son: Andosoles que cubren el 72 % de la superficie y en menor proporción los Histosoles que poseen alto contenido de materia orgánica (Quichimbo et al., 2012). La Ksat (conductividad eléctrica saturada) presenta un promedio de 1.19 cm h⁻¹, y la retención de agua presenta valores desde 0.498 cm³ hasta 0.842 cm³. El pH presenta un valor promedio de 4.72, y finalmente la CICE (Capacidad de intercambio catiónico efectiva) varía entre 4.18 a 14.23 meq 100 ml⁻¹ y un promedio de 8.01 meq 100 ml⁻¹ (Cárdenas, 2014).

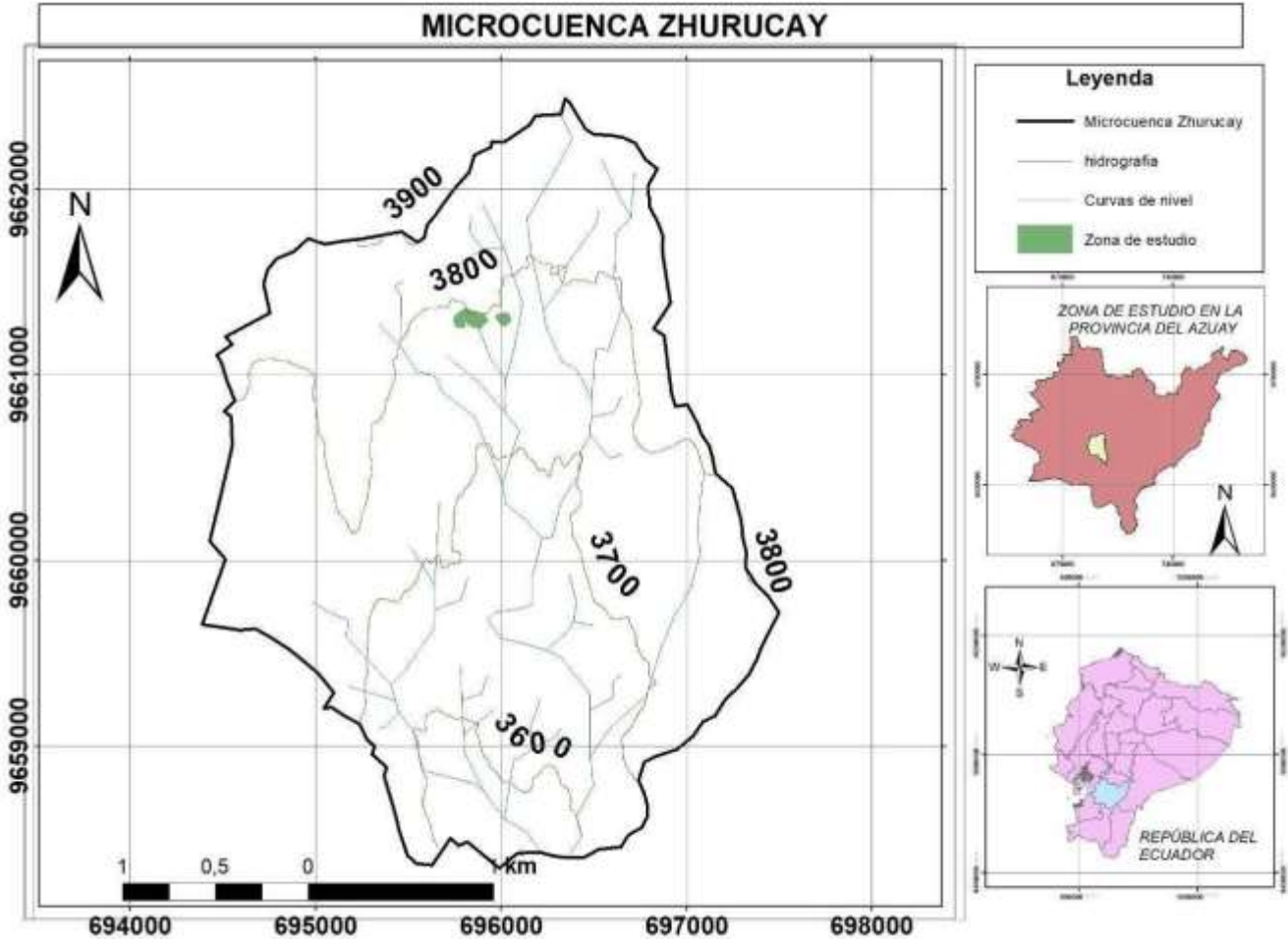


Figura 1. Ubicación del área de estudio (Zhurucay), en la provincia del Azuay

Elaboración: Puma Karina

5.2 Tamaño y forma de las unidades de muestreo

En el parche de *Polylepis* en Zhurucay, se establecieron ocho parcelas permanentes al azar de 20 x 20 m (400 m²), distribuidas 4 al interior y 4 al borde del bosque (Fig. 2). Se denomina interior aquellas parcelas cuyos árboles están protegidos contra el viento, mientras que las parcelas de borde, son aquellas que están expuestas al viento. Por parcela se consideró las siguientes variables: número de individuos/ ha, diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1,30 m y altura de cada árbol. Dentro de cada parcela se instalaron tres subparcelas, esto para determinar la cantidad de carbono almacenado en la necromasa, raíces y en el suelo.

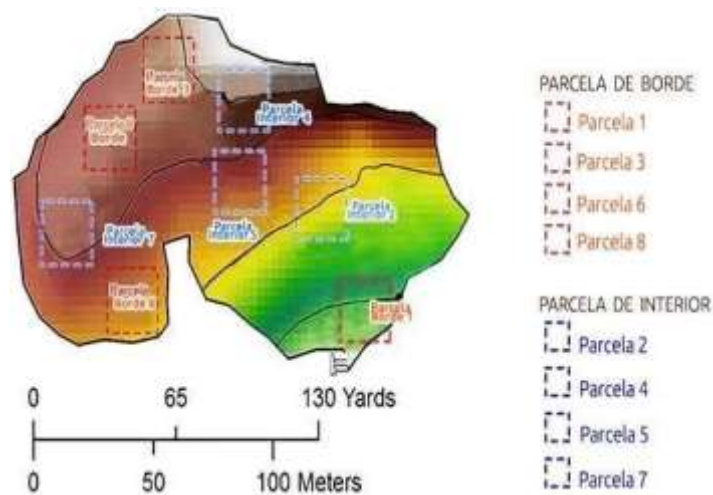


Figura 2. Disposición de las parcelas en el borde y al interior del parche de bosque de *Polylepis* en Zhurucay

Elaborado por: Aldemar Carabjo **y modificado por:** Puma Karina

5.3 Estimación del contenido de carbono en la biomasa aérea

Para estimar la biomasa aérea se midió las variables dasométricas: DAP y altura total. Los individuos analizados fueron aquellos que tuvieron un DAP ≥ 5 cm. De acuerdo con Robertson (2016), en el caso de que el árbol se bifurque por debajo de los 1.30 m, se consideró como dos individuos diferentes y se midió el DAP en cada fuste; pero si se bifurca en o por encima de los 1.30 m, se lo consideró como un individuo (Anexo 1). Cuando presentaron deformaciones a la altura de 1.30, se realizó dos mediciones, una que sería bajo y la otra sobre la altura de 1.30 m (Anexo 2). En el caso de que árboles inclinados en terreno plano se midió el DAP en el lado hacia donde se inclina el árbol; y si el terreno es inclinado se realizó la medición por la parte superior de la pendiente (Anexo 3).

Para calcular el carbono almacenado se consideró a la especie dominante *P. reticulata*, y se aplicó la ecuación alométrica propuesta por Chave et al. (2014), y para ello se necesitó calcular la densidad específica de la madera a partir de seis muestras de ramas que correspondieron a las distintas clases diamétricas del rodal (una por cada clase), de acuerdo a Swenson & Enquist (2008). Cada rama fue cortada en dos o tres secciones dependiendo del tamaño: 1) a nivel de la base, 2) a la mitad y la 3) en el otro extremo, y en estas se midió la longitud y se calculó el área para determinar el volumen. Para obtener el peso seco se sometieron las muestras a una temperatura de 80°C por 48 horas (Chave, 2005), los valores del peso seco se dividió para el volumen para obtener la densidad (Valencia & Vargas, 1997).

Una vez obtenidos los valores antes mencionados se procedió a obtener la biomasa en el componente arbóreo utilizando la siguiente ecuación:

$$Biomasa\ aérea = 0.0673 (\rho \times DAP^2 \times H)^{0.976}$$

ρ = densidad específica de la madera expresada en g/cm^3

DAP² = Diámetro a la altura del pecho (cm)

H= Altura (m)

Constante: 0.0673

Mediante la sumatoria de los diferentes individuos registrados se determinó la biomasa por individuo y por parcela, estos valores fueron expresados en Tm/ha. Finalmente, para determinar la cantidad de carbono en la biomasa aérea se calculó a partir de los datos de biomasa aérea (en Tm/ha) y del coeficiente de conversión (K) 0.5, que establece el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006).

