

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**Estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque montano Los
Lanches, Chota – Perú**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

AUTOR

Bach. Milagros Anabel Peralta Vásquez

ASESORA

Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza

COASESOR

Ing. Auner Medina Rafael


M tr. Denisse Milagros Alva Mendoza
CIP 163858
Docente UNACH
Código: 007-2021

CHOTA – PERÚ

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 008-2021/EPIFA - FCA/UNACH

Siendo las 14:00 horas, del día 21 de octubre de 2021, en video conferencia del aplicativo Meet de Google, los miembros del Jurado de Tesis titulada: **Estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque montano Los Lanches, Chota – Perú**, integrado por:

1. M.Sc. Duberli Geomar Elera Gonzales, Presidente
2. Dr. Héctor Orlando Chávez Angulo, Secretario
3. M.Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito, Vocal

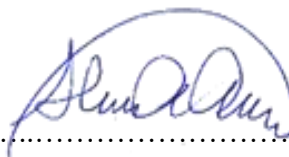
Sustentada por **Milagros Anabel Peralta Vásquez**, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda Aprobar la tesis, calificándola con la nota de: 18 (Dieciocho), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

Firmado en: Chota, 21 de octubre del 2021.



.....
M.Sc. Duberli Geomar Elera Gonzales
Presidente



.....
Dr. Héctor Orlando Chávez Angulo
Secretario



.....
M.Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito
Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



Constancia de Originalidad

El que suscribe, presidente del Comité Directivo de la Unidad de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado **Estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque montano Los Lanches, Chota – Perú**, desarrollado por **Bach. Milagros Anabel Peralta Vásquez**; presenta una SIMILITUD MENOR O IGUAL al 20% por lo que cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en la Directiva N° 004-2020-UNACH aprobada mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 450-2020-UNACH.

Chota, 27 de noviembre de 2021.

Atentamente;

Dr. Carlos Abanto Rodríguez
Docente Contratado
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. FORESTAL
Y AMBIENTAL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA

Dr. Carlos Abanto Rodríguez
Presidente (e) del Comité Directivo de la
Unidad de Investigación de la EPIFA

CO-002-EPIFA-FCA

AGRADECIMIENTO

Agradezco,

A Dios nuestro padre, creador de todas las cosas y herrero de mi camino, quien me ha dado todo y me ha brindado salud y vida.

A mis padres por su apoyo incondicional, por sus sabias palabras y consejos que me ayudaron a perseverar en todo momento, por su confianza, comprensión y apoyo en mi formación personal y profesional.

A mi asesora Mtr. Milagros Denisse Alva Mendoza, por el apoyo brindado que con su experiencia me oriento en la redacción y desarrollo de esta investigación, por sus consejos y aporte con sus valiosos conocimientos que hicieron posible en la culminación de dicha investigación.

Al Ing. Auner Medina Rafael y a la Blgo. Ruth Cavero Contreras, por su apoyo brindado en la identificación botánica de las especies, por su colaboración, comentarios y sugerencias que permitieron enriquecer la investigación.

Al equipo de trabajo de campo integrado por Anali Altamirano Chávez, Rosita Anali Benavidez Fustamante, Jorge Eduard Benavidez Tafur y Gladis Olenca Fernández Bustamante.

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota y a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental por formarme como Ingeniera Forestal y Ambiental; asimismo, por proporcionarme los equipos, herramientas y materiales necesarios para realizar esta investigación.

Al personal administrativo de la Facultad de ciencias Agrarias por su amable colaboración en todo momento.

DEDICATORIA

*A mi padre **Virgilio** por su apoyo incondicional ejemplo a seguir, que merece mi respeto y admiración que me ha apoyado en todo momento.*

*A mi madre **Natalia** quien, con su amor, apoyo incondicional y valores, hicieron en mí una mujer responsable y con deseos de superación.*

*A mis hermanos **Yovana, Wilmer, Rosana, José y Magaly** quienes con sus consejos me motivaron a seguir adelante, por brindarme seguridad y apoyo y enseñarme a nunca rendirme y nunca perder las esperanzas.*

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	4
DEDICATORIA	5
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I.	13
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II.	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes	16
2.2.1. Cambio Climático.....	20
2.2.2. Impactos del cambio climático.....	20
2.2.3. Calentamiento global.....	20
2.2.4. Efecto invernadero	21
2.2.5. Gases de efecto invernadero (GEI).....	21
2.2.6. Gases de efecto invernadero en el Perú.....	21
2.2.7. Dióxido de carbono	22
2.2.8. Carbono	22
2.2.9. Ciclo del carbono.....	23
2.2.10. Mercado de carbono.....	25
2.2.11. Bosques	26
2.2.12. Beneficios de un bosque.....	26

2.2.13. Bosques Montanos	27
2.2.14. Carbono almacenado	27
2.2.15. Almacenamiento de carbono como servicio ambiental	28
2.2.16. Biomasa.....	28
2.2.17. Biomasa aérea o arbórea	28
2.2.18. Biomasa aérea y carbono	29
2.2.19. Inventario forestal	29
2.2.20. Métodos para estimar la biomasa aérea	30
2.2.21. Modelo o ecuación alométrica	31
2.2.22. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea.....	32
2.2.23. Método para estimar carbono.....	35
2.3. Marco conceptual.....	35
CAPÍTULO III.....	38
MARCO METODOLÓGICO.....	38
3.1. Ubicación.....	38
3.2. Población y muestra.....	41
3.3. Variables e indicadores	41
3.4. Equipos, materiales y/o insumos	41
3.5. Metodología de la investigación	43
3.6. Análisis estadístico	53
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	54

4.1. Diversidad florística.....	54
4.2. Biomasa aérea	62
4.3. Carbono almacenado.....	66
CAPÍTULO V.....	72
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES.....	72
CAPÍTULO VI.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tamaño de las parcelas para realizar inventarios de carbono</i>	30
Tabla 2 <i>Modelos de regresión para estimar la biomasa aérea de bosques tropicales por grupo de zona de vida</i>	33
Tabla 3 <i>Modelos alométricos utilizados para estimar biomasa aérea en especies tropicales</i>	34
Tabla 4 <i>Ecuaciones alométricas para estimar biomasa encima del suelo</i>	35
Tabla 5 <i>Puntos de parcelas</i>	38
Tabla 6 <i>VARIABLES e indicadores</i>	41
Tabla 7 <i>Diversidad y abundancia de las especies por parcela evaluada en el bosque montano Los Lanches</i>	54
Tabla 8 <i>Variabilidad del DAP y la altura</i>	59
Tabla 9 <i>Distribución de clases diamétricas</i>	60

Tabla 10 <i>Número de individuos y biomasa aérea por parcela</i>	65
Tabla 11 <i>Contenido de biomasa y carbono por tipo de vegetación en t/ha</i>	68
Tabla 12 <i>Contenido de biomasa aérea y carbono por parcela (t/ha)</i>	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Distribución porcentual de las emisiones totales de los GEI por categorías</i>	22
Figura 2 <i>Carbono en los bosques (stock y flujos)</i>	25
Figura 3 <i>Esquema que representa el método destructivo para determinar la biomasa arbórea</i>	31
Figura 4 <i>Mapa de ubicación del área de investigación</i>	40
Figura 5 <i>Forma de la parcela instalada</i>	43
Figura 6 <i>Árboles dañados o deformes</i>	45
Figura 7 <i>Árboles que presentan dos o mas ramificaciones (multifasiales)</i>	46
Figura 8 <i>Árboles en pendiente</i>	46
Figura 9 <i>Árboles que han perdido al menos la mitad de su copa</i>	47
Figura 10 <i>Árboles inclinados parcial o totalmente</i>	48
Figura 11 <i>Árboles que presentan raíces tubulares</i>	48
Figura 12 <i>Principio trigonométrico Blume leiss</i>	49
Figura 13 <i>Número de individuos por familia</i>	57
Figura 14 <i>Número de individuos por especie</i>	58
Figura 15 <i>Distribución del diámetro y altura de las especies inventariadas</i>	59
Figura 16 <i>Número de individuos por clase diamétrica</i>	61
Figura 17 <i>Número de individuos y altura promedio por clase diamétrica</i>	62
Figura 18 <i>Biomasa aérea total por especie en t/ha</i>	63
Figura 19 <i>Biomasa aérea total por familia en t/ha</i>	64

Figura 20 <i>Número de individuos y biomasa aérea por parcela</i>	65
Figura 21 <i>Contenido de biomasa aérea y carbono de las especies dominantes en t/ha</i>	66
Figura 22 <i>Contenido de biomasa y carbono por familia en (t/ha)</i>	67
Figura 23 <i>Contenido de biomasa y carbono por tipo de vegetación</i>	68
Figura 24 <i>Contenido de biomasa aérea y carbono por parcela (t/ha)</i>	70
Figura 27 <i>Medición del CAP</i>	91
Figura 28 <i>Medición de la altura (h)</i>	91
Figura 29 <i>Recolección de especímenes</i>	92

RESUMEN

Los bosques montanos cumplen un rol fundamental para el balance de carbono en la atmósfera pues poseen la capacidad de almacenarlo en su biomasa durante largos periodos. En la presente investigación se planteó como objetivo determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque montano Los Lanches-Chota, donde se instalaron siete parcelas circulares de 0,1 ha en un rango latitudinal de 2726 a 2851 m s.n.m en las que se tomaron datos dasométricos de todo el estrato leñoso, árboles con DAP ≥ 5 cm aplicando el método indirecto para estimar la biomasa aérea y carbono almacenado considerando el 50 % de biomasa. Se contabilizaron 833 árboles distribuidos en 33 especies y 27 familias, siendo las especies mas abundantes *Hedyosmum scabrum* (Ruiz & Pav.) Solms, *Cornus peruviana* J.F. Macbr. y *Weinmannia elliptica* Kunth. La biomasa aérea estimada es 168,43 t/ha y el carbono 84,21 t C/ha, registrándose la mayor biomasa (33,11 t/ha) y carbono (16,56 t C/ha) en la familia Cunoniaceae, que junto a Myrtaceae, Lauraceae y Melastomataceae almacenan el 63 % de carbono (52,82 t C/ha) en el área de estudio. Las especies *Weinmannia elliptica* Kunth, *Nectrandra lineatifolia* (Ruiz & Pav). Mez, *Axinaea nitida* Cogn., *Meliosma* sp. y *Cornus peruviana* J.F. Macbr. almacenan el 62% (52,25 t C/ha) de carbono almacenado.

Palabras claves: Biomasa, carbono almacenado, método indirecto, bosque montano.

ABSTRACT

Montana forests play a fundamental role in the carbon balance in the atmosphere since they have the capacity to store it in their biomass for long periods of time. The aim of this research was to determine the carbon, stored in the aerial biomass in the Montana forest in Los Lanches-Chota, where seven circular plots of 0,1 ha were installed in a latitudinal range from 2726 to 2851 mbsl in which dasometric data were taken from the entire woody stratum, trees with $DBH \geq 5$ cm where the indirect method (non-destructive) was applied to calculate the aerial biomass and estimate the carbon based on 50% of biomass. A total of 833 individuals belonging to 33 species and 27 families were counted. The most abundant species were *Hedyosmum scabrum* (Ruiz & Pav.) Solms, *Cornus peruviana* J.F. Macbr. and *Weinmannia elliptica* Kunth. The aboveground biomass was 168,43 t/ha and the estimated carbon was 84.21 t C/ha. Cunoniaceae was the botanical family with the highest biomass (33,11 t/ha) and carbon (16,56 t C/ha), which together with Myrtaceae, Lauraceae and Melastomataceae store 63 % of the carbon (52,82 t C/ha) of the Montana forest in the study area. Of the 33 botanical species which were recorded, the species *Weinmannia elliptica* Kunth, *Nectandra lineatifolia* (Ruiz & Pav). Mez, *Axinaea nitida* Cogn., *Meliosma* sp. and *Cornus peruviana* J.F. Macbr. store 62% (52,25 t C/ha) of the estimated carbon stock.

Key words: Biomass, carbon stock, indirect method, Montana forest.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Entre los principales problemas ambientales que enfrenta la humanidad se encuentra el cambio climático y una manifestación más evidente es el calentamiento global, generada por el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la composición atmosférica, principalmente dióxido de carbono, problemática que se ha incrementado de manera significativa en la última mitad del siglo XX (López-Reyes *et al.*, 2016).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2018) estimó que las actividades antrópicas han generado el incremento de la temperatura global en 1,0 °C aproximadamente, respecto a los niveles preindustriales; siendo posible que se incremente 1,5 °C entre 2030 y 2050, si la concentración de GEI continúa acrecentándose al ritmo actual.