5.4 Determinación del contenido de carbono en el suelo

Dentro de cada parcela establecida, se instaló tres calicatas de 0.25 m² x 90 cm de profundidad para la determinación de carbono en el suelo en diferentes profundidades que cubren varias componentes de suelo: 1) Necromasa (hojarasca + vegetación herbácea) 2) Biomasa suelo: 2.1 Propio de suelo y 2.2 raíces de suelo.

5.5 Determinación del contenido de carbono sobre el suelo

Para determinar la cantidad de necromasa (materia muerta) y materia viva (herbáceas) se estableció tres subparcelas de 0.5 m x 0.5 m en cada parcela, luego se procedió a la recolección de todo el material. Se tomó los datos del peso fresco en campo y solo el 10 % fue llevado al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, donde dichas muestras fueron sometidas a una temperatura de 65 °C por 72 horas para obtener su peso seco (Anexo 4).

De modo que, para obtener el valor de la biomasa total se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Biomasa total (BT)} = \frac{\text{peso seco submuestra}}{\text{peso humedo submuestra}} \times \text{peso fresco total}$$

Luego, para estimar el contenido de carbono almacenado se multiplicó el valor de la biomasa por el valor constante de conversión 0.5 (IPCC, 2014)

5.6 Biomasa subterránea (raíces finas)

Cada muestra fue tomada a una profundidad de 0-10, 10-30, 30-60 y 60-90 cm de profundidad, se consideró dos repeticiones por cada profundidad. Para la separación de raíces se utilizó el método flotación, posteriormente estas muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos para determinar su peso seco a 65°C por 72 horas (Macdicken, 1997) (Anexo 5). Luego, se multiplicó el peso seco de biomasa por la fracción de carbono y este fue extrapolado a hectárea.

5.7 Carbono orgánico en el suelo (COS)

Se evaluaron 3 calicatas en cada una de las parcelas anidadas de 20 x 20 m. Para conocer los cambios en el contenido de carbono, se extrajeron muestras de suelo en cuatro niveles (0 – 10; 10-30; 30 – 60 y 60 – 90 cm).

Para determinar el contenido de carbono orgánico por unidad de volumen de suelo, se utilizó el método de calcinación (Davies, 1974), para lo cual fue necesario conocer la densidad aparente del suelo. Para esto se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido

Se usó un cilindro de volumen conocido, luego se expuso: la muestra a 105 grados centígrados por 24 horas para obtener su peso seco y se calculó la densidad aparente.

Posteriormente se colocó 10 gramos de muestra seca en la mufla por un tiempo de 8 horas a 400 grados centígrados (Anexo 6). Para terminar, se calculó la diferencia de peso entre las medidas antes y después de calcar. Luego, se expresó esta diferencia de peso en porcentaje (%), con respecto al peso inicial de la muestra (seca a 105 °C), lo que corresponde al porcentaje de materia orgánica presente en la muestra de suelo.

Finalmente, el contenido de materia orgánica se multiplicó por el factor de Van Bemmelen de 1.724 para obtener el contenido total de carbono orgánico del suelo.

La estimación del contenido de carbono del suelo se obtuvo mediante la siguiente fórmula (Rügnitz , Chacón , & Porro, 2009).

$$\text{COS} = [\text{COS}] \times \rho_b \times \text{Prof} \times (1 - \text{frag}) \times 10$$

Dónde:

COS: Contenido de carbono orgánico del suelo, representativo del tipo de uso de este (Tm/ha).

[COS]: Concentración de carbono orgánico del suelo para una determinada masa de suelo obtenida del análisis de suelo del laboratorio (g kg^{-1} de suelo).

Pb: Densidad aparente, masa de suelo por volumen de muestra (kg/m^3)

Prof: Profundidad del horizonte o espesor de la capa del suelo en metros (m).

Frag: Volumen porcentual de fragmentos gruesos/100, sin dimensiones.

5.8 Determinación de fragmentos rocosos

De las muestras inalteradas del suelo se determinó el contenido de fragmentos rocosos, cantidad y peso seco de las raíces.

Luego de determinar la densidad aparente, se utilizó la muestra para obtener los fragmentos rocosos que se refiere a la fracción > 2 mm. Para esto la muestra fue disgregada y lavada en un tamiz No. 10 con malla de 2 mm. Se obtuvo su peso seco a 105° C por 24 horas y se determinó el volumen de los fragmentos rocosos en una probeta con agua que corresponde al volumen de agua desplazado (Anexo 7).

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el primer objetivo se realizó un análisis descriptivo por cada especie y variable dasométrica. Además, se calculó las medias y se realizó las respectivas gráficas, considerando el factor ubicación de parcelas (borde vs interior).

Para el segundo objetivo se procedió a representar los resultados en boxplots por cada compartimento, siendo el eje comparativo la ubicación de las parcelas (Factor del diseño) y las variables de respuesta fueron el carbono estimado tanto en la parte aérea como en los diferentes compartimentos del suelo. Se efectuó una prueba no paramétrica de U de Mann Whitney ($p < 0,05$).

Todo el análisis estadístico y los gráficos se lo realizó en el programa estadístico R (Core Team 2019) (Peres & Braak, 2016), usando la librería: ggplot2 (Wickham, 2016).

7. RESULTADOS

Objetivo 1

Caracterizar las variables dasométricas de los árboles en el parche de *Polylepis* en parcelas ubicada al interior y borde del parche de bosque.

Para los tres géneros de *Polylepis*, *Escallonia* y *Gynoxys*, presente en las parcelas de borde e interior se registraron un total de individuos de 477, siendo *Polylepis reticulata*, la especie con mayor número de individuos (234), aunque se registró un incremento de individuos en las parcelas de borde (132) con respecto a las parcelas del interior (102). Estos resultados también, se ven reflejados a nivel de individuos promedio por hectárea, donde se reportó el mayor valor de 825 en parcelas de borde que en el interior con 637.5 individuos/ha. La segunda especie más abundante fue *E. myrtilloides* con un total de 115 individuos, con mayor número registrado en parcelas del interior (72) que el borde (43), y en términos de número de individuos promedio por hectárea se registraron 425 en las parcelas de interior y 268.75 en parcelas de borde. En el caso de las dos especies del género *Gynoxys*, la tendencia fue la misma, y por tanto los valores de número de individuos promedio por hectárea mayores en las parcelas del borde del bosque que en el interior (Tabla 1).

Tabla 1. Número total de individuos, número de individuos promedio por parcela, y número de individuos promedio por hectárea para cuatro especies en parcelas de borde como interior en un parche de *Polylepis reticulata*, Zhurucay.

Especies	Borde			Interior			Total Ind.(Borde + Interior)
	Número total de individuos	Número de individuos promedio/ parcela	Número de individuos promedio/Ha	Número total de individuos	Número de individuos promedio/ parcela	Número de individuos promedio/ Ha	
<i>Polylepis reticulata</i>	132	33	825	102	25.5	637.5	234
<i>Escallonia myrtilloides</i>	43	10.75	268.75	72	14.75	425	115
<i>Gynoxys sp1</i>	35	12	218.75	40	8	200	75
<i>Gynoxys sp2</i>	31	4.5	193.75	22	6.75	137.50	53
Total							477

En cuanto a la variable altura, mostró que no existen diferencias significativas en el borde e interior del bosque por cada especie ($p > 0,05$, Tabla 2). Sin embargo, *P. reticulata* fue la especie que mostró mayor promedio en esta variable en los tipos de parcelas, mientras que, *E. myrtilloides* fue la que presentó menor altura de acuerdo a lo que indica su promedio en los dos tipos de parcelas. La altura promedio de las especies ubicadas en las parcelas internas mostró valores ligeramente superiores a la altura de las parcelas de borde (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio de altura (m) para cuatro especies en parcelas de borde como de interior en el área de estudio (Zhurucay) y valores p de las comparaciones mediante el test de U de Mann- Whitney

Especie	Parcelas	Parcelas	p -valor
	Interior	Borde	
<i>Polylepis reticulata</i>	6.80	7.56	0.48
<i>Escallonia myrtilloides</i>	4.48	3.97	0.56
<i>Gynoxys1</i>	5.12	4.79	0.88
<i>Gynoxys 2</i>	5.69	5.65	0.34

La densidad representada por el número de individuos por ha (N/ha) no presentó diferencias significativas en relación al borde e interior del bosque ($p > 0,05$) en todas las especies (Tabla 4). La especie *P. reticulata* presentó los valores más altos de densidad tanto en parcelas de borde como interior con 875 y 612.50 individuos/ha respectivamente, mientras que la especie *E. myrtilloides* tuvieron menores valores con respecto a la primera especie, con valores de 262.50 en parcelas de borde y 387.50 individuos/ha en parcelas del interior del bosque. En contraste, las dos especies del género *Gynoxys* tuvieron el mismo patrón de tener valores similares, es decir mayor cantidad de individuos/ha en parcelas de borde que del interior (Tabla 4).

En cuanto a la variable de DAP no presentó diferencias significativas en relación al borde e interior del bosque ($p > 0,05$) en todas las especies (Tabla 4). La especie *P. reticulata* presentó los valores más altos tanto en las parcelas de borde como de interior con 20.07 y 23.67 cm, respectivamente; con respecto a las otras especies, *E. myrtilloides* presentó valores menores en parcelas de borde e interior con 12.39 y 15.15 cm respectivamente (Tabla 4). Por otro lado, las dos especies del género *Gynoxys* tuvieron valores menores en las parcelas de borde que en las parcelas de interior (Tabla 4).

La variable área basal no presentó diferencias significativas en relación al borde e interior del bosque ($p > 0,05$) en todas las especies (Tabla 4). *P. reticulata* presentó un mayor valor tanto en parcelas de borde como de interior con valores de 37.17 y 35.81 m²/ha, respectivamente (Tabla 4). La especie *E. myrtilloides* presentó valores menores que la especie anterior con 5.93 m²/ha en las parcelas del borde y de 9.38 m²/ha en las parcelas del interior (Tabla 4). Las dos especies de *Gynoxys*, presentaron valores promedio más bajos tanto en las parcelas de borde con valores menores a 5.08 m²/ha con respecto a las demás especies (Tabla 3).

Tabla 3. Valores promedios, mínimos y máximos de Densidad de individuos, DAP (Diámetro a la altura del pecho) y Área Basal para cuatro especies en parcelas de borde como de interior en un parche de *Polylepis reticulata*, Zhuruca

Ubicación de parcelas	Especie	Densidad N°/ha (min – max)	Promedio DAP (cm) (min – max)	Promedio Área Basal m ² /ha (min – max)
Borde	<i>Polylepis reticulata</i>	825 (325-1225)	21 (5-50.25)	36.86 (31.93-42.15)
Interior		637.50 (475-850)	24.17 (5.50-70.40)	38.15 (30.9-49.75)
Borde	<i>Escallonia myrtilloides</i>	268.75 (50-500)	13.78 (5-50.30)	6.65 (1.38-13.34)
Interior		425 (375-550)	15.29 (5.20-59.10)	10.92 (8.35-16.57)
Borde	<i>Gynoxys sp1</i>	218.75 (100-425)	13.94 (5.35-38.80)	4.12 (0.94-7.54)
Interior		200 (150-325)	15.01(5.80-28.40)	4.05 (2.23-5.73)
Borde	<i>Gynoxys sp2</i>	193.75 (50-525)	16.77 (5.30-38.50)	5.08 (0.29-16.8)
Interior		137.50 (25-350)	16.44 (5.30-44.30)	2.42 (0.36-5.51)

Nota: El área basal y el número de árboles presentes fue calculado en un área de 400 m² y extrapolado a una superficie de 1 ha.

Tabla 4. Análisis estadístico utilizando la prueba de U de Mann Whitney (p 0,05) para las variables Densidad (N/ha), DAP y Área Basal para las cuatro especies considerando el factor ubicación de las parcelas (Borde vs Interior) en un parche de bosque de *P. reticulata*

Especie	Mediana de las parcelas de interior	Mediana de las parcelas de borde	p - valor
	Densidad (N/ha)	Densidad (N/ha)	
<i>Polylepis reticulata</i>	612.50	875	1
<i>Escallonia myrtilloides</i>	387.50	262.50	1

<i>Gynoxys1</i>	162.50	175	1
<i>Gynoxys 2</i>	87.5	100	1
Especie	DAP (cm)	DAP (cm)	p -valor
<i>Polylepis reticulata</i>	23.67	20.07	0.49
<i>Escallonia</i>	15.15	12.39	0.69
<i>myrtilloides</i>			
<i>Gynoxys1</i>	14.72	13.64	0.69
<i>Gynoxys 2</i>	14.70	12.43	0.69
Especie	Área Basal	Área Basal	p -valor
	(m2/ha)	(m2/ha)	
<i>Polylepis reticulata</i>	35.81	37.17	1
<i>Escallonia</i>	9.38	5.93	0.2
<i>myrtilloides</i>			
<i>Gynoxys1</i>	3.60	3.99	1
<i>Gynoxys 2</i>	3.54	1.62	1

Objetivo 2

Estimar el contenido de carbono almacenada en la biomasa aérea y a diferentes profundidades del suelo al interior y al borde del parche de bosque

Los resultados mostraron que el carbono estimado a nivel de la biomasa aérea fue superior en las parcelas del borde con una mediana de 84.17 Tm/ha, mientras que en las parcelas de interior fue de 66.24 Tm/ha. De acuerdo al análisis estadístico se mostró que no hay diferencias significativas (Tabla 5). Sin embargo, se observa una gran variación en las parcelas del interior (Figura 3).

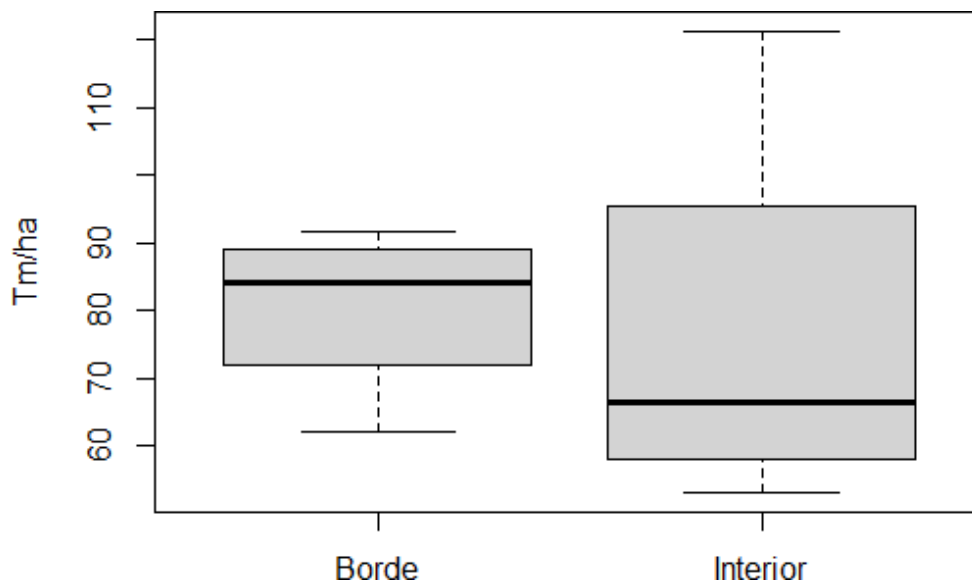


Figura 3. Boxplot del carbono almacenado en la biomasa aérea (Tm/ha) en parcelas de borde e interior en el parche de *Polylepis reticulata* en Zhurucay, n=4 al borde y 4 al interior.

Carbono sobre el suelo

Para los contenidos de carbono sobre el suelo, de materia viva (conformada por herbáceas) y de necromasa (materia muerta) no mostraron diferencias significativas (Tabla 5). Los resultados mostraron que el valor de la mediana del carbono almacenado en la materia viva fue ligeramente superior en las parcelas de borde 16.96 Tm/ha en comparación con las parcelas de interior con 14.05 Tm/ha (Figura 4) (Tabla 5). En cuanto al carbono estimado en la materia muerta, los valores son superiores en las parcelas del interior con 67.01 Tm/ha mientras que en las parcelas de borde presenta tan solo 60.82 Tm/ha (Figura 5); cabe mencionar que se muestra una alta variación en los valores que corresponden a las parcelas de borde (Tabla 5).

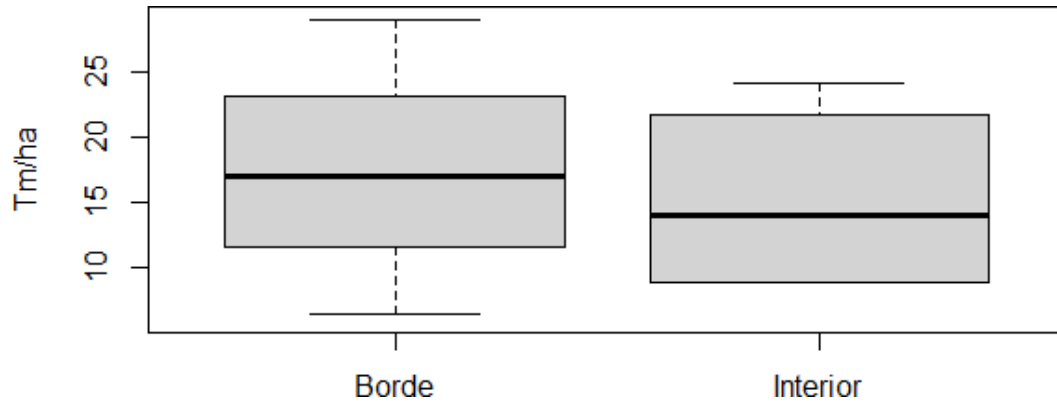


Figura 4. Boxplot del carbono almacenado en la materia viva sobre el suelo en parcelas de borde e interior en el parche de *Polylepis reticulata* en Zhurucay, n=4 al borde y 4 al interior.