Entre los GEI más importantes se encuentra el dióxido de carbono, pues alcanzó 147 % del nivel preindustrial en el 2018 (World Meteorological Organization[WMO], 2019). En el 2010 la cantidad de CO₂ acumulado en la atmósfera llegó a 1300 ± 110 GtCO₂ producto de las emisiones de combustibles fósiles, la industria del cemento y la quema; y 680 ± 300 GtCO₂ por la silvicultura y otros usos del suelo (IPCC, 2014). De las emisiones de CO₂, alrededor de 20 % se generan en actividades de deforestación y degradación de ecosistemas boscoso (Manrique De Lara y Puerta, 2014), ello debido a que el 50 % de la biomasa de los árboles es carbono; y una vez quemados o talados lo acumulado regresa a la atmósfera (López-Reyes *et al.*, 2016). En los últimos 100 años la deforestación y degradación se ha acrecentado, por lo que gran parte de los estudios de investigación de la comunidad científica abarcan esta temática (Ibrahim *et al.*, 2007).

Se ha implementado mecanismos con el fin de minimizar la emisión de CO₂ en la atmósfera y retenerlo en los ecosistemas, enfocándose estas estrategias en el aprovechamiento

de la capacidad de fijación de carbono (Avendaño Hernandez *et al.*, 2009), la disminución de la deforestación, la reforestación y el manejo sustentable de estos ecosistemas, con el fin de poder disminuir la concentración de GEI en la atmósfera y a su vez el calentamiento global (Schlegel, 2001).

Sin duda, los bosques capturan cantidades significativas de GEI, en particular CO₂, gas que a través del proceso de fotosíntesis es fijado en las estructuras vivas de la planta, acumulándolo en la biomasa, transfiriéndolo al mantillo de restos vegetales y al suelo (Vásquez y Arellano, 2012). Estos ecosistemas ocupan el 29 % de la superficie y constituyen el 60 % de las reservas de carbono de la vegetación terrestre (Torres-Torres *et al.*, 2017). Más de 650 000 millones de toneladas de carbono se almacenan en estos ecosistemas, de lo cual el 44 % se encuentra en la biomasa, el 11 % en necromasa del sotobosque y el 45 % en el interior del suelo (Harris *et al.*, 2011), constituyendo estos ecosistemas excelentes sumideros de carbono y por tanto contribuyendo de manera significativa en el balance y minimización de emisiones de CO₂ (Hurtado *et al.*, 2017).

El Perú es un país de bosques, con una amplia variedad de ecosistemas, distribuidos en 74 millones de hectáreas en costa, sierra y selva, es el 9^{no} país con la mayor extensión de bosques a nivel mundial y 2^{do} a nivel amazónico (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2017). Existe una alta diversidad de ecosistemas andinos localizados en las zonas montañosas del Perú; no obstante, el interés de estudio y gestión se ha centrado en los ecosistemas amazónicos debido a su amplia extensión y diversidad que alberga (Kómetter, 2011).

Los bosques andinos son fuente de alta biodiversidad y cumplen funciones esenciales para la provisión de servicios ambientales, radicando en ello su relevancia. La alta diversidad y endemismo convierte a estos ecosistemas en áreas frágiles (Cuesta *et al.*, 2009); asimismo, son trascendentales en el mantenimiento del clima a nivel regional y global y en la oferta de

servicios ecosistémicos (Aguirre Mendoza *et al.*, 2018). El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) refiere que estos ecosistemas representan el 0,07 % a nivel nacional y 0,26 a nivel mundial (Bubb *et al.*, 2004).

El grado de participación de los ecosistemas andinos en el ciclo del carbono es poco conocido (Spracklen & Righelato, 2014). El creciente deterioro de estos ecosistemas es preocupante, dado que esta actividad deriva en la emisión de grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera. Para conocer la importancia de estos ecosistemas es indispensable estimar los reservorios de carbono de manera precisa, siendo necesario conocer su evolución y componentes bióticos y abióticos (Álvarez-Arteaga *et al.*, 2013).

Las reservas de carbono en los ecosistemas andinos están contenidas en su biomasa y el suelo (Gibbon *et al.*, 2010), pues pueden llegar a acumular entre 20-40 t C/ha en su biomasa (Cuesta *et al.*, 2009), actuando como sumideros. Sin embargo, muchas investigaciones sostienen que la cantidad de carbono varía con sus características.

Conocer los stocks de carbono en estos ecosistemas es crucial para el desarrollo e implementación de estrategias sostenibles en el tiempo, que permitan disminuir las emisiones de GEI a la atmósfera (Yepes *et al.*, 2016).

Aunque existan evidencias sobre el almacenamiento de carbono como servicio ambiental de los bosques, aún hace falta una exploración ardua y completa; en ello radica la importancia en conocer e implementar estudios sobre los servicios que proveen. Hoy en día, gran porcentaje de los bosques montañosos se están perdiendo producto de la deforestación y degradación, perdiéndose el carbono que ha sido almacenado por años en la biomasa aérea, necromasa y suelo; representando la biomasa aérea el reservorio de carbono más importante y el de mayor impacto.

En este contexto se planteó realizar una investigación con el objetivo general de determinar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque montano Los

Lanches, Chota y como objetivos específicos cuantificar la biomasa aérea y carbono almacenado de las especies arbóreas del bosque montano Los Lanches. Para esta investigación se planteó como hipótesis que la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque montano los Lanches es mayor a 40 t/ha.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Tierras Mayorga *et al.* (2020) determinaron la potencialidad de los bosques Siempreverde en Ecuador para acumular carbono en el estrato arbóreo. La investigación se basa en determinar la composición florística, índice de importancia ecológica a nivel de especie y familia, la biomasa aérea y el contenido de carbono en los árboles con un DAP ≥ 10 cm. Se registraron 685 individuos que contienen $392,1 \pm 2,35$ t/ha de biomasa y $196,05 \pm 1,17$ t C/ha, además las familias taxonómicas que tienen mayor número de individuos fueron Fabaceae, Moraceae y Lauraceae.

Preciado Barragán *et al.* (2019) estimaron la biomasa aérea y el carbono almacenado en el bosque de la cuenca alta del río Domingodó, ubicado en el Chocó Colombiano. Para estimar la biomasa utilizaron once ecuaciones alométricas recomendadas por el IPCC y para el cálculo de carbono almacenado se utilizó la fracción de 50 % de biomasa. La investigación indica que el ecosistema contiene 35,80 t de biomasa aérea y 17,9 t de carbono en 0,05 ha.

Alvarado Villa y Cobos Miguitama (2019) estudiaron las relaciones entre la estructura y cobertura arbórea con el carbono almacenado en bosques montanos Andinos en el macizo del Cajas, Azuay-Ecuador. Este estudio se realizó en los relcitos de bosques maduros, en las localidades de Chaucha y San Gerardo. Midieron la cobertura y estructura arbórea y determinaron el contenido de carbono de la necromasa, biomasa subterránea, biomasa aérea y

carbono en el suelo, para ello instalaron 20 parcelas permanentes de 0,1 ha. El análisis de la investigación se realizó mediante conglomerados donde el conglomerado 2 presenta valores superiores de necromasa, biomasa aérea, suelo y raíces gruesas (4,7, 136, 291, 54,2 C/ha) a diferencia del conglomerado 1 en la cual presenta mayor contenido de carbono en las raíces finas (22,6 t C/ha).

Vargas Arata (2019) determinó el carbono almacenado en la biomasa arbórea viva del tramo Tres de Mayo-Rio Oro de la zona silvestre del Parque Nacional Tingo María, perteneciente a la zona de vida bosque muy húmedo pre montano tropical (bmh-PT). La biomasa aérea se estimó mediante el método no destructivo, utilizando ecuaciones alométricas, para ello realizó la medición del DAP, altura del árbol y densidad de la madera, consideró el 50 % de la biomasa para estimar el carbono. La investigación concluyó que el contenido promedio en la biomasa arbórea es de 70,08 t C/ha.

Lozano Sivilisaca *et al.* (2018) elaboraron modelos alométricos para evaluar el almacenamiento de carbono de los bosques montanos bajos en el sur de Ecuador. Estableciendo una parcela permanente de una hectárea y evaluando variables dasométricas de $DAP \geq 5$ cm y altura total (ht). La investigación indica que el bosque alberga 322,37 t/ha de biomasa arbórea y 161,07 t/ha de carbono, la familia botánica Moraceae presenta mayor contenido de biomasa 69,95 t/ha y carbono 34,98 t C/ha, que juntamente con Lauraceae, Myristicaceae y Rubiaceae almacenan 91,55 t/ha de carbono representando el 57 %.

Aguirre Mendoza *et al.* (2018) estimaron el carbono almacenado en una parcela permanente de un bosque andino en el parque universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador, estudiaron la composición florística y el contenido de carbono almacenado del estrato arbóreo, estrato arbustivo, herbáceo y necromasa. Evaluaron a los árboles con $DAP \geq 5$ cm, la altura y la densidad de la madera de las especies y para el estrato arbustivo, herbáceo y necromasa se recolectaron muestras de cada componente para determinar la relación peso seco

y peso húmedo. En la parcela de una hectárea registraron 42,29 t C y en 12,93 ha de bosque existente 546,86 t C/ha.

Jumbo Salazar *et al.* (2018) determinaron el carbono acumulado en el componente arbóreo de un bosque en Tinajillas, localizado en el sur de la Cordillera Oriental de los Andes en Ecuador, aplicando la metodología recomendada por el Manual de Campo de la Evaluación Nacional Forestal del Ecuador y los criterios del IPCC, evaluaron las variables dasométricas DAP con corteza a partir de 10 cm y altura de los árboles. La investigación indica que en las 118 ha de bosque se almacena 4 835 t de carbono, representando 41 t/ha, la familia botánica Melastomataceae es la que presenta mayor contenido de carbono de 13 t/ha y la especie con mayor cantidad de carbono es *Miconia* sp con un contenido de 8 t/ha.

Paipa Rios y Triana Gómez (2018) calcularon el carbono de la biomasa aérea de un bosque perteneciente al zonobioma húmedo tropical en Paimadó, Choco, Colombia. Realizaron un inventario forestal con muestreo bietápico en bloques y fajas, evaluando variables dasométricas el DAP y la altura total de cada especie, aplicando la metodología sugerida por el IPCC la misma que indica que la fracción de carbono corresponde al 50 % de la biomasa. Llegando a concluir que el bosque contiene en promedio 78,49 t de biomasa y 39,24 t de carbono cada 0,05 ha.

Alfaro Curitumay *et al.* (2018) evaluaron la dinámica, biomasa aérea y variables poblacionales de los individuos vivos con $DAP \geq 10$ cm en bosques montanos de Wiñaywayna, Cusco; para ello establecieron dos parcelas permanentes de 1 ha cada una. La dinámica poblacional se evaluó mediante la tasa de reclutamiento, tasa de mortalidad y tasa de renovación de individuos y la biomasa aérea de cada especie se determinó por ecuaciones alométricas. Se registraron 1 286 individuos distribuidos en 62 especies. La composición de especies arbóreas y la dinámica poblacional fue diferente en cada parcela, además se obtuvo

un contenido de biomasa aérea almacenada de $145 \pm 2,80$ t/ha en Intipunku y en Kantupata fue de $101,06 \pm 3,46$ t/ha.

Hurtado *et al.* (2017) evaluaron la cantidad de biomasa aérea y carbono retenido en un bosque de la cuenca media-baja en el Chocó de Colombia; mediante la aplicación de un muestreo bietápico y comparación de trece ecuaciones alométricas que estiman la biomasa en función del DAP y altura total. El carbono almacenado se determinó en base a la fracción del 50 % de la biomasa aérea Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), donde obtuvieron una biomasa de $439,72$ t/0,05 ha y carbono almacenado $219,86$ t/0,05 ha.

Huamantupa-Chuquimaco *et al.* (2017) evaluaron la diversidad y biomasa arbórea de bosques andinos de Apurimac en el Santuario Nacional de Ampay. Se instalaron cuatro parcelas permanentes de $3\ 600$ m², donde se registraron $1\ 920$ árboles de especies leñosas con $DAP \geq 5$ cm, distribuidos en 20 familias, 27 géneros y 35 especies. Se evaluó $135,40/141,49$ t/ha de biomasa aérea total con una estructura dominante de los árboles con tallos delgados de $DAP \geq 5$ a 15.

Álvarez-Arteaga *et al.* (2013) determinaron el contenido de carbono en el estrato aéreo y subterráneo de cinco comunidades en el bosque montano de niebla en la Sierra Norte de Oaxaca, situados entre 1500 y 2500 m.s.n.m. En la investigación, las variables de estudio fueron carbono en el estrato arbóreo, estrato herbáceo y arbustivo, material leñoso muerto, mantillo, raíces finas y suelo. Los resultados indican que el carbono acumulado fue mayor a 1500 y 2500 m con 440 y 420 t/ha y a 1950 y 2400 m fue 354 t/ha. Concluyendo que los bosques de niebla tienen en promedio $384,16 \pm 40,13$ t/ha de carbono en biomasa y suelo.

2.2.Bases teóricas científicas

2.2.1. Cambio Climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992) define al cambio climático como: “La variación del clima atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima”. Cualquier cambio climático significativo puede dar lugar a la formación de un nuevo clima (Benavides Ballesteros y León Aristizabal, 2007).