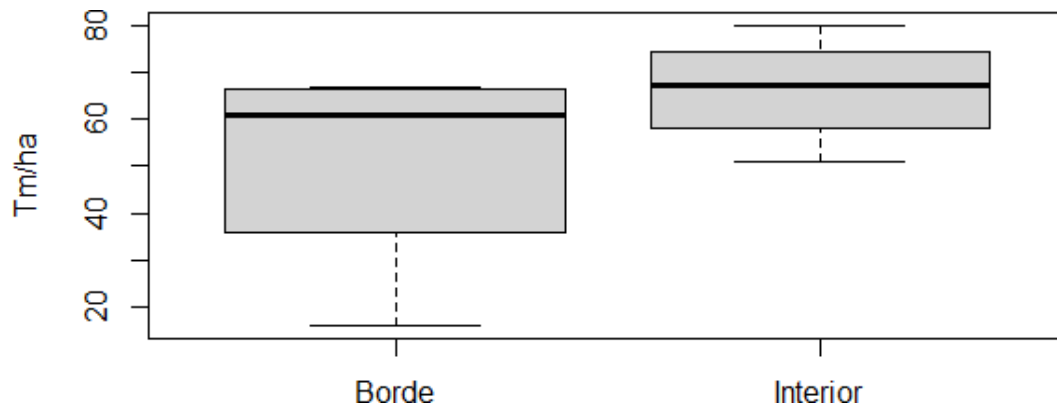


Figura 5. Boxplot del carbono almacenado en la necromasa en parcelas de borde e interior en el parche de *Polylepis reticulata*, n=4 al borde y 4 al interior.

Tabla 5. Análisis estadístico utilizando la prueba de U de Mann Whitney (p 0,05) para las medianas de las variables de carbono en la biomasa aérea y de los compartimentos sobre el suelo

en parcelas de borde e interior en el parche del bosque de *P. reticulata*

	U de Mann Whitney		
	Parcelas de Interior	Parcelas de Borde	p -valor
Carbono en la biomasa aérea	66.24	84.17	0.69
Carbono sobre el suelo			
Carbono de materia viva	14.05	16.96	1
Carbono en la necromasa (materia muerta)	67.01	60.82	0.49

Estimación del carbono en la biomasa subterránea

Los resultados mostraron que los valores de carbono de la biomasa subterránea variaron entre las diferentes profundidades (Figura 6) aunque no se encontraron diferencias significativas entre parcelas de borde e interior (Tabla 6). En la profundidad de 0 a 10 cm se registró mayor carbono que en el resto de profundidades (Figura 6a) y aquí se resalta que las parcelas del interior presentan una alta variación con una mediana 5.97 Tm/ha, mientras que las del borde tienen valores más bajos de carbono (4.34 Tm/ha) (Tabla 6). Para la profundidad de 10 – 30 cm, se encontró que en las parcelas de borde tuvieron una alta variabilidad con una mediana de 4.34 Tm/ha mientras que en las parcelas de interior fueron de 5.11 Tm /ha (Figura 6b). La profundidad de 30-60 cm presentó valores menores a las profundidades anteriores (Figura 6c) con 4.88 Tm/ha en parcelas de interior y 3.74 Tm/ha en parcelas de borde. Finalmente, a la profundidad de 60 – 90 cm tuvieron valores de medianas similares entre parcelas de borde e interior con 2.18 y 2.39 Tm/ha, respectivamente. No obstante, se evidenció una mayor variación en parcelas de borde (Figura 6d).

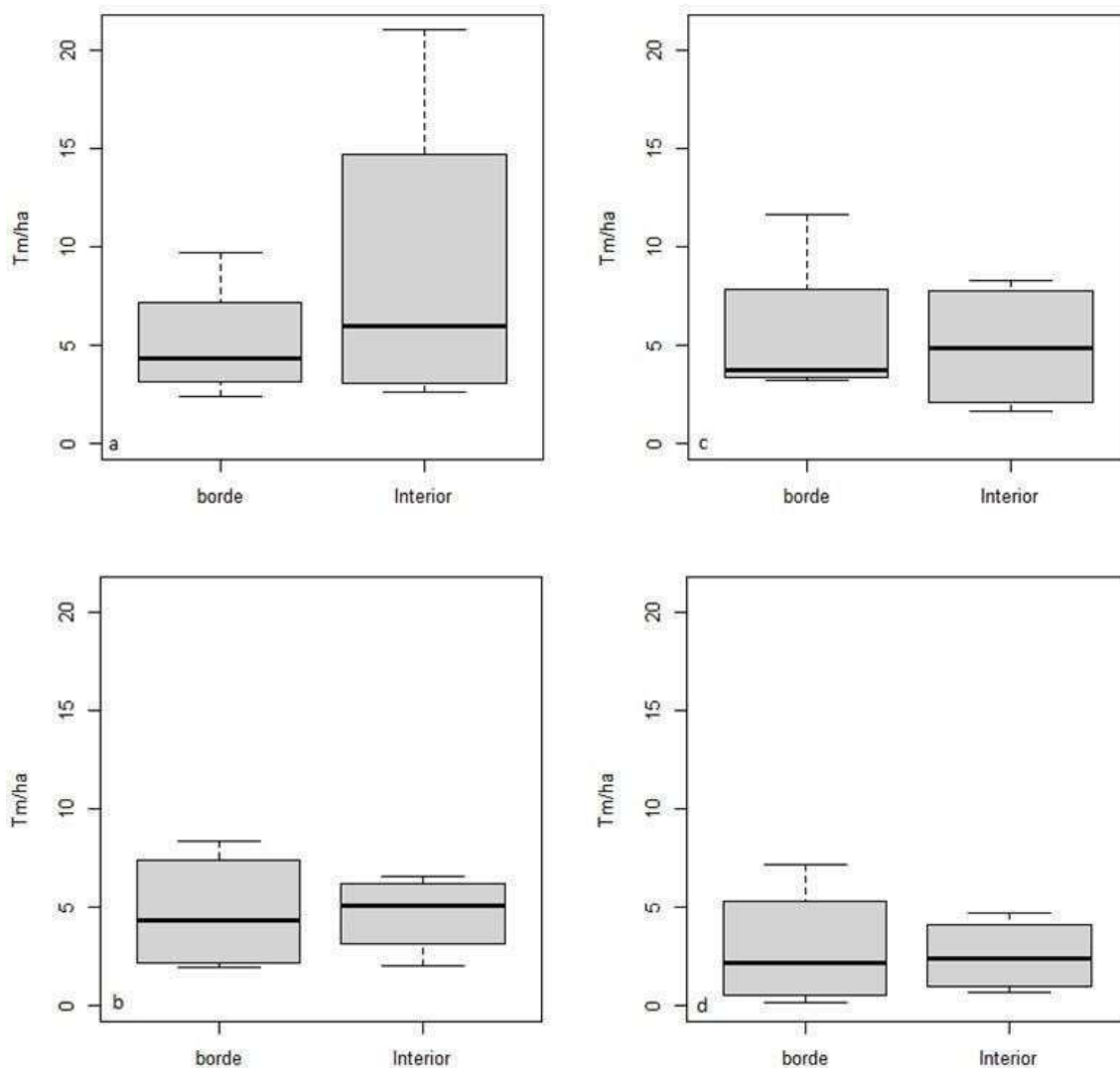


Figura 6 Boxplot del carbono subterráneo almacenado en parcelas de borde e interior a diferentes profundidades (a), 0 a 10 cm (b)10-30 cm, (c)30-60 cm y (d) 60-90 cm, en el parche de *P.reticulata*, Zhurucaay.

Carbono orgánico del suelo (COS)

El carbono orgánico del suelo no presentó diferencias significativas a nivel de borde e interior en cada una de las profundidades del suelo ($p > 0,05$) (Tabla 6). Sin embargo, se registró que el mayor contenido de COS se presentó a la profundidad de 30-60 cm, con un valor de 240.38 Tm/ha en parcelas de borde y 303.48 Tm/ha en parcelas de interior (Tabla 7). La profundidad de 60-90 cm, presentó un menor contenido en relación a la profundidad de 30 -60 cm, en cuanto a la

profundidad de 10-30 cm, se registró valores similares entre parcelas de borde e interior, 206.62 y 207.36 Tm/ha respectivamente (Tabla 7) (Figura 7a).

Finalmente, la profundidad de 0 -10 cm registró el menor contenido que resto de profundidades con valores de 96.44 Tm/ha en parcelas de borde y 116.29 Tm/ha en las parcelas del interior.

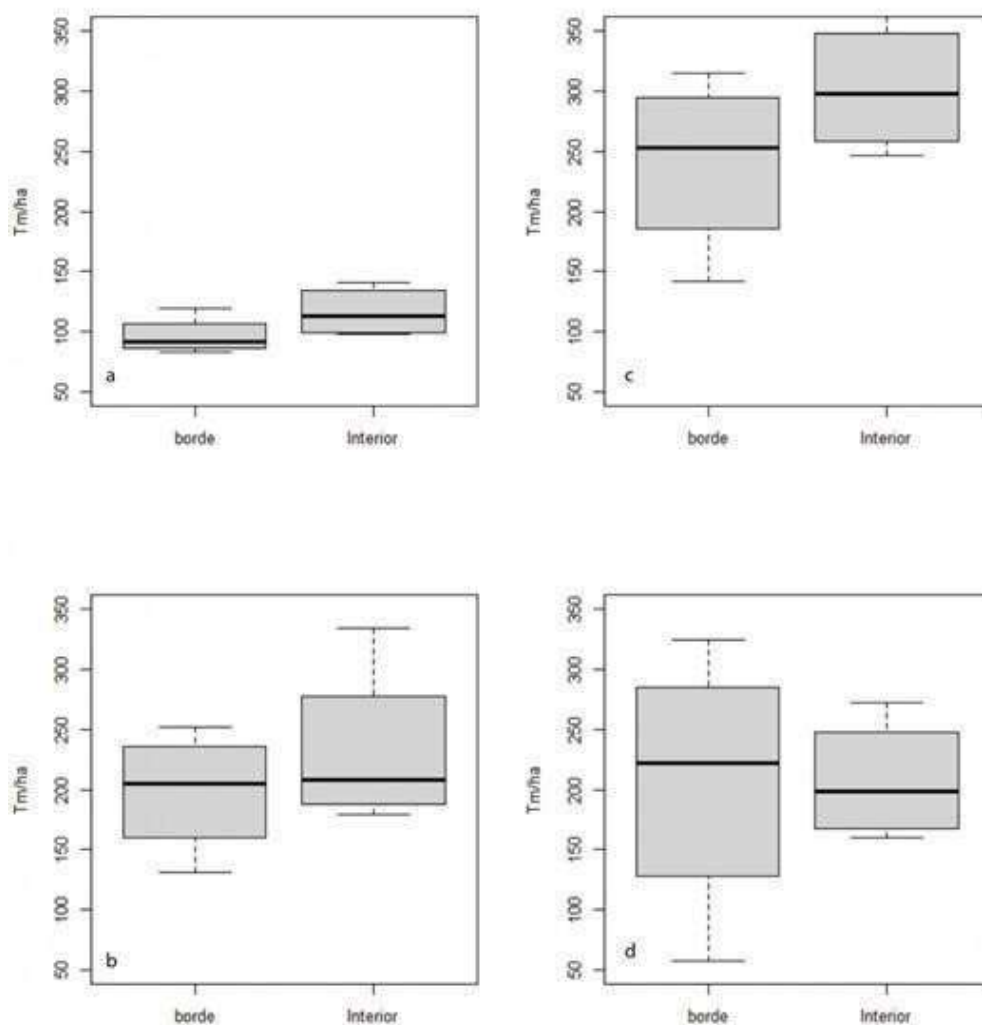


Figura 7. Boxplot del carbono orgánico del suelo en parcelas de borde e interior a cuatro profundidades en diferentes profundidades (a) 0- 10 cm, (b) 10-30 cm, (c) 30-60 cm y (d) 60-90 cm en el parche de *Polylepis reticulata*, Zhurucay

Tabla 6. Análisis estadístico del contenido de carbono en la biomasa subterránea y del carbono orgánico del suelo en parcelas de borde e interior en el parche del bosque de *P. reticulata* mediante la prueba de U de Mann-Whitney

	Profundidad (cm)	Mediana interior	Mediana borde	U de Mann Whitney p -valor
Carbono en la biomasa subterránea	0-10	5.97	4.34	0.89
	10-30	5.11	4.34	1
	30-60	4.88	3.74	0.69
	60-90	2.39	2.18	0.89
Carbono orgánico del suelo	0-10	113.31	91.57	0.11
	10-30	208.30	204.40	0.89
	30-60	298.25	252.80	0.34
	60-90	198.37	222.30	0.89

Contenido de carbono en los diferentes compartimentos

En cuanto al contenido de carbono en los diferentes componentes de almacenamiento, se evidenció que tanto en las parcelas de borde e interior, el carbono orgánico del suelo es el que presentó un valor más alto en relación a los demás compartimentos, con valores de 796.16 Tm/ha en borde y 821.55 Tm/ha en el interior (Figura 8). Por otro lado, se observa que el carbono almacenado sobre el suelo (materia viva y materia muerta) y la biomasa aérea presentó valores similares (Figura 8). Finalmente, el contenido de carbono de la biomasa subterránea (raíces finas) presentaron los valores más bajos en relación a los otros componentes (Figura 8).

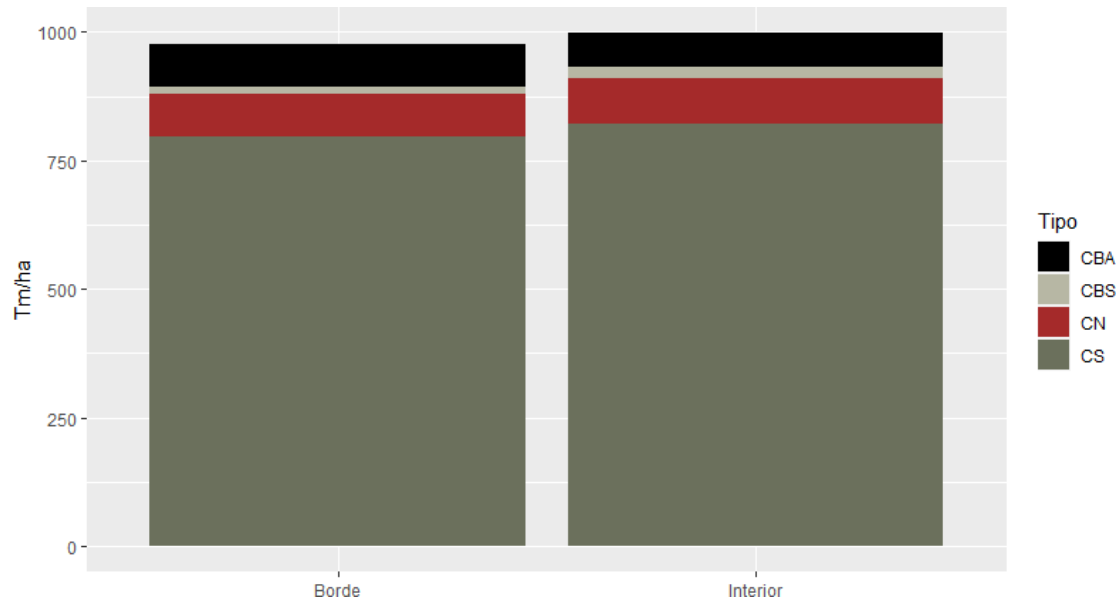


Figura 8. Valores de mediana acumulados de carbono en los cuatro compartimentos obtenidos en parcelas de borde e interior): CBA: Carbono en la biomasa aérea, CBS: Carbono en la biomasa subterránea, CN: Carbono en la necromasa y CS: Carbono en el suelo

Tabla 7. Resumen de medias del contenido de carbono almacenado (Tm/ha) en cada uno de los compartimentos.

Compartimentos	Profundidad (cm)	Media Borde	Media Interior
Carbono de la biomasa aérea		80.50(62.09-91.58)	76.71(52.95-121.41)
Carbono sobre el suelo			
Carbono materia viva		17.35(6.50-28.99)	15.27(8.86-24.12)
Carbono materia muerta		51.17(16.13-66.91)	66.14(50.85-79.69)
Carbono en la biomasa subterránea	0-10	5.19 (2.36-9.70)	8.92 (2.64-21.11)
	10-30	4.76 (1.98-8.40)	4.70 (2.04-6.55)
	30-60	5.59 (3.22-11.66)	4.92 (1.64-8.28)
	60-90	2.93 (0.16-7.18)	2.54 (0.70-4.70)

Carbono orgánico del suelo	0-10	96.44 (83.40-119.22)	116.29 (97.80-140.74)
	10-30	197.93 (131.50-251.43)	232.31 (178.70-333.93)
	30-60	240.38 (141.44-314.47)	303.48 (246.54-370.89)
	60-90	206.62 (57.60-324.28)	207.36 (160.37-272.32)

Nota: Los valores entre paréntesis son los valores máximos y mínimos en cada uno de los compartimentos

8. DISCUSIÓN

Los resultados indicaron que para la mayoría de variables analizadas como son la altura, diámetro, densidad no presentaron diferencias entre las parcelas de borde e interior, esto puede explicarse debido a, que el parche del bosque de *P. reticulata* es muy pequeño (1.56 ha), y no revela un efecto entre la posición de las parcelas implementadas en este estudio pues, se conoce que la forma y el tamaño son aspectos importantes para encontrar diferencias en estructura, composición de especies (Santana et al., 2021). En general, los parches de los bosques del género *Polylepis*, por la altitud a la que se encuentran ubicados su dinámica de crecimiento es muy lenta (Pinos, Studholme, Carabajo, & Gracia, 2017) y de acuerdo a observaciones personales los árboles más jóvenes de las especies menos dominantes y con menor altura fueron *E. myrtilloides* y *Gynoxis spp.*, que están presentes principalmente en el borde del parche, indicando que demandan una gran cantidad de luz para su crecimiento (Laurance et al., 2006). También, se pudo encontrar que las especies *E. myrtilloides* y *P. reticulata* tuvieron mayor área basal en las parcelas de interior, esto puede explicarse por la historia de uso del parche, donde las personas priorizaban la extracción de leña de los árboles más accesibles que normalmente se encuentran en el borde. Esto, se ha evidenciado en otros estudios como el realizado por Huiyan (2008), donde indica que los valores de área basal en los sitios de corte fueron menores, debido a, la intensidad y extracción de madera en el borde.