2.2.2. Impactos del cambio climático

Según la Comisión Nacional Forestal [CONAFOR] (2013), el cambio climático causa:

- Aumento de la superficie expuesta a sequía.
- Disminución del régimen de precipitación en algunas zonas e incremento en otras, así como sequías más frecuentes en algunas regiones del mundo.
- Variación en las estaciones o épocas del año en las que llueve, generando lluvias en diferentes momentos y por períodos más cortos o más prolongados.
- Derretimiento de los glaciares de los polos a un ritmo acelerado y disminución de los glaciares de montaña.
- Incremento del nivel promedio del mar el cual provoca que el agua salada ingrese en los ríos, afectando la calidad de los suministros de agua.

2.2.3. Calentamiento global

Es el incremento de la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos generado por la acumulación de contaminantes en la atmósfera (Gallardo, 2008).

2.2.4. Efecto invernadero

Se define como el proceso a través del cual la radiación térmica emitida por la atmósfera es absorbida por los GEI presentes e irradiada de tal manera que la tierra se va calentando (CEPSA, 2015).

La cantidad de calor en la troposfera depende de la concentración de los gases de efecto invernadero y del tiempo que estos gases permanecen en la atmósfera (Badii Zabeh, 2008).

2.2.5. Gases de efecto invernadero (GEI)

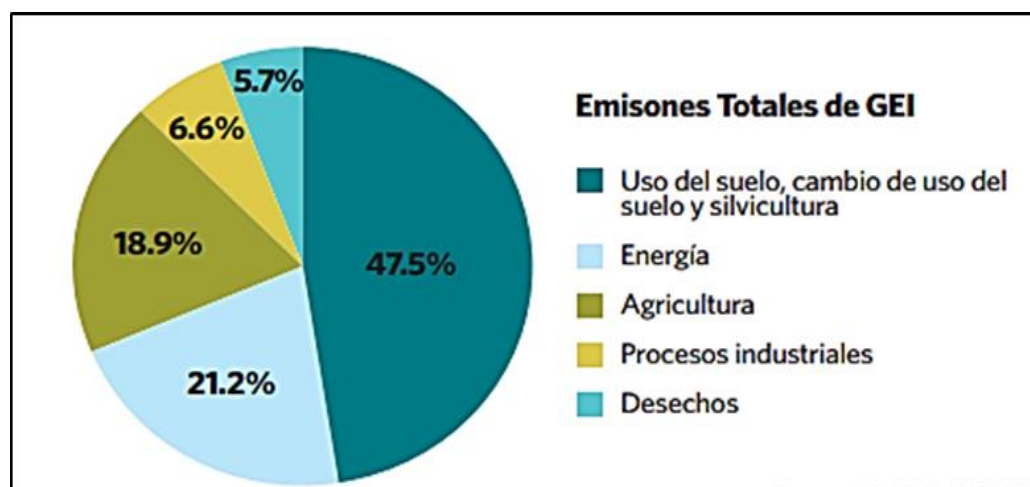
Elementos gaseosos de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda reflejada por la superficie terrestre, la atmósfera y las nubes (Benavides Ballesteros y León Aristizabal, 2007). Los principales GEI que se encuentran en la atmósfera terrestre son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el ozono (O_3) y el vapor del agua (H_2O), además existen un conjunto de gases íntegramente creados por el ser humano como los halocarbonos.

2.2.6. Gases de efecto invernadero en el Perú

De acuerdo al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2000, la mayor cantidad de emisiones de GEI corresponde al cambio de uso del suelo y silvicultura con un 47,5 % del total de emisiones a nivel nacional; siendo la conversión de bosques a pasturas y cultivos agrícolas la causa de la deforestación (110 368 Gg de CO_2eq); mientras que la biomasa forestal y otros estratos leñosos son la principal y única fuente que contribuye a la remoción de GEI con un total de (-53 541Gg de CO_2eq) (MINAM, 2010).

Figura 1

Distribución porcentual de las emisiones totales de los GEI por categorías



Nota. Tomado de *El Perú y el Cambio Climático* (p.27), por MINAM, 2010 adaptado de MINAM, 2009.

2.2.7. Dióxido de carbono

National Geographic (2010) indica que es uno de los GEI que provocan, en mayor medida, el incremento de la temperatura global. Es un gas generado en la respiración de los seres vivos y sobretodo emitido por diversas actividades antropicas.

Se emite en grandes cantidades al usar combustibles fósiles para la generación de energía y satisfacción de las necesidades de la comunidad (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2016). Sin embargo, la porción de CO₂ emitida por la combustión de fósiles varia cada año debido a la elevada variabilidad natural de los sumideros de CO₂ (WMO, 2018).

2.2.8. Carbono

Elemento químico que circula entre la atmósfera, los océanos, el suelo y el subsuelo, constituye la estructura de los seres vivos, y forma reservorios o almacenes de carbono (Burbano Orjuela, 2018).

El movimiento del carbono entre la atmósfera y reservorios terrestres es el resultado del proceso natural de la fotosíntesis y respiración, además de la emisión de gases generados en las actividades antropogénicas (Rügnitz Tito *et al.*, 2009).

2.2.9. Ciclo del carbono

Este proceso se considera como una serie de cambios por los cuales pasa el carbono a lo largo del tiempo, siendo esencial en la regulación climática de la superficie terrestre (CONAFOR, 2013).

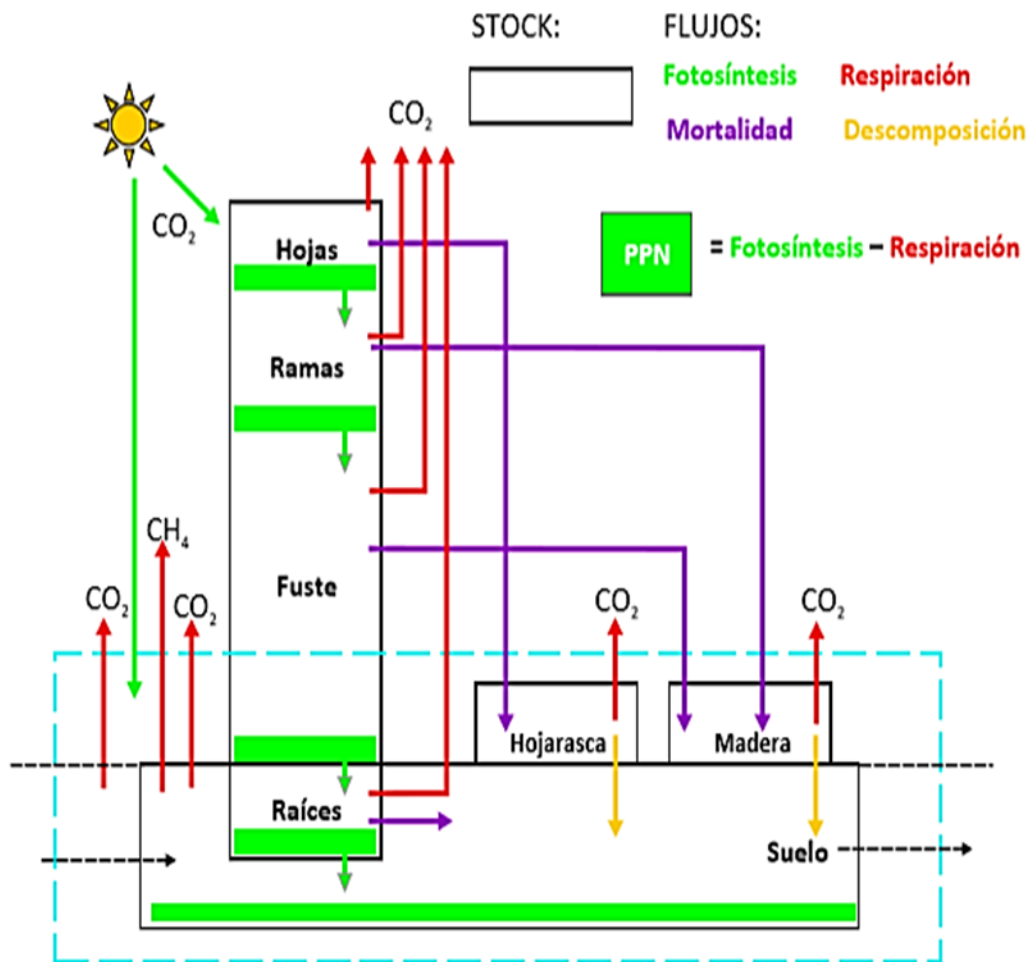
- a. Ciclo biológico del carbono:** Comprende el intercambio de CO₂ entre los seres vivos y la atmósfera, procesos que pueden durar días hasta miles de años. El carbono es liberado a la atmósfera producto de la respiración o descomposición de los residuos, así como de las actividades antrópicas, y es fijado a través del proceso de fotosíntesis en el cual el carbono que se encuentra en la atmósfera es absorbido por los vegetales en forma de gas carbónico y en forma de ión bicarbonato, el cual es regresado a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (Benavides Ballesteros y León Aristizabal, 2007).
- b. Ciclo biogeoquímico del carbono:** Proceso dinámico de transferencia de carbono entre la atmósfera, litósfera e hidrósfera. El CO₂ atmosférico se disuelve con el agua y en el océano se transforma en carbonato de calcio, compuesto que es fijado al fitoplancton a través de la respiración y al descomponerse se depositan en el lecho marino, siendo devuelto a la atmósfera mediante las erupciones volcánicas luego de la fusión de las rocas que lo contienen (Benavides Ballesteros y León Aristizabal, 2007).
- c. Ciclo del carbono en los bosques:** El CO₂ se incorpora a los procesos metabólicos mediante la fotosíntesis, para luego participar en la composición de

las materias primas y formar parte de las estructuras (follaje, tronco, ramas y raíces) (Ordóñez y Masera, 2001).

Honorio Coronado y Baker (2010) refieren que para entender este ciclo, es importante diferenciar entre un stock y un flujo de carbono. En la Figura 2 se representa el stock de carbono (cajas negras) como aquello almacenado en los diferentes compartimientos y los flujos (flechas) aquellos que afectan el stock. El stock de un bosque lo representa la biomasa viva, necromasa y carbono en la materia orgánica del suelo. La fotosíntesis, la respiración celular y mortandad (troncos, ramas, hojas y raíces) son evaluados para cuantificar los flujos de carbono. El carbono de la biomasa es fijado a través de la fotosíntesis, sin considerar el carbono empleado en la respiración se denomina productividad primaria neta (barras horizontales) donde son medidos el crecimiento del fuste y el aumento de ramas, hojas y raíces.

Figura 2

Carbono en los bosques (stock y flujos)



Nota. El Gráfico representa los stocks y flujos de carbono en un bosque tropical.

Tomado de *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos* (p.12), por E.N. Honorio Coronado, T.R. Baker, 2010, Lima:

Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana/Universidad de Leeds.

2.2.10. Mercado de carbono

Se refiere al desarrollo de actividades enfocadas a minimizar o absorber GEI con el fin de mitigar el cambio climático (Samayoa, 2011).

Sistema establecido con la finalidad de intercambiar bonos de carbono, negociar los Permisos de Emisión, Certificados de Reducción de Emisiones basadas en proyectos y los Certificados de Reducción de Emisiones Voluntarios. Los mercados de carbono son de cumplimiento y se establecen en el protocolo de Kyoto o voluntario por gobiernos y empresas que negocian reducciones certificadas de emisiones (Díaz-Cruz, 2016) .

2.2.11. Bosques

Tierras forestales provistas de árboles superior a 5 m de altura o especies con potencial de alcanzar esta altura *in situ* y que ocupan más de 0,5 ha; así mismo, la cubierta de copas es superior al 10 % (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2012).

Ecosistemas donde predominan especies vegetales de porte arbóreo en cualquier etapa de desarrollo, con cobertura de copa superior al 10% en condiciones áridas y semiáridas y 25 % en ambientes favorables (SERFOR, 2015) .

Los bosques son reservas de diversidad biológica y genética, que protegen al suelo de la degradación, además son fuente de provisión de madera, leña, frutos, especies medicinales, entre otros y que generan beneficios económicos en el país (MINAM, 2011).

2.2.12. Beneficios de un bosque

Los bosques proporcionan beneficios a la sociedad y al planeta pues contribuye a mejorar la calidad de vida, proveer aire y agua limpia, así mismo a conservar la biodiversidad y responder al cambio climático (FAO, 2018a).

Ecosistemas que brindan diversos productos para satisfacer las necesidades de la humanidad, proporcionando combustible, frutos e incluso carne, además brindan servicios ecosistémicos como regulación climática, protección del suelo y aire y la regulación de la temperatura, humedad y el ciclo hidrológico (MINAM, 2016).

2.2.13. Bosques Montanos

Los Andes forman la cadena montañosa más extensa del planeta, abarcando más de siete mil kilómetros con latitudes tropicales, subtropicales y templados (Tejedor Garavito *et al.*, 2012). Albergan la mayor biodiversidad específica y de ecosistemas, encontrándose diversos tipos de bosques a diferentes altitudes y latitudes (Kómetter, 2011).

Los bosques montanos, bosques andinos o también denominados bosques de los andes tropicales, se distribuyen en Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y Venezuela (Rasal-Sánchez *et al.*, 2012). Estos ecosistemas son esenciales en la abastecimiento de servicios ambientales esencialmente relacionados al ciclo hidrológico, regulación climática y retención y almacenamiento de carbono (Cuesta *et al.*, 2009).

En el Perú, los bosques montanos nublados se extienden a lo largo del eje noreste a sureste en la vertiente oriental andino a un determinado rango altitudinal donde la humedad del se condensa formando las nubes (MINAM, 2014); denominado en muchos casos como bosque de neblina. El término también es utilizado para caracterizar el área andina que se ubica sobre 1000 m s.n.m. (Kómetter, 2011).

Ecosistemas con una alta diversidad y endemismo con árboles que alcanzan incluso 15 m de altura y sus fustes se encuentran cubiertos por plantas musgos, orquídeas, bromelias, helechos y líquenes; asimismo, se distribuyen en estos ecosistemas helechos arborescentes (Rasal-Sánchez *et al.*, 2012). Son ecosistemas altamente amenazados, pues están sometidos a deforestación y degradación (MINAM, 2011).

2.2.14. Carbono almacenado

El carbono es fijado por la vegetación en un determinado momento en los diferentes compartimientos (Sánchez-Cámara, 2017), es por ello que la reserva de carbono en los bosques está en función del manejo forestal, la composición florística, distribución, estructura y edad (Razo-Zárate *et al.*, 2013).

2.2.15. Almacenamiento de carbono como servicio ambiental

La fijación de carbono constituye un servicio ambiental importante en el ecosistema, es un proceso que constituye la transformación de carbono atmosférico a carbono orgánico (Yaranga Cano y Custodio Villanueva, 2013).

Para minimizar la cantidad de CO₂ en la atmósfera, se requiere que la vegetación absorba este gas mediante el proceso de la fotosíntesis, actuando como sumideros de C en forma de biomasa vegetal (Avendaño Hernandez *et al.*, 2009); al mismo tiempo, que los vegetales absorben el carbono también lo liberan a la atmósfera durante el proceso de respiración y descomposición de las plantas (Percy y Jandl, 2003).

Estimar la cantidad de biomasa de las especies vegetales es importante pues permite calcular el carbono que captura y almacena el bosque, pudiendo estimar la magnitud del servicio ecosistémico que brinda y tomar medidas referentes al manejo de los recursos naturales (Avendaño Hernandez *et al.*, 2009).

2.2.16. Biomasa

Jumbo Salazar *et al.* (2018) sostienen que: “La biomasa forestal forma parte del ciclo del carbono constituyendo un mecanismo importante para investigaciones de cambio climático” (p.54).

2.2.17. Biomasa aérea o arbórea

Constituye la biomasa de los árboles que va desde la base hasta la copa de los árboles (Dauber *et al.*, 2000).

La fracción aérea se divide en:

- a. Biomasa fustal:** Biomasa que va desde la base hasta la primera ramificación del árbol (Dauber *et al.*, 2000).
- b. Biomasa foliar:** Material vegetal desde la primera ramificación hasta el punto más alto de la copa (Quiceno Urbina *et al.*, 2016).

El MINAM (2009) sostiene que la biomasa de los árboles se basa en el volumen del árbol que se obtiene del diámetro y altura; además de la arquitectura y densidad, edad, historia de vida y factores ambientales (topografía, pendiente, etc.).

2.2.18. Biomasa aérea y carbono

El carbono retenido en la biomasa aérea de las especies vegetales representa el reservorio más importante, siendo fácilmente eliminado a la atmósfera en la deforestación y degradación de los bosques (Hernández Stefanoni, 2013). El carbono almacenado se estima por extrapolación de la cantidad de biomasa (Cubero Moya y Rojas Piedra, 1999).

2.2.19. Inventario forestal

Martínez Salgado (2009) refiere que es instrumento básico para la planificación de un manejo sostenible del bosque, permitiendo estudiar las especies existentes, la distribución diamétrica y volumen de cada individuo, además la ubicación y ocupación espacial, los aspectos topográficos, hídricos y la infraestructura del bosque.

El MINAM (2009) sostiene que es necesario realizar un inventario forestal, ya sea para la caracterización de un bosque o cuantificación de biomasa teniendo en cuenta: la extensión de área, objetivos, el nivel de trabajo, precisión, el diseño y técnicas de muestreo.

MacDicken (como se citó en Fonseca-González, 2017) sostiene que el tamaño de las parcelas para inventarios de carbono puede definirse en función a los criterios indicados en la tabla 1.

Tabla 1

Tamaño de las parcelas para realizar inventarios de carbono

Tamaño de la parcela (m²)	Área por árbol (m²)	Aplicación
100	00 – 15	Vegetación muy densa.
250	15 – 40	Vegetación moderadamente densa.
500	40 – 70	Vegetación moderadamente esparcida.
666,7	70 – 100	Vegetación esparcida.
1 000	> 100	Vegetación muy esparcida.

Nota: Datos tomados de Fonseca-González (2017)

“A partir de los datos obtenidos por inventarios forestales, se puede realizar el cálculo para la obtención de biomasa mediante métodos basados por ecuaciones alométricas o factores de expansión” (Dauber *et al.*, 2000, p.1).

2.2.20. Métodos para estimar la biomasa aérea

MINAM (2009) sostiene que las especies arbóreas son aquellas que presentan mayor biomasa en un ecosistema. Existen dos métodos para su estudio:

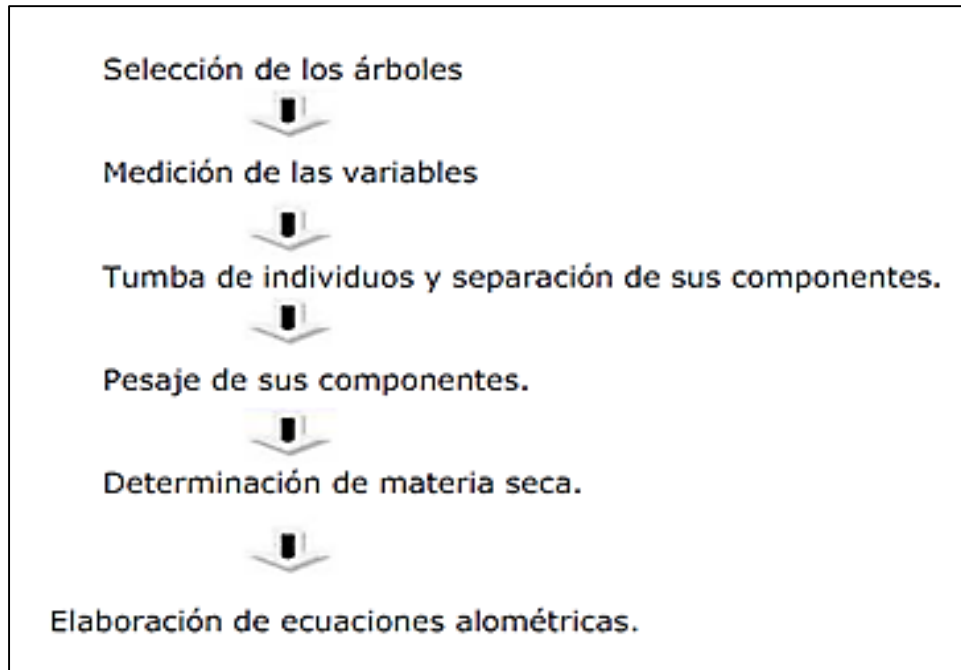
a. Método destructivo

Este método consiste en la extracción de los árboles, mediante la disección de sus componentes a evaluar: fuste, raíces, ramas y hojas para luego determinar el peso seco y peso fresco (MINAM, 2009). El método permite la elaboración de ecuaciones alométricas y factores de expansión (Yepes Quintero *et al.*, 2011).

MINAM (2009) presenta un esquema del desarrollo del método destructivo.

Figura 3

Esquema que representa el método destructivo para determinar la biomasa arbórea



Nota. Tomado de *Identificación de Metodologías existentes para determinar stock de carbono en ecosistemas forestales* (p. 15), por MINAM, 2009.

a. Método no destructivo

MINAM (2009) indica que este método permite estimar la biomasa del árbol de manera no destructiva o indirecta utilizando datos evaluados en campo. En este caso se utilizan ecuaciones alométricas o factores de expansión que permiten relacionar algunos datos tomados en campo de fácil medición (DAP, altura) (Rügnitz Tito *et al.*, 2009).

2.2.21. Modelo o ecuación alométrica

Es una ecuación matemática utilizada para determinar la biomasa que posee un árbol de manera no destructiva por medio de la medición de variables dasométricas (Rügnitz Tito *et*

al., 2009). Estas ecuaciones son generadas mediante análisis de regresión, en las que se correlaciona la biomasa de los árboles y las variables dasométricas (diámetro y altura) (MINAM, 2009).

Dependiendo del número de variables independientes (MINAM, 2009), una ecuación alométrica puede ser de regresión lineal simple, cuando se trate de una sola variable, o una regresión lineal múltiple en el caso que se evalúen más de dos variables. Es decir, las ecuaciones pueden poseer características lineales o no lineales, como se presentan a continuación:

$$\text{Regresión Lineal Simple: } Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$$

$$\text{Regresión Lineal Múltiple: } Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi}$$

$$\text{Regresión no Lineal: } Y = \frac{\beta_1}{(1 + e^{-(\beta_2 + \beta_3 X)})^{\beta_4}} \beta_5$$

Donde:

Y = variable dependiente (Cantidad de biomasa en Kg)

X₁, X₂... + X_p = variables independientes (DAP, altura, etc.)

β₀, β₁, β₂...β_p = son las constantes o coeficientes del modelo

2.2.22. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea

A continuación, se presenta diferentes ecuaciones alométricas que han sido desarrolladas para determinar la biomasa de árboles, basados en la medición del diámetro, altura y densidad.

Brown *et al.* (1989) establecieron ecuaciones de regresión para estimar la biomasa aérea total (kg/árbol) en bosques tropicales según zona de vida.

Tabla 2

Modelos de regresión para estimar la biomasa aérea de bosques tropicales por grupo de zona de vida

	Zona de vida	Ecuación	R ²		
			n	(adj)	MSE
[1]	SECO	$Y = 34,4703 - 8,0671(D) + 0,6589(D^2)$	32	0,67	0,02208
[2]	HÚMEDO	$Y = 38,4908 - 11,7883(D) + 1,1926(D^2)$	168	0,78	0,06181
[3]		$Y = \exp(-3,1141 + 0,9719 \ln(D^2 H))$	168	0,97	0,1161
[4]		$Y = \exp(-2,4090 + 0,9522 \ln(D^2 H \rho))$	94	0,99	0,06079
[5]	MUY	$Y = \exp(1,0710 + 0,5677 \ln D)$	3824	0,61	0,07495
[6]	HÚMEDO	$Y = 13,2579 - 4,8945(D) + 0,6713(D^2)$	69	0,90	0,02247
[7]		$Y = \exp(-3,3012 + 0,9439 \ln(D^2 H))$	69	0,90	0,2110
[8]		$Y = \exp(1,2017 + 0,5627 \ln D)$	69	0,74	0,4299

Nota: Datos adaptados de Brown *et al.* (1989).

Y: biomasa en kg/árbol D: DAP en cm H: altura del árbol en m

ρ : Densidad de la madera en g/cm³

Existen ecuaciones alométricos para determinar la biomasa basadas en el diámetro (DAP), densidad (ρ) de la madera y la altura (H) descritos en tabla 3, aplicados para árboles tropicales ≥ 5 cm diámetro incluyendo los bosques montanos y para bosques que reciben precipitación media anual de 3 500mm (Chave *et al.*, 2005; Chave *et al.*, 2014).

Tabla 3

Modelos alométricos utilizados para estimar biomasa aérea en especies tropicales

Autor	Ecuación
Chave <i>et al.</i> (2005)	$Y = \exp(-2,977 + \ln(\rho D^2 H)) = (0,0509 \rho D^2 H)$
Chave <i>et al.</i> (2014)	$Y = \rho * \exp(-1,499 + 2,148 \ln(D) + 0,207 (\ln(D))^2 - 0,0281 (\ln(D))^3)$
Chave <i>et al.</i> (2014)	$Y = 0,0673 (\rho D^2 H)^{0,976}$

Nota: Datos tomados de Chave *et al.* (2005), Chave *et al.* (2014)

Meza Chávez (2015) refiere que para calcular la biomasa aérea se debe aplicar la ecuación matemática sugerida por Higuchi y Carvalho (1994).

$$Y = a * DAP^b * h^c$$

Dónde:

Y: Biomasa en kg

DAP: Diámetro a la altura del pecho en cm

h: Altura del árbol en m

$a=0,026$

$b=1,529$

$c=1,747$

Lozano Sivilsaca *et al.* (2018) establecen ecuaciones alométricas para determinar la biomasa en el componente arbóreo para especies ≥ 5 cm de DAP en bosques montanos. Estos autores presentan modelos descritos en la tabla 4, utilizados para evaluar la biomasa aérea en la investigación, con un R^2 ajustado superior al 80 % donde los parámetros de cada modelo fueron significativos ($p < 0,0001$).