En cuanto a la biomasa aérea encontrada fueron similares entre las parcelas de borde e interior, sin embargo, llama la atención la alta variabilidad encontrada en el interior del parche. Esta alta variabilidad puede ser explicada por las condiciones abióticas como las variables del suelo (pH y densidad aparente), tal como se encontró en un estudio realizado en el páramo de sur de Colombia (Cabrera & Duivenvoorden, 2020); sin duda, la topografía irregular interna del parche podría ocasionar cambios en las variables de suelo y para citar un ejemplo el pH ácido puede afectar la disponibilidad de nutrientes (Kochian, Hoekenga, & Piñeros, 2004). Por otro lado, los resultados del carbono estimado en la biomasa aérea en el parche de bosque de *Polylepis* tuvo un rango entre 60 y 90 Tm/ha, mientras que en otros estudios en *P. incana*, en el páramo del norte en la localidad de Pifo, en la provincia de Pichincha se obtuvo un promedio total de biomasa en diferentes edades

de los rodales que va desde los 90 a 365.6 Tm/ha (Fehse et al., 2002), valores mayores a los encontrados en nuestro estudio. En el Parque Nacional El Cajas los valores de carbono oscilaron entre 30.74 y 86.7 Tm/ha en las parcelas del parche de bosque dominado por *P. reticulata* (Pacheco, 2015), y en otro estudio realizado por Calderón y Lozada (2010) mencionan que los valores variaron entre sitios y en función de las edades de los rodales de *P. incana*, en las localidades de Pintag y Pilahuin, en las provincias de Pichincha y Tungurahua, cuyos valores variaron desde 0.0087 a 20.55 Tm/ha, que corresponden a edades entre 2 y 17 años; mientras que para *P. reticulata*, varió entre 0.00869 a 9.18 Tm/ha en los mismos sitios entre las edades de 2 a 8 años. La variación en los valores de carbono estaría en función de la edad, el sitio y la densidad de los individuos por hectárea (Quiroz et al., 2021).

Los resultados de carbono sobre el suelo no presentaron diferencias significativas entre parcelas de borde e interior, sin embargo, es notable la variabilidad en la necromasa en las parcelas expuestas al borde. Esto puede explicarse a que algunas parcelas estuvieron más expuestas al viento y a la precipitación horizontal, lo que contribuye al desfronde (caída de materia muerta) y su posterior descomposición, mientras que otras estuvieron más protegidas. Un ejemplo de que existe variabilidad en la distribución de la precipitación dentro del bosque de *Polylepis* ha sido demostrado por la variabilidad de la precipitación efectiva (Suqui, Celleri, Crespo, & Carrillo, 2021). Por lo tanto, la caída de hojarasca será diferente entre sectores del mismo parche. En cuanto al contenido total de necromasa fue mayor en las parcelas del interior, lo cual no concuerda con un estudio realizado en un parche de *Polylepis reticulata* del Parque Nacional El Cajas, en donde se obtuvo mayor contenido de necromasa en parcelas de borde (Pinos, 2015). Con respecto al carbono en la materia viva los valores fueron ligeramente superiores en el borde, esto nuevamente puede ser explicado por la exposición de las parcelas a la acción del viento y la precipitación principalmente en determinadas épocas del año que van desde Enero a Julio (Ochoa, Crespo, & Celleri, 2018).

Para los resultados de carbono en la biomasa subterránea no hubo significancia entre parcelas de borde e interior. Sin embargo, la biomasa de raíces finas disminuyó conforme aumentó la profundidad. En este sentido, en los primeros 10 cm se registró mayor carbono que en el resto de profundidades, estos resultados son coincidentes con el estudio de Monreal et al. (2005), quien menciona una alta concentración de biomasa dentro de los primeros 15 cm en un sistema con vegetación forestal; esto se debe a que en las capas superficiales se concentran la actividad

microbiana (Babujia, Hungria, Franchini, & Brookes, 2010), y la densidad aparente del suelo es menor en estos estratos superficiales.

Además, la mayor cantidad de carbono de la biomasa subterránea presente en los primeros 10 cm también, puede deberse a que es la zona donde se desarrolla la mayor cantidad de raíces, principalmente del sotobosque y también, porque se consideró en esta variable las raíces finas.

El carbono orgánico del suelo no presentó diferencias significativas entre la localización de parcelas. A la profundidad de 30- 60 cm fue donde mayor carbono se encontró tanto en parcelas de borde e interior, con 240.38 y 303.48 Tm/ha respectivamente, en comparación a la primera profundidad de 0 a 10 cm en el suelo, esto puede deberse a que el carbono se va acumulando en las profundidades inferiores por la lenta descomposición (Sofo, Nicoletta, & Ricciuti, 2020). Un estudio indica que los bosques pueden aumentar la cantidad de carbono debido a, la presencia de exudados orgánicos generados por las raíces de plantas (Sokol & Bradford, 2019; Sokol et al., 2018). Así también, Montanarella et al. (2015), mencionan que el contenido de carbono en los suelos de bosques generalmente es de 702 Tm, en los que las capas subsuperficiales de 30 a 100 cm presentan 359.5 Tm de contenido de carbono valor que resulta ser mayor que la capa superficial 0-30 cm con 342.6 Tm de carbono, lo que coincide con nuestro estudio en el que se encontró que la capa a mayor profundidad (30-60cm) tiene un valor más alto de carbono. Kell, 2012 atribuye que este resultado puede deberse a la producción de exudados originados por raíces que alcanzan esta profundidad de suelo, que a su vez aumenta el almacenamiento de carbono en estas capas.

En un estudio realizado en diferentes tipos de cobertura en el ecosistema páramo (plantación de pino, pajonal disturbado y pajonal conservado) en la provincia del Azuay, encontraron que la profundidad con mayor carbono orgánico en el suelo fue de 0 a 45 cm (Quiroz et al., 2021), lo que contradice los resultados obtenidos en este estudio para el parche de *Polylepis*. No obstante, si se compara con un estudio realizado en *P. incana* en la provincia de Pichincha, el mayor carbono encontrado fue en las profundidades bajas desde los 50 a 90 cm, y menor en las profundidades superiores de 0 a 20 cm (Gavilánez & Romoleroux, 2019) cuya tendencia de los valores de carbono son similares a lo encontrado para el parche de *P. reticulata*

9. CONCLUSIONES

En general en la biomasa del suelo en sus diferentes compartimentos se almacena la mayor cantidad de carbono que en la biomasa aérea, y la ubicación de las parcelas (borde e interior), no juega un rol importante. A continuación, un mejor detalle de las conclusiones:

No se evidenció diferencias para las variables dasométricas entre parcelas de borde e interior, esto se atribuye al tamaño pequeño y forma del parche de *Polylepis* estudiado.

Para el contenido de carbono aéreo tampoco hubo diferencia marcadas entre las parcelas de borde e interior, aunque con una marcada variabilidad al interior de las parcelas, explicada por las condiciones heterogéneas en el interior del bosque (suelo, precipitación, entre otras). Asimismo a nivel del carbono sobre el suelo (materia viva) y necromasa (materia muerta), no se encontraron diferencias por la ubicación, no obstante, la necromasa tuvo un ligero incremento en las parcelas del interior. En la biomasa subterránea a los primeros 10 cm presentó una alta variabilidad en las parcelas del interior en comparación del borde. El resultado que se destaca es que a la profundidad 30-60 cm se obtuvo un mayor contenido de carbono con 303.48 Tm/ha, no así a los 10 cm con sólo 96.44 Tm/ha, esto debido a, que por la lenta descomposición se va acumulando a profundidades mayores.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar este estudio en otros parches de *Polylepis* en la región, bajo la misma metodología para que los datos sean comparables, y de esta manera entender de mejor manera el stock de carbono presente en la biomasa aérea y en los diferentes compartimentos del suelo. Por la importancia del secuestro de carbono como un servicio ecosistémico se recomienda continuar el monitoreo de las variables dasométricas en el parche de *Polylepis* a lo largo del tiempo, para comprender la dinámica de crecimiento, estructura y composición del parche, y su relación con el contenido de carbono.

Se recomienda realizar estudios específicos para correlacionar las variables de humedad y temperatura a diferentes profundidades en el suelo para identificar si estos factores abióticos intervienen en la descomposición y en consecuencia la acumulación de carbono en los diferentes compartimentos del suelo. Desde el punto de vista biótico, también se recomienda incluir estudios sobre la actividad biológica de microorganismos (bacterias, hongos, y otros) en los diferentes compartimentos del suelo.