Tabla 4*Ecuaciones alométricas para estimar biomasa encima del suelo*

N	Ecuación	ECMP				
		R ²	R ² Aj	(%)	AIC	BIC
1	$B = 0,00062D^2 - 0,07$	0,80	0,80	0,17	1370,23	1385,98
2	$B = 0,00088D^2 - 0,03D + 0,04H - 0,08$	0,84	0,84	0,14	938,39	964,64
3	$\ln(B) = 1,00\ln D + 1,95\ln H - 10,37$	0,98	0,98	0,07	178,91	199,91

Nota: Datos tomados de Lozano Sivisaca *et al.* (2018)**2.2.23. Método para estimar carbono**

Para estimar el carbono de la biomasa se puede aplicar lo indicado por Fonseca-González (2017), quién sostiene que, en caso de no existir datos disponibles, el carbono representa el 0,45 y 0,5 de la biomasa seca, ello es aplicable a varios tipos de bosques y plantaciones forestales. Cabe indicar que esta propuesta fue realizada por varios autores como Brown & Lugo (1984); Gaillard *et al.*, (2002); IPCC (1996)

2.3. Marco conceptual**2.3.1. Altura**

Variable fundamental para medir a las diferentes formas de vida vegetal desde la base de árbol hasta la cima de la copa (MINAM, 2015).

2.3.2. Biomasa

La biomasa lo constituye la materia orgánica vegetal viva o muerta por unidad de área (Escobar Carmona, 2016).

2.3.3. Biomasa aérea

Constituido por el material vegetal de los árboles, incluye el fuste, corteza, ramas y hojas (Dauber *et al.*, 2000).

2.3.4. Biomasa forestal

La biomasa forestal está conformada por la biomasa encima y debajo del suelo (raíz) de los árboles (Escobar Carmona, 2016).

2.3.5. Cambio climático

Jumbo Salazar *et al.* (2018) lo definen como la modificación de los patrones climáticos y afectan a los ecosistemas a nivel mundial.

2.3.6. Captura de carbono

Fijación del CO₂ atmosférico de manera directa o indirecta para dar lugar al almacenamiento de carbono en forma sólida y estable (Quiñe Macedo, 2009).

2.3.7. Carbono almacenado

Es la cantidad de carbono retenido en la biomasa de área un área determinada y que está en función a la diversidad y a las condiciones de clima y suelo (Palomino Contreras y Cabrera Carranza, 2007).

2.3.8. Carbono en la biomasa aérea

Corresponde a la cantidad de carbono retenido en la biomasa sobre el suelo, y que incluye fuste, ramas, semillas y hojas (FAO y SERFOR, 2017).

2.3.9. Ciclo de carbono

Proceso de almacenamiento y transferencia de moléculas constituidas de carbono entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos (Honorio Coronado y Baker, 2010).

2.3.10. Diámetro del fuste (DAP)

Es la longitud de la diagonal que pasa por el centro círculo y termina en los puntos en que toca toda la circunferencia circunscrita al realizar un corte horizontal del fuste (MINAM, 2015).

2.3.11. Dióxido de carbono

Gas de efecto invernadero más significativo en la atmósfera, siendo el cambio de uso del suelo la principal causa de su incremento a nivel mundial (Ordóñez y Masera, 2001).

2.3.12. Dosel

Copas de los árboles que presta protección y sombra al resto del bosque (FAO, 2018b).

2.3.13. Estimación de carbono almacenado

Cálculo del carbono retenido en la flora y que puede ser liberado a la atmósfera (Dossantos Macedo, 2014).

2.3.14. Stock de carbono

Carbono que se encuentra acumulado en los diferentes compartimientos (Honorio Coronado y Baker, 2010).

2.3.15. Variable dasométrica

Dato que se registra en la medición de los individuos (MINAM y SERFOR, 2017).

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1.Ubicación

La investigación fue realizada en el bosque montano del caserío Los Lanches que se ubica en el distrito y provincia de Chota, departamento de Cajamarca, en dirección noreste de la ciudad de Chota. Las parcelas muestreadas se ubican en rango altitudinal de 2726 a 2851 m s.n.m.

La información utilizada para el proceso de elaboración de mapas fue obtenida de la base datos de GEO GPS PERÚ (2017), como también de la mapoteca virtual del Gobierno Regional de Cajamarca (GRC). El área de estudio se ubica en la zona de vida Bosque húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT) (Figura 4).

Tabla 5

Puntos de parcelas

Nº de parcela	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m)
	ESTE	NORTE	
1	762356	9280131	2745
2	762119	9280007	2726
3	762991	9280295	2829
4	762680	9280589	2803
5	763077	9280660	2823
6	763278	9280689	2851
7	762847	9280835	2824

En la Tabla 5 se muestra las coordenadas geográficas de cada una de las parcelas evaluadas.

– Vías de acceso

Se accede al área de estudio por la carretera afirmada Chota – Conchan, aproximadamente a 12 km de la ciudad de Chota con un tiempo de viaje 30 minutos.

– **Hidrología**

El bosque montano del caserío Los Lanches se ubica en la cabecera de la microcuenca del río Doñana, afluente del río Chotano.

– **Clima**

Presenta una estación lluviosa en los meses de enero a abril y estación seca de junio a septiembre.

– **Ecología**

Según el mapa de zonas de vida de Holdrige, el lugar de estudio se encuentra ubicado en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT), a un rango altitudinal entre 2000 y 3000 m, presentando un clima húmedo templado con una temperatura media de 17°C y 12 °C y precipitación promedio anual de 1 500 mm (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).

– **Relieve y suelos**

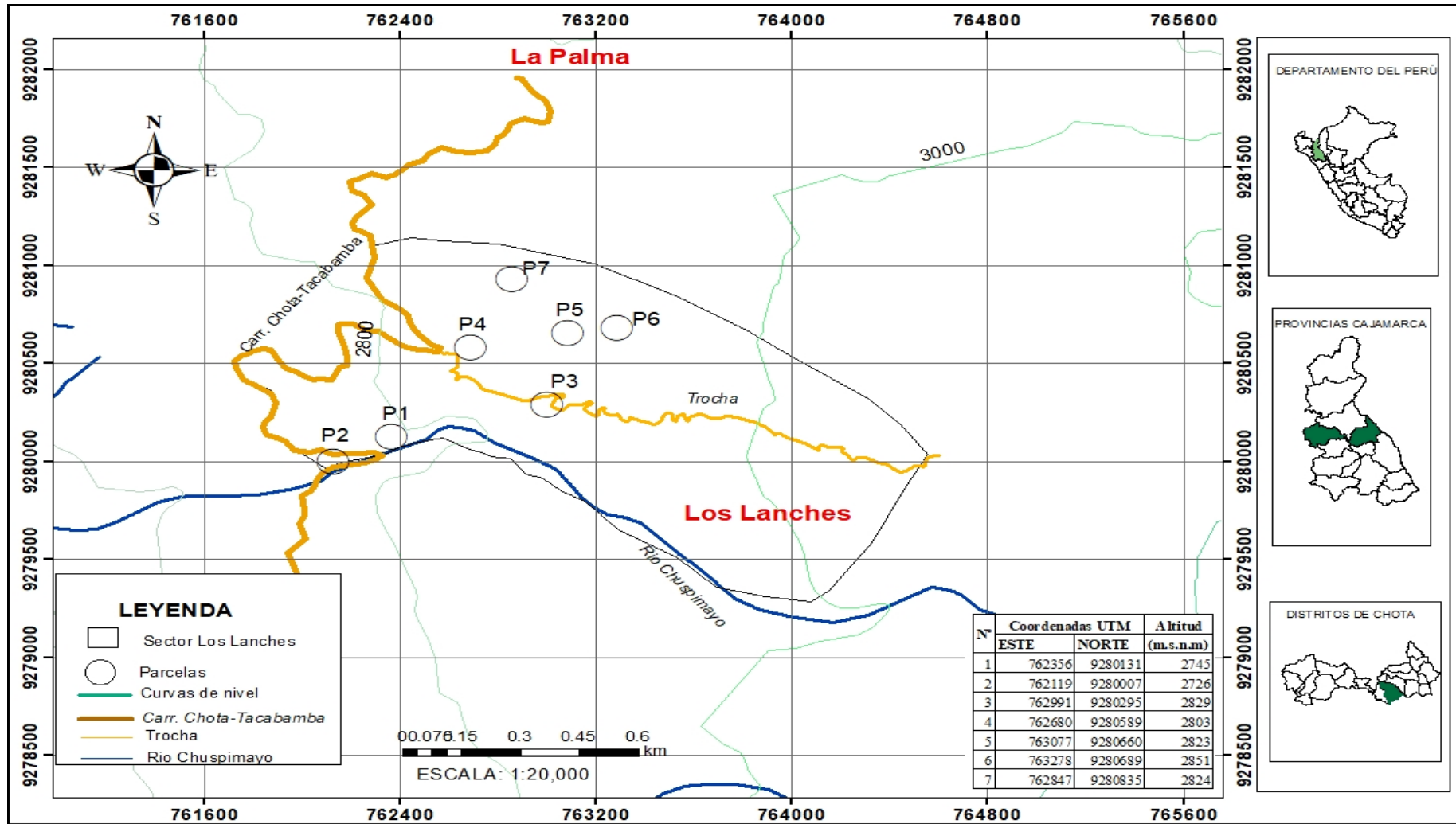
Presenta un relieve topográfico inclinado, con escasas áreas de topografía suave. Suelos con profundidad media de textura variable media y fina con un Ph superior a 7, el cual depende mucho del material litológico dominante, por lo general calcáreos (Instituto Nacional de Recursos Naturales[INRENA], 1995).

– **Vegetación**

La vegetación predominante en el área de estudio es de tipo arbórea cubiertos por abundantes musgos, líquenes, orquídeas y helechos epifitos, los árboles presentan alturas promedio de 9 m y la máxima de 22 m, con DAP promedio de 13 cm. Las familias de las especies mas abundantes son Chloranthaceae, Cunoniaceae, Melastomataceae y Lauraceae, ademas existe la presencia de helechos arborescentes con la familia Cyatheaceae.

Figura 4

Mapa de ubicación del área de investigación



3.2. Población y muestra

a. Población

Está constituida por toda el área del bosque montano Los Lanches, cuya superficie es de 43,31 ha.

b. Muestra

La muestra está constituida por 7 parcelas de 1 000 m² cada una. Dentro de cada parcela se evaluaron todos los individuos existentes, con DAP igual o mayor a 5 cm.

3.3. Variables e indicadores

Tabla 6

Variables e indicadores

Variables	Indicadores
Variable Independiente:	
	Especie
Taxonomía	Género
	Familia
Parámetros dasométricos	CAP/DAP
	Altura total
Densidad de la madera	g/cm ³
Variable dependiente:	
Biomasa aérea	t /ha
Carbono almacenado	t C/ha

3.4. Equipos, materiales y/o insumos

3.4.1. Equipos

- Cámara fotográfica digital
- GPS Garmin
- Hipsómetro
- Estufa

- Laptop

3.4.2. Materiales e insumos

- Archivador
- Bolsas
- Cartón
- Cartulina folcote
- Cinta métrica
- Libreta de campo
- Formatos
- Lapiceros
- Lápiz
- Machete
- Nylon
- Paja rafia
- Periódico
- Plumon tinta indeleble
- Prensa botánica
- Regla milimetrada
- Tijera telescópica
- Tela color negro
- Wincha

3.5. Metodología de la investigación

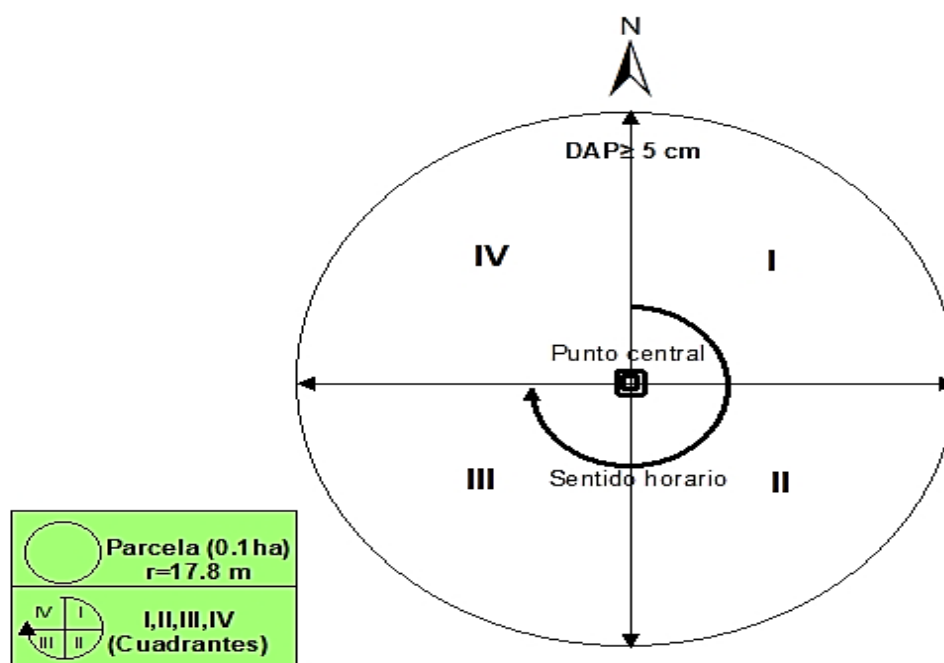
3.5.1. Fase de campo

a. Instalación de parcelas de medición

Se instalaron 7 parcelas circulares de 1 000 m², las que se ubicaron al azar dentro del área de estudio. MINAM (2009) afirma que al realizar un muestreo al azar se estará ejecutando un muestreo libre de parcialización llegando a la exactitud, además en cada parcela se tomó anotaciones de altitud y coordenadas UTM con GPS portátil. Cada parcela se instaló utilizando cuerdas de 17,8 m de radio, trazados desde el centro de la parcela hacia los cuatro puntos cardinales. El inventario de las especies con DAP \geq 5 cm se inició por el radio norte de la parcela siguiendo las manecillas del reloj, para aquellos individuos que se encontraron en los límites de la parcela, se tomo como criterio de inclusión que más de la mitad del tronco se ubique dentro de la parcela (Schlegel *et al.*, 2001).

Figura 5

Forma de la parcela instalada



En cada parcela, los datos de todas las especies arbóreas con DAP ≥ 5 cm fueron registrados en una plantilla de campo que contenía: N° parcela, N° de individuo, nombre común, nombre científico, familia, altura total, diámetro y observación (anexo 1).

b. Identificación de especies

Se colectaron muestras botánicas en estado vegetativo y/o fértil, con flores o frutos con el fin de facilitar la identificación taxonómica, fueron codificados en campo, con nombre común y especificaciones. Después de completado el proceso de herborización, la identificación botánica se realizó con el apoyo de profesionales especialistas en taxonomía de plantas.

c. Medición del diámetro

La medición de los individuos con DAP ≥ 5 cm se realizó con cinta métrica a una altura de 1,30 m sobre el nivel del suelo, como lo sugerido por diversos autores (Chave *et al.* 2005; Chave *et al.* 2014; Lozano Sivilaca *et al.*, 2018; Huamantupa-Chuquimaco *et al.*, 2017). Antes de la medición se limpió con cuidado la corteza del individuo con la finalidad de facilitar la medición.

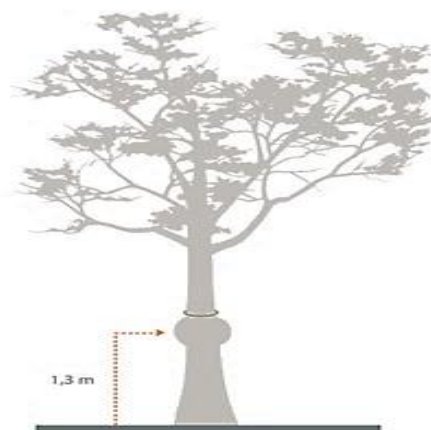
En campo se presentaron situaciones particulares que dificultaban la medición del diámetro del árbol, requiriendo una manera diferente en su medición. Para estos casos se aplicó los mismos criterios que utilizaron (Osinaga-Acosta *et al.* 2014).

Lianas y apoyantes: para la toma de datos se procedió a levantar todo tipo de lianas o apoyantes a 1,30 m del suelo que se encuentren adheridas al árbol sin cortar o romper, para luego colocar la cinta debajo de ellos y medir el diámetro.

Árboles dañados o deformes: en este caso si el árbol a medir presenta deformidad o daños a 1,30 m de suelo, se realizó la medición a 2 cm por encima de la deformidad y se registró la altura del punto donde se tomó el dato.

Figura 6

Árboles dañados o deformes



Nota: Tomado de *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido* (p.40), por O. Osinaga-Acosta, S. Baéz, F.Cuesta C., A. Malizia, J. Carilla, N. Aguirre, L. Malizia, 2014, Quito: CONDESAN/IER-UNT/COSUDE.

Árboles con tallos irregulares: si el árbol presenta irregularidad en toda la longitud de su tallo, se midió a 1,30 m de suelo como cualquier otro individuo.

Árboles multifasiales: cuando el árbol a medir presenta dos o más ramificaciones por debajo de 1,30 m, se midieron cada uno de los ejes y se registraron por separado.

Figura 7

Árboles que presentan dos o más ramificaciones (multifasiales)

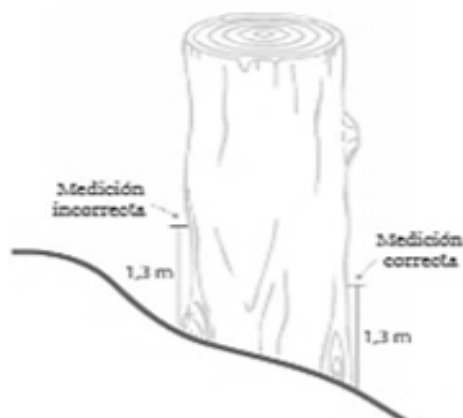


Nota: Tomado de *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido* (p. 42), por O. Osinaga-Acosta, S. Baéz, F. Cuesta C., A. Malizia, J. Carilla, N. Aguirre, L. Malizia, 2014, Quito: CONDESAN/IER-UNT/COSUDE.

Árboles en pendiente: se midieron los árboles a 1,30 m desde la parte baja de la pendiente.

Figura 8

Árboles en pendiente



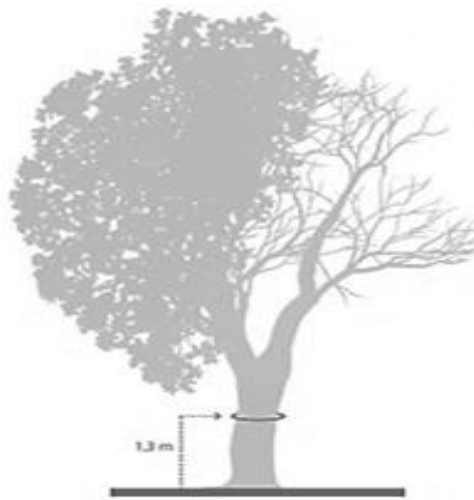
Nota: Tomado de *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido* (p. 42), por O. Osinaga –Acosta, S. Baéz, F.

Cuesta C., A. Malizia, J. Carilla, N. Aguirre, L. Malizia, 2014, Quito:
CONDESAN/IER-UNT/COSUDE.

Árboles con tallos quebrados: si los individuos presentan el tallo principal quebrado por encima de 1,30 m del suelo y aquellos que hayan perdido al menos la mitad de su copa.

Figura 9

Árboles que han perdido al menos la mitad de su copa

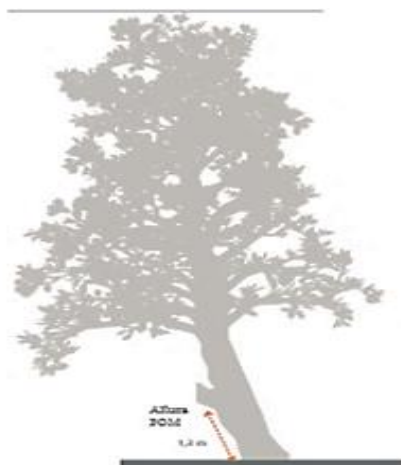


Nota: Tomado de *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido* (p.41), por O. Osinaga-Acosta, S. Baéz, F. Cuesta C., A. Malizia, J. Carilla, N. Aguirre, L. Malizia, 2014, Quito: CONDESAN/IER-UNT/COSUDE.

Árboles inclinados: si el tallo principal del árbol se encuentra parcial o totalmente inclinado, el dato se registra por el lado más cercano al suelo a 1,30 m.

Figura 10

Árboles inclinados parcial o totalmente

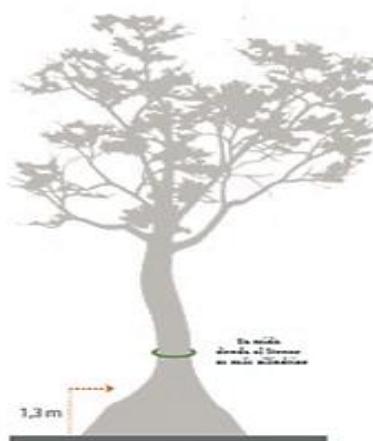


Nota: Tomado de *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido* (p.43), por O. Osinaga-Acosta, S. Baéz, F. Cuesta C., A. Malizia, J. Carilla, N. Aguirre, L. Malizia, 2014, Quito: CONDESAN/IER-UNT/COSUDE.

Contrafuertes o raíces tubulares: cuando el individuo presenta contrafuertes a 1,30 m sobre el suelo, se registra el dato a 50 cm por encima.

Figura 11

Árboles que presentan raíces tubulares



Nota: Tomado de *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido* (p.43), O. Osinaga-Acosta, S. Baéz, F. Cuesta C.,

A. Malizia, J. Carilla, N. Aguirre, L. Malizia, 2014, Quito: CONDESAN/IER-UNT/COSUDE.

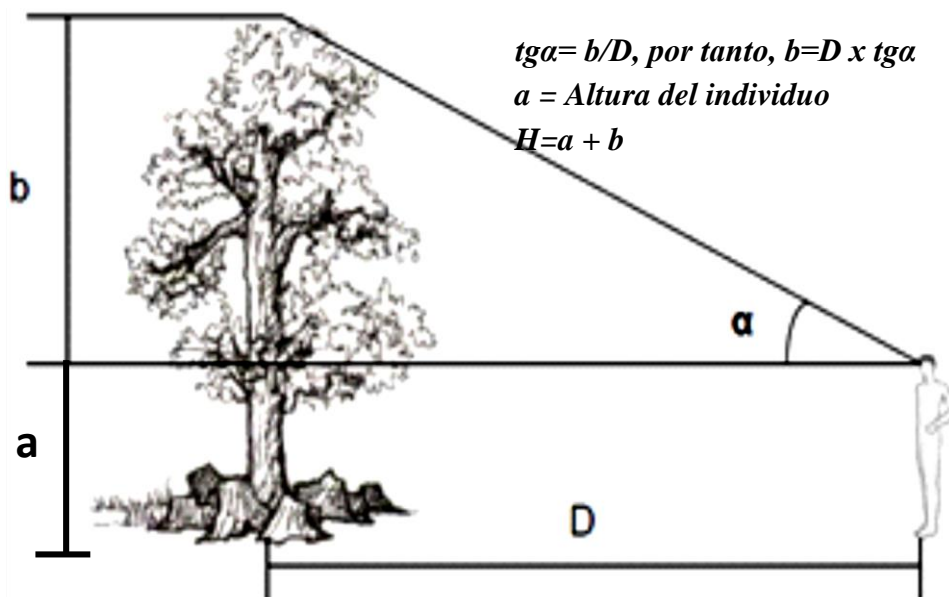
d. Medición de altura de los árboles

La medida de la altura se puede realizar por medio de equipos como clinómetros e hipsómetros, aplicando principios trigonométricos (Yepes Quintero *et al.*, 2011). En este estudio se realizó la medición de la altura de los individuos con $DAP \geq 5$ cm por medio del hipsómetro Blumme Leiss (Domínguez Escribano, 2010), cuyo fundamento trigonométrico se muestra en la (Figura 13).

Con el propósito de disminuir el error de medición y ajustar el uso del instrumento se realizó una medición control a un conjunto de árboles (Vargas Arata, 2019). La altura de cada árbol se midió desde el suelo hasta la cima de su copa (MINAM, 2015).

Figura 12

Principio trigonométrico Blume leiss



Nota: Adaptado de *Instrumentos para la medición de variables dasométricas* (p.6), por A. Domínguez Escribano, 2010.

Sin embargo, para aquellos individuos que se encontraron en pendiente y se tuvieron problemas en el momento de determinar la altura con este instrumento, se midió la altura con una vara de 5 m de longitud graduada cada metro (MINAM, 2015).