Dado a que el cálculo sobre el contenido de carbono fue analizado únicamente para especie *P. reticulata*, por ser la más abundante, se recomienda estimar el contenido de carbono de las especies arbóreas que acompañan a la especie dominante, esto con la finalidad de completar la información para todo el parche de bosque en Zhurucay.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hoch, G., & Körner, C. (2005). Growth, demography and carbon relations of *Polylepis* trees at the world's highest treeline. *Functional Ecology*, 19(6), 941-951.
- Alvites, C., Battipaglia, G., Santoupuoli, G., Hampel, H., Vázquez, R., Meteucci, G., & Tognetti, R. (2019). Dendrochronological analysis and growth patterns of *Polylepis reticulata* (Rosaceae) in the Ecuadorian Andes. *IAWA Journal*, 40(2), 331-351.
- Azocar, A., Rada, F., & Garcia, C. (2007). Functional characteristics of the arborescent genus *polylepis* along a latitudinal gradient in the high andes. *Asociación Interciencia*, 32(10), 663-668.
- Babujia, L., Hungria, M., Franchini, J., & Brookes, P. (2010). Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12), 2174-2181.
- Bernardo, E., & Parodi, L. (2017). Valoración económica de las reservas de carbono en plantaciones de la comunidad campesina de Paccha, Huancayo, Jun+in.
- Cabrera, M., & Duivenvoorden, J. (2020). Drivers of aboveground biomass of high mountain vegetation in the Andes. *Acta Oecologica*, 102, 103504.
- Cárdenas, I. (2014). Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico-químicas de los suelos andinos del sur del Ecuador. Tesis previo a la obtención de del Título de Magister en Agroecología y Ambiente. (U. d. Cuenca, Ed.)
- Chave, J. (2005). Wood density measurement protocol. Measuring wood density for tropical forest trees. A field manual for the CTFS sites. *Lab. Evolution et Diversité Biologique Université Paul Sabatier*, 7.
- Chave, J., Rejou-Mechain, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., . . . Pelissier, R. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190.
- Colmenares, M., Rada, F., & Luque, R. (2005). Anatomía foliar de *Polylepis sericea* Wedd (Rosaceae) a dos altitudes en los Altos andes venezolanos. *Plantula*, 3(3), 141-148.
- Córdova, M., Bogerd, L., Smeets, P., & Carrillo, G. (2020). Estimating Turbulent Fluxes in the Tropical Andes. *Atmosphere*, 11(2), 213.
- Crespo, P., Feyen, J., Buytaert, W., Bücker, A., Breuer, L., Georg Frede, H., & Ramírez, M. (2011). Identifying controls of the rainfall–runoff response of small catchments in the tropical Andes (Ecuador). *Journal of Hidrology*, 1(4), 164-174.
- Davies, B. (1974). Loss-on-Ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. *Soil Science Society of America*, 38(1), 150-151.
- Duque, A., Peña, M., Cuesta, F., González, S., Kennedy, P., Philipps, O., . . . Feeley, K. (2021). Mature Andean forests as globally important carbon sinks and future carbon refuges. *12*.
- Ely, F., Torres, F., & Gaviria, J. (2005). Morfología y Anatomía foliar de *Monochaetum Meridence*(Melastomataceae). *Acta Botánica Venezuelica*, 28(2), 197-212.
- Fehse, J., Hofstede, R., Aguirre, N., Paladines, C., Kooijman, A., & Sevink, J. (2002). High altitude tropical secondary forests: a competitive carbon sink? *Forest Ecology and Management*, 163, 9-25.
- Fernández, M., Mercado, M., Arrazola, S., & Martínez, E. (2001). Estructura y composición florística de un fragmento boscoso de *Polylepis besseri* hieron subsp. *besseri* en Sacha Loma (Cochabamba). *Rev. Bol. Ecol.*, 9, 15-27.
- Fjeldså, J., & Kessler, M. (1996). Conserving the biological diversity of *Polylepis* Woodlands of the highland of Perú and Bolivia.

- Fjeldså, J., & Kessler, M. (2004). *Conservación de la biodiversidad de los bosques de Polylepis de las tierras altas de Bolivia. Una contribución al manejo sustentable en los Andes*. Santa Cruz de la Sierra: FAN.
- Franquis, F., & Infante, A. (2003). Los bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales. *Revista forestal latinoamericana*, 34, 17-30.
- Gaviláñez, M., & Romoleroux, C. (2019). Cuantificación de carbono en el suelo del Bosque Siempreverde y el Herbazal del Páramo del Área de Conservación Hídrica Palaguillo (Pifo, Pichincha). (U. C. Ecuador, Ed.) *Trabajo de titulación previo a la obtención de licenciado en Ciencias Biológicas y Ambientales*.
- Grossman, R., & Reinsch, T. (2002). Bulk Density and Linear Extensibility: Core Method. In: Dane, J.H. and Topp, G.C., Eds., *Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods, SSSA, Incorporated, Madison*, 208-228.
- Guachamín, E. (2017). Captura y almacenamiento de carbono en el ecosistema páramo de Jambinachi del cantón Cayambe. Tesis previo a la obtención de Ingeniero Ambiental. (U. T. Norte, Ed.)
- Hofstede, R., & Aguirre, N. (1999). Biomasa y dinámica del carbono en relación con las actividades forestales en la sierra del Ecuador. El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. *Serie Páramo*, 1, 29-51.
- Huiyan, G. (2008). Structural and compositional responses to timber harvesting for an old-growth forest on Changbai Mountain, China - Short Communication. *Journal of Forest Science*, 54(6), 281-286.
- IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. *Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*, 4, 1-93.
- IPCC. (2014). Cambio climático y biodiversidad (Informe de síntesis). *Contribución de los grupos de trabajo I, II, III al quinto informe de Evaluación del grupo*.
- Kessler, M. (2006). Bosques de Polylepis. Universidad Mayor de San Andrés.
- Kochian, L., Hoekenga, O., & Piñeros, M. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 459-493.
- Körner, C. (2003). *Alpine Plant Life*, 2nd edition.
- Lao, M., Zevallos, P., & Cruz Silva, H. (1990). de la Información Preliminar De La Ecología, Dendrología Y Distribución Geográfica De Las Especies Del Genero Polylepis En El Perú. *EYD*, 47-62.
- Larcher, W. (2003). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of functional groups*. 513.
- Laurance, W. (2004). Forest Climate Interactions in Fragmented Tropical Landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences.*, 359(1443), 345-352.
- Laurance, W., Henrique E M, N., Laurance, S., Andrade, A., Fearnside, P., Ribeiro, J., & Capretz, R. (2006). Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees. *Ecology*, 87(2), 469-482.
- Llambi, L., Soto, A., Celleri, R., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). Ecología, hidrología y suelo de páramos. *Proyecto Páramo Andino*, 283.
- Luckman, B., & Boninsegna, J. (2001). The Assessment of Present, Past and Future Climate Variability in the Americas from Treeline Environments. *PAGES News*, 9, 17-19.
- Luteyn, J., Cleef, A., & Rangel, C. (1992). Plant diversity in paramo: Towards a checklist of páramo plants and generic flora. (H. B. Luteyn, & A. Press, Edits.) *Paramo An Andean Ecosystem under Human Influence*, 71-84.
- Macdicken, K. (1997). A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. *Guide to Monitoring Forest Carbon Storage*.