3.5.2. Post campo

Los datos registrados en campo se tabularon en una planilla de microsoft Excel para el preprocesamiento y depuración de todos los datos obtenidos en campo, posteriormente se realizó el cálculo de los parámetros de la biomasa aérea y carbono almacenado de acuerdo con los objetivos planteados.

a. Cálculo de biomasa aérea

$$BA = f(\text{datos dimensionales})$$

Donde:

BA: Biomasa aérea sobre el suelo (Kg/individuo)

f (datos dimensionales): Modelo alométrico relacionado a la biomasa sobre el suelo con los datos dimensionales medidos en campo.

Para estimar la biomasa de los individuos arbóreos se aplicó el método no destructivo, utilizando la ecuación alométrica propuesta por Alvarez *et al.* (2012), modelo que ha sido reportado científicamente y se ajusta a las condiciones climáticas del área de estudio. Esta ecuación estima la biomasa individual de los árboles en función del DAP a 1,30 m sobre el nivel del suelo, la altura (H) y la densidad de la madera (ρ), aquí se consideraron todos los árboles vivos dentro de cada parcela de 1 000 m² con $DAP \geq 5$ cm.

$$BA_{\text{árboles}} (\text{Kg}) = \exp(-1,993 + (0,932 * \text{LnDAP}^2)) * (H * \rho) \quad (1)$$

Donde:

$BA_{\text{árboles (kg)}}$: biomasa área en kg

ρ : densidad de la madera en g/cm^3

DAP: diámetro a la altura del pecho en cm

H: altura total del árbol en m

Para conocer el valor de la densidad básica de la madera (ρ) para cada individuo se utilizó la base de datos de las densidades a nivel mundial (*Global Wood Density Database*) (Zanne *et al.*, 2009). Para aquellas especies sin información de ρ en el Database, se utilizó el valor promedio de ρ por género o el valor promedio de ρ por familia. Sin embargo, para las especies que no se haya establecido o se desconozca su valor de ρ a nivel de especie, género o familia, se utilizó el valor promedio ponderado calculado en base al valor ρ de todas las especies identificadas en el estudio según lo sugerido por Ramírez Medina (2016).

Para determinar la biomasa individual de los helechos arbóreos se utilizó la ecuación alométrica desarrollada por Weaver (Gonzalez *et al.*, 2007).

$$BA_{\text{helechos (Kg)}} = 3,82h - 3,62 \quad (2)$$

Donde:

$BA_{\text{helechos (kg)}}$: biomasa área en kg

h: altura total en m

3,8 y 3,62 son constantes

b. Biomasa aérea total

$$BAT_{kg} = BA_{\text{árboles (kg)}} + BA_{\text{helechos (kg)}} \quad (3)$$

Donde:

BAT: biomasa aérea total en kg

BA _{árboles (kg)}: biomasa aérea en kg

BA _{helechos (kg)}: biomasa aérea en kg

c. Biomasa aérea en toneladas (t)

$$BAT_t = BA_{kg}/1000 \quad (4)$$

Donde:

BAT _t: biomasa aérea total en t

BA _{kg}: biomasa aérea total en kg

d. Biomasa aérea por hectárea

López (2002) citado por Dossantos (2014) sostiene que para calcular los valores por hectárea de la biomasa aérea de los individuos evaluados en las parcelas, se divide la biomasa total de la parcela por el área de la parcela en ha.

$$BAT_{t/ha} = BA_t \times \frac{1}{A} \quad (5)$$

Donde:

BAT _{t/ha}: biomasa aérea total en t/ha

BA_t: biomasa aérea total por parcela en t

A: área de la parcela en ha

e. **Carbono almacenado en la biomasa aérea**

Una vez obtenida la biomasa de los individuos en toneladas por ha, se multiplica por el contenido de carbono ponderado. El factor comúnmente utilizado es 0,5 ya que en promedio la materia vegetal seca contiene un 50 % de carbono el cual se expresa en t/ha.

$$C = BAT_{t/ha} * 0,5 \quad (6)$$

Dónde:

C: carbono almacenado (t C/ha).

BAT_{t/ha}: biomasa aérea total (t/ha)

3.6. Análisis estadístico

El procesamiento de datos se realizó mediante estadística descriptiva usando el programa Excel y IBM SPSS Statistics 25. La presentación de resultados se realizó a través de tablas, gráficos y figuras en las que se muestran los valores del número de individuos por clase diamétrica, biomasa por especie, familia o género, cantidad de biomasa en cada parcela, cantidad de carbono por ha, etc.

Para el análisis e interpretación de resultados se utilizaron estudios realizados en ecosistemas similares, a través de las cuales los resultados obtenidos fueron comparados y discutidos.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se presentan los resultados de la biomasa aérea y carbono almacenado en el área muestreada del bosque montano del sector Los Lanches, distrito y provincia de Chota. En primer lugar, en la Tabla 7 se presenta el listado y abundancia de las especies registradas por cada parcela de evaluación.

4.1. Diversidad florística

Tabla 7

Diversidad y abundancia de las especies por parcela evaluada en el bosque montano Los Lanches

Familia	Nombre científico	Nº de parcelas							Aa (0,7ha)	Ar (0,7ha)
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7		
ADOXACEAE	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	0	1	7	0	3	0	0	11	1,20 %
ARALIACEAE	<i>Oreopanax eriocephalus</i> Harms	1	0	0	0	0	0	0	1	0,12 %
BIGNONIACEAE	<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	0	14	0	3	0	0	0	17	2,04 %
CHLORANTHACEAE	<i>Hedyosmum scabrum</i> (Ruíz & Pav.) Solms	0	0	46	51	21	14	33	165	19,81 %
CLETHRACEAE	<i>Clethra obovata</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	0	0	0	0	1	0	0	1	0,12 %
CLUSIACEAE	<i>Clusia pseudomangle</i> Planch. & Triana	16	34	1	1	0	1	0	53	6,36 %
COMPOSITAE	<i>Baccharis cf. brachylaenoides</i>	0	0	0	0	1	0	0	1	0,12 %
	<i>Gynoxys</i> sp.	0	1	0	0	0	0	0	1	0,12 %

Familia	Nombre científico	N° de parcelas							Aa	Ar
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	(0,7ha)	(0,7ha)
CORNACEAE	<i>Cornus peruviana</i> J.F. Macbr.	45	31	0	6	0	6	4	92	11,04 %
CUNONIACEAE	<i>Weinmannia elliptica</i> Kunth	0	0	62	9	10	3	4	88	10,56 %
CYATHEACEAE	<i>Cyathea caracasana</i> (Klotzsch) Domin	0	0	1	0	2	5	3	11	1,32 %
ELAEOCARPACEAE	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	1	3	0	0	0	0	0	4	0,48 %
LAURACEAE	<i>Nectandra lineatifolia</i> (Ruiz & Pav.) Mez	0	0	6	5	19	2	14	46	5,52 %
LAURACEAE	<i>Ocotea</i> sp.	0	0	0	0	0	2	0	2	0,24 %
	<i>Persea</i> sp.	0	0	0	2	0	0	0	2	0,24 %
MELASTOMATAACEAE	<i>Axinaea nitida</i> Cogn.	0	0	0	9	21	13	2	45	5,40 %
	<i>Miconia</i> sp.	0	0	15	6	2	2	0	25	3,00 %
MELIACEAE	<i>Ruagea glabra</i> Triana & Planch.	6	0	12	5	2	1	4	30	3,60 %
MYRICACEAE	<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Willbur	0	0	0	6	0	0	0	6	0,72 %
	<i>Myrcianthes discolor</i> (Kunth) McVaugh	10	7	3	0	1	0	3	24	2,88 %
MYRTACEAE	<i>Myrcianthes</i> sp.	0	0	5	0	2	0	2	9	1,08 %
	<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) Mc Vaugh	7	1	0	0	0	1	2	11	1,32 %
PENTAPHYLACEAE	<i>Ternstroemia jelskii</i> (Szyszyl.) Melch.	2	2	4	0	0	0	0	8	0,96 %
PIPERACEAE	<i>Piper</i> sp.	0	1	1	0	2	0	0	4	0,48 %
PRIMULACEAE	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	4	0	2	6	7	3	0	22	2,64 %

Familia	Nombre científico	Nº de parcelas							Aa	Aa	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	(0,7ha)	(0,7ha)	
RHAMNACEAE	<i>Rhamnus sphaerosperma</i> Sw.	0	5	0	0	0	0	0	5	0,60 %	
RUBIACEAE	<i>Palicourea cf. amethystina</i>	1	0	9	6	10	3	15	44	5,28 %	
SABIACEAE	<i>Meliosma</i> sp.	0	0	2	0	10	7	6	25	3,00 %	
SIPARUNACEAE	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) A. DC.	1	0	0	3	1	0	1	6	0,72 %	
VERBENACEAE	<i>Citharexylum</i> sp.	2	1	0	3	0	0	0	6	0,72 %	
	<i>NN1</i>	<i>NN1</i>	41	16	0	0	0	0	57	6,84 %	
	<i>NN2</i>	<i>NN2</i>	0	0	7	0	1	0	8	0,96 %	
	<i>NN3</i>	<i>NN3</i>	0	0	0	0	0	3	3	0,36 %	
Total			137	117	183	121	116	66	93	833	100,00 %

P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7: Número de parcelas

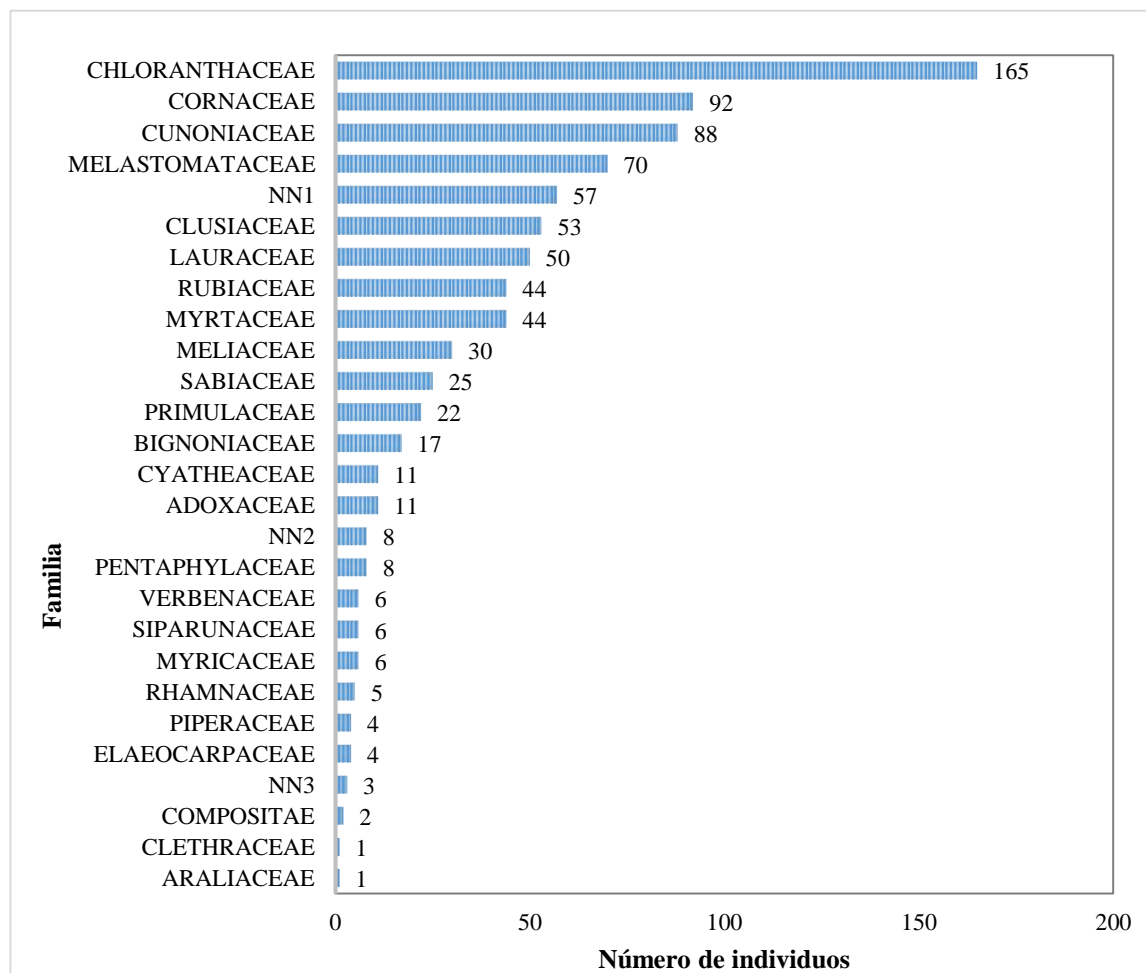
Aa: Abundancia absoluta

Ar: Abundancia relativa

Se registraron un total de 833 individuos con $DAP \geq 5\text{cm}$ en las 7 parcelas de 0,1 ha es decir un estimado de 1 190 individuos por ha, agrupados en 27 familias, 28 géneros y 33 especies. Un total de 3 especies no fueron identificadas. En promedio se encontró 119 individuos por parcela de 1 000 m², siendo la P3 la que presenta mayor número de individuos y P6 menos individuos. Estos resultados guardan similitud con otras investigaciones realizadas en bosques montanos de Cajamarca, es el caso del bosque de Protección Pagaibamba, Querocoto, donde se inventarió 1 291 árboles por ha, agrupadas en 58 especies, 44 géneros y 31 familias (Alva-Mendoza *et al.*, 2020). En el bosque montano El Cedro-San Silvestre de Cochán-San Miguel, se registraron 1 141 árboles por ha distribuidos en 27 especies, 24 géneros y 20 familias (Serrano Arribasplata, 2019).