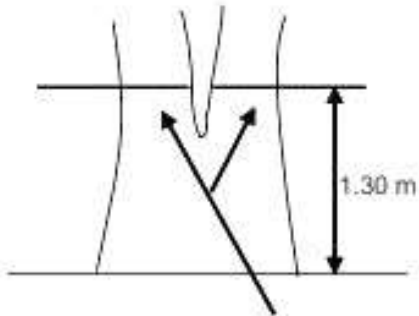
- Macek, P., Macková, J., & de bello, F. (2009). Morphological and ecophysiological traits shaping altitudinal distribution of three *Polylepis* treeline species in the dry tropical Andes. *Acta Oecológica*, 35(6), 778-785.
- Mena, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica económica de los Andes Centrales*, 91-109.
- Mendoza, W., & Cano, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Rev. peru.Biol*, 18(2), 197-200.
- Monreal, C., Etchevers, J., Acosta, M., Hidalgo, C., Padilla, J., López, R., . . . Velázquez, A. (2005). A method for measuring above- and below-ground C stocks in hillside landscapes. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(4), 523-530.
- Montalvo, J., Minga, D., Verdugo, A., López, J., Guazhambo, D., Pacheco, D., . . . Zárate, E. (2018). Características morfológico-funcionales, diversidad arbórea, tasa de crecimiento y de secuestro de carbono en especies y ecosistemas de *Polylepis* del sur de Ecuador. *Ecología Austral*, 28, 249-261.
- Ochoa, A., Crespo, P., & Célleri, R. (2018). Quantification of rainfall interception in the high Andean tussock grasslands. *Ecohydrology*, 11(3).
- Ochoa, A., Crespo, P., Carrillo, G., Marín, F., & Celleri, R. (2020). Unravelling evapotranspiration controls and components in tropical Andean tussock grasslands. *Hydrological Processes*, 34(9), 2117-2127.
- Ochoa, A., Crespo, P., Carrillo, G., Sucozhañay, A., & Célleri, R. (2019). Actual Evapotranspiration in the High Andean Grasslands: A Comparison of Measurement and Estimation Methods. *Frontiers in Earth Science*, 7, 1-16.
- Pacheco, K. (2015). Estructura de los rodales de *Polylepis reticulata* del Parque Nacional El Cajas. Estado actual para proyección futura en el marco del cambio climático. (U. d. Cuenca, Ed.) *Tesis previo a la obtención de Ingeniero Ambiental*.
- Padrón, R. (2013). Análisis de la estructura de la lluvia del páramo. Universidad de Cuenca. pp.
- Peres, P., & Braak, C. (2016). Weighted mean correlation resolved by the fourthcorner approach Linking trait variation to the environment: critical issues with. *Ecography*, 7.
- Pinos, J. (2015). Biomasa foliar, desfronde y descomposición de la hojarasca en los rodales de *Polylepis reticulata* del Parque Nacional Cajas. Universidad de Cuenca.
- Pinos, J., Studholme, A., Carabajo, A., & Gracia, C. (2017). Leaf Litterfall and Decomposition of *Polylepis reticulata* in the Treeline of the Ecuadorian Andes. *Mountain Research and Development*, 37(1), 87-96.
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades Físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al Sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138-153.
- Quiroz, C., Crespo, P., Stimm, B., Reinhard, M., Cueva, J., Hildebrandt, P., & Weber, M. (2021). Impacts of pine plantations on carbon stocks of páramo sites in southern Ecuador. *Carbon Balance Manage*, 16(5).
- Ramos, C., Buitrago, S., Pulido, K., & Vanegas, L. (2013). Variabilidad ambiental y respuestas fisiológicas de *Polylepis cuadriflora* (Rosaceae) en un ambiente fragmentado en el Páramo de la Rusia (Colombia). *Rev. Biol. Trop*, 61(1), 351-361.
- Robertson, F. (2016). Measuring Tree Diameters. *Timber Cruising Handbook*.
- Romoleroux, K. (2006). Diversidad del género *Polylepis* en el Ecuador. (C. W. Libro de Resúmenes. Centro de Biodiversidad y Genética - Universidad Mayor de San Simón/American, Ed.) *II Congreso Internacional de Ecología y Conservación de Bosques de Polylepis*, 75.

- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. *Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)/Consortio Iniciativa Amazónica*, 79.
- Santana, L., Prado Junior, J., C. Ribeiro, J., S. Ribeiro, M., G. Pereira, K., Antunes, K., . . . Van den Berg, E. (2021). Edge effects in forest patches surrounded by native grassland are also dependent on patch size and shape. *Forest Ecology and Management*, 482, 118842.
- Simpson, B. (1979). A revision of the genus *Polylepis* (Rosaceae: Sanguisorbeae). *Smithsonian Contributions To Botany*, 43, 1-62.
- Sofa, A., Nicoletta, A., & Ricciuti, P. (2020). Soil Macrofauna: A key Factor for Increasing Soil Fertility and Promoting Sustainable Soil Use in Fruit Orchard Agrosystems. *Agronomy*, 10(4), 456.
- Suqui, A., Celleri, R., Crespo, P., & Carrillo, G. (2021). Interactions between leaf area index, canopy density and effective precipitation of a *Polylepis reticulata* forest located in a paramo ecosystem. *La Granja*, 34, 63-79.
- Swenson, N., & Enquist, B. (2008). The relationship between stem and branch wood specific gravity and the ability of each measure to predict leaf area. *American Journal of Botany*, 95(4), 516-519.
- Tacarpo, A. (2018). Estimación del potencial de captura de carbono de las especies de flora predominante de la parte alta del bosque de la comunidad campesina de Tumpa – provincia de Yungay. Tesis previo a la obtención de Ingeniero Ambiental.
- Tejedor, G., Álvarez, E., Arango, C., Murakami, A., Blundo, C., Boza Espinoza, T., . . . Newton, A. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques en los Andes tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2), 148-166.
- Tinoco, B., Astudillo, P., Latta, S., Strubbe, D., & Graham, C. (2013). Influence of Patch Factors and Connectivity on the Avifauna of Fragmented *Polylepis* Forest in the Ecuadorian Andes. *Biotropica*, 0(0), 1-10.
- Toivonen, J. (2014). Determinants of *Polylepis* (Rosaceae) forest distribution and treeline formation in the high Andes.
- Trugman, A., Medvigy, D., Hoffmann, W., & Pellegrin, F. (2018). Sensitivity of woody carbon stocks to bark investment strategy in Neotropical savannas and forests. *Biogeosciences*, 15, 233–243.
- Valencia, S., & Vargas, J. (1997). Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques*, 3(1), 81-87.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Wright, I., Dong, N., Maire, V., Prentice, I., Westoby, M., Díaz, S., . . . Wilf, P. (2017). Global climatic drivers of leaf size. *Science*, 357, 917-921.
- Zanabria, R., & Cuellar, J. (2015). Carbono total almacenado en los depósitos de diferentes sistemas de uso de tierra del ecosistema alto andino, valle del Mantaro, Junín. *Xilema*, 28, 43-52.
- Zutta, B., Rundel, P., Saatchi, S., Casana, J., Gauthier, P., Soto, A., . . . Buermann, W. (2012). Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques Andinos vulnerables y cada vez mas importantes. *Revista peruana de Biología*, 19(2), 205-212.

12. ANEXOS

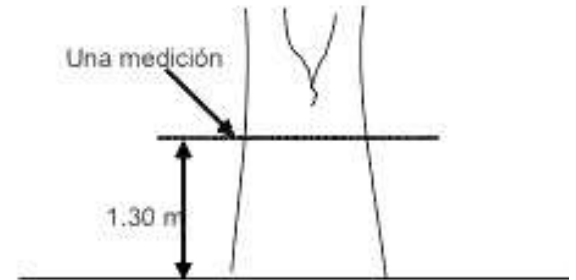
Anexo 1 Medición del DAP en arboles bifurcados.

Debajo de 1.30 m

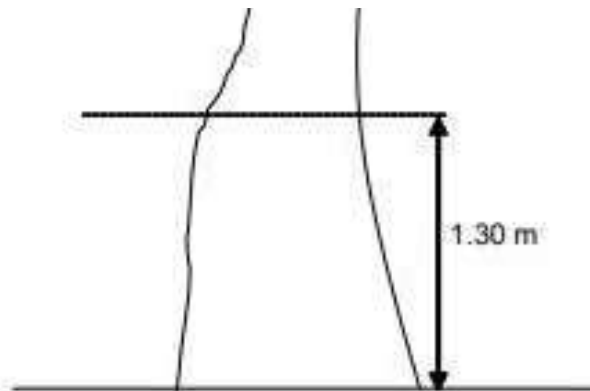


Dos mediciones.
Se considera como dos árboles

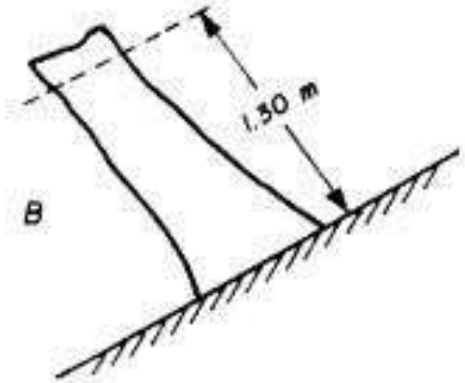
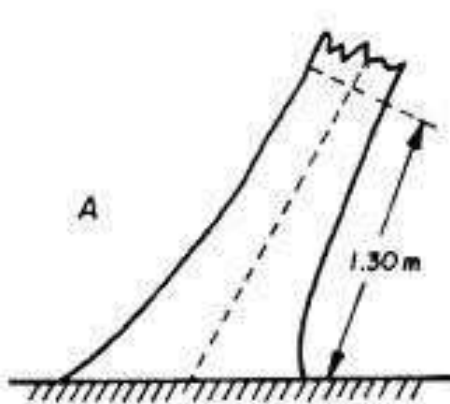
Arriba de 1.30 m



Anexo 2. Medición del DAP cuando presenta deformaciones a 1.30 m.



Anexo 3. Medición del DAP en árboles inclinados: A) en terreno llano y B) en terreno inclinado.



Anexo 4 Determinación del peso fresco del carbono sobre el suelo que comprende necromasa (materia muerta) y herbáceas (materia viva); y secado de las muestras tomadas en campo.



Anexo 5. Pesaje de biomasa subterránea.



Anexo 6. Aplicación del método de calcinación.



Anexo 7. Secado y Medición del volúmen de fragmentos rocosos.