Figura 13

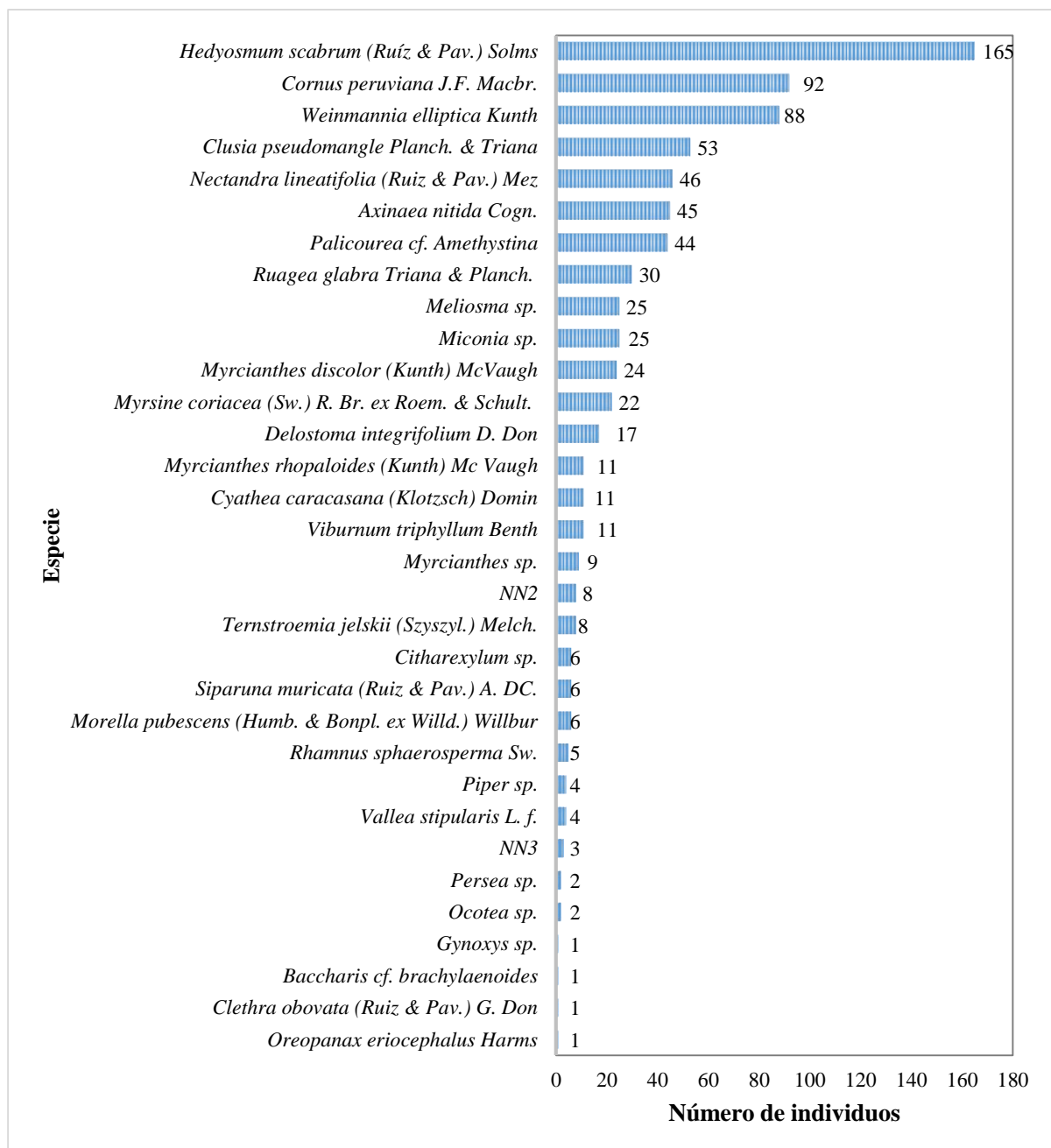
Número de individuos por familia



En la Figura 13 se observa que Choranthaceae es la familia con más individuos representada por *Hedyosmum scabrum* (Ruíz & Pav.) Solms, seguido de Cornaceae donde se identificó a la especie *Cornus peruviana* J.F. Macbr., Cunoniaceae representada por la especie *Weinmannia elliptica* Kunth, seguido de la familia Melastomataceae donde se registraron a las especies *Axinaea nitida* Cogn y *Miconia* sp.

Figura 14

Número de individuos por especie



En la Figura 14 se observa las tres especies con mayor abundancia en orden descendente son *Hedyosmum scabrum* (Ruíz & Pav.) Solms, *Cornus peruviana* J.F. Macbr., *Weinmannia elliptica* Kunth, por el contrario, las especies menos abundantes son *Oreopanax eriocephalus* Harms, *Clethra obovata* (Ruiz & Pav.) G. Don, *Baccharis cf. brachylaenoides* y *Gynoxys* sp. con solo un individuo en toda el área evaluada.

Los datos de campo registrados arrojan un DAP mínimo de 5 cm y máximo de 76,4 cm, con promedio de 13,2. La altura mínima registrada es de 2 m y la máxima de 22 m, con un promedio de 9,3 m, como se observa en (Tabla 8, Figura 15).

Tabla 8

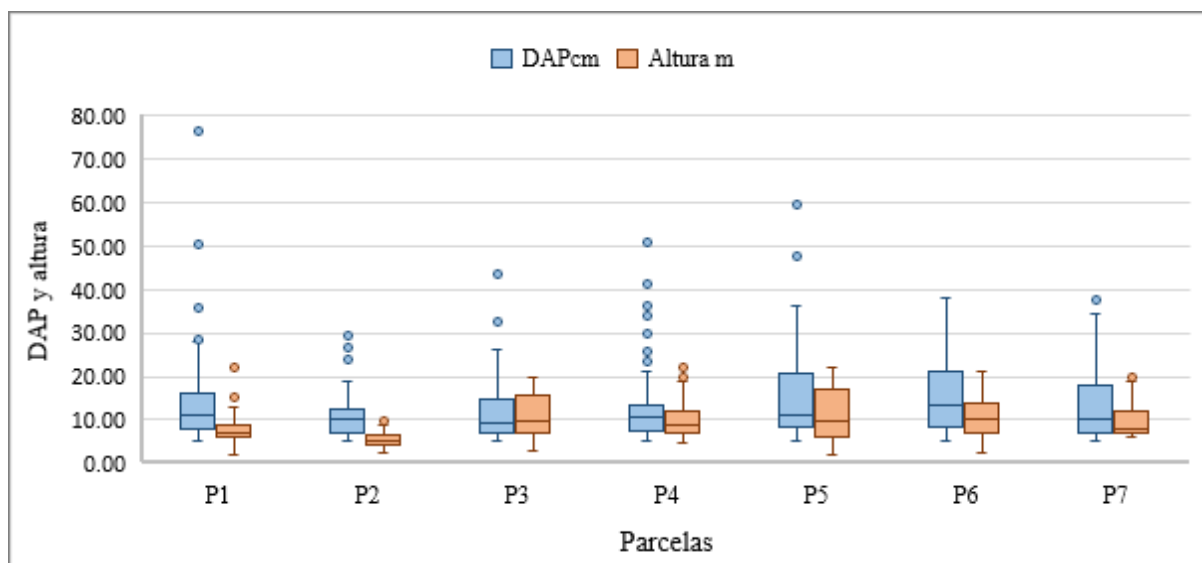
Variabilidad del DAP y la altura

	Estadísticos descriptivos						
	Rango	Mín	Máx	Media		Desviación	Varianza
				Estadístico	Desv. Error		
DAP	71,36	5,03	76,39	12,94	0,28	8,09	65,49
H	20,00	2,00	22,00	9,31	0,16	4,59	21,06

DAP: diámetro en cm; H: altura en m

Figura 15

Distribución del diámetro y altura de las especies inventariadas



Los DAPs registrados se agruparon en 8 clases diamétricas con un rango de 10 cm, el 73,47 % de individuos se encuentran en la primera clase con $DAP \geq 5$ y < 15 cm; además, se puede apreciar una limitada presencia de individuos a partir de 45 cm de DAP.

Tabla 9

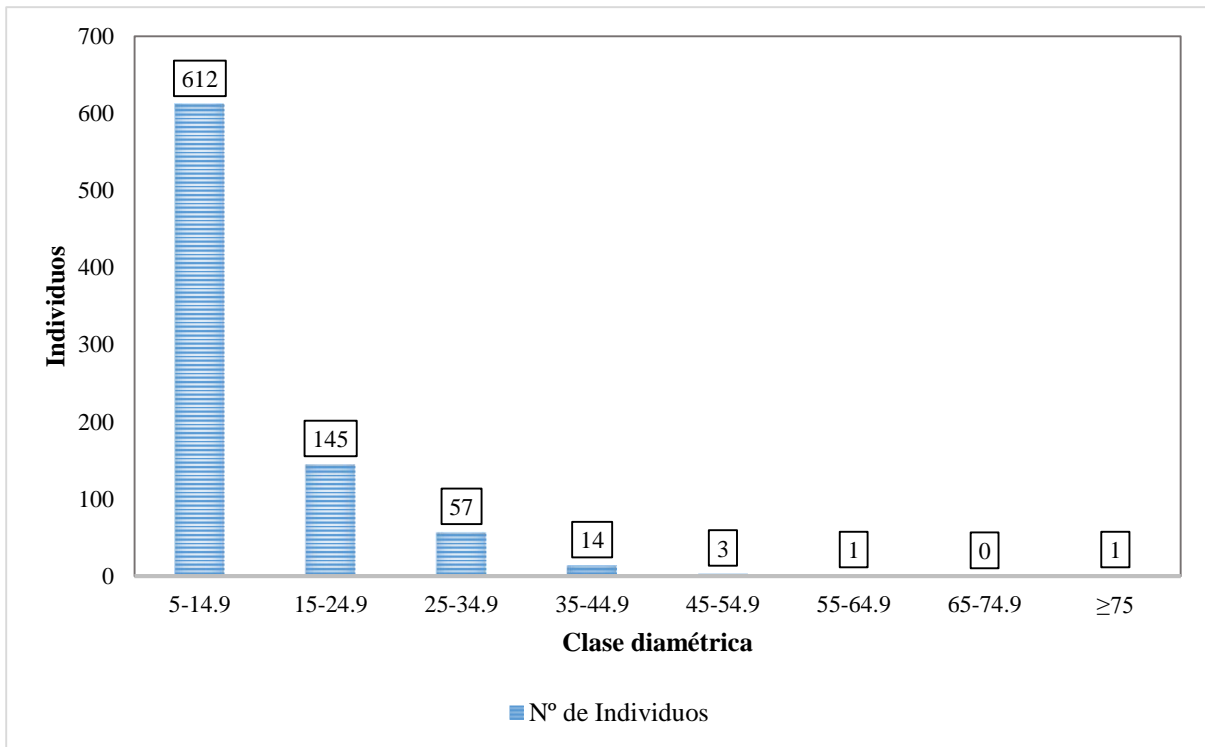
Distribución de clases diamétricas

Parcela	Clases diamétricas							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	5 -14,99	15-24,99	25-34,99	35-44,99	45-54,99	55-64,99	65-74,99	≥ 75
P1	97	28	8	2	1	0	0	1
P2	105	9	3	0	0	0	0	0
P3	140	31	11	1	0	0	0	0
P4	99	13	6	2	1	0	0	0
P5	72	25	15	2	1	1	0	0
P6	38	16	7	5	0	0	0	0
P7	61	23	7	2	0	0	0	0
Total	612	145	57	14	3	1	0	1
%	73,47%	17,41%	6,84%	1,68%	0,36%	0,12%	0,00%	0,12%

En la Tabla 9 se observa que la cantidad de individuos inventariados ocupan la primera clase diamétrica de rango 5 a 14,99 cm, con un total de 612 individuos seguida de la clase 15 a 24,99 cm con 145 individuos. Caso similar registraron Huamantupa-Chuquimaco *et al.*, (2017) y Ramírez Medina (2016) en sus investigaciones en los bosques andinos del sur peruano y bosque de neblina de Samanga, Piura, respectivamente donde se muestra la dominancia de las especies arbóreas de rango diamétrico de 5 a 15 cm seguidas de la clase 15 a 25 cm pudiendo rescatar que estos datos influirán directamente en el contenido de la biomasa.

Figura 16

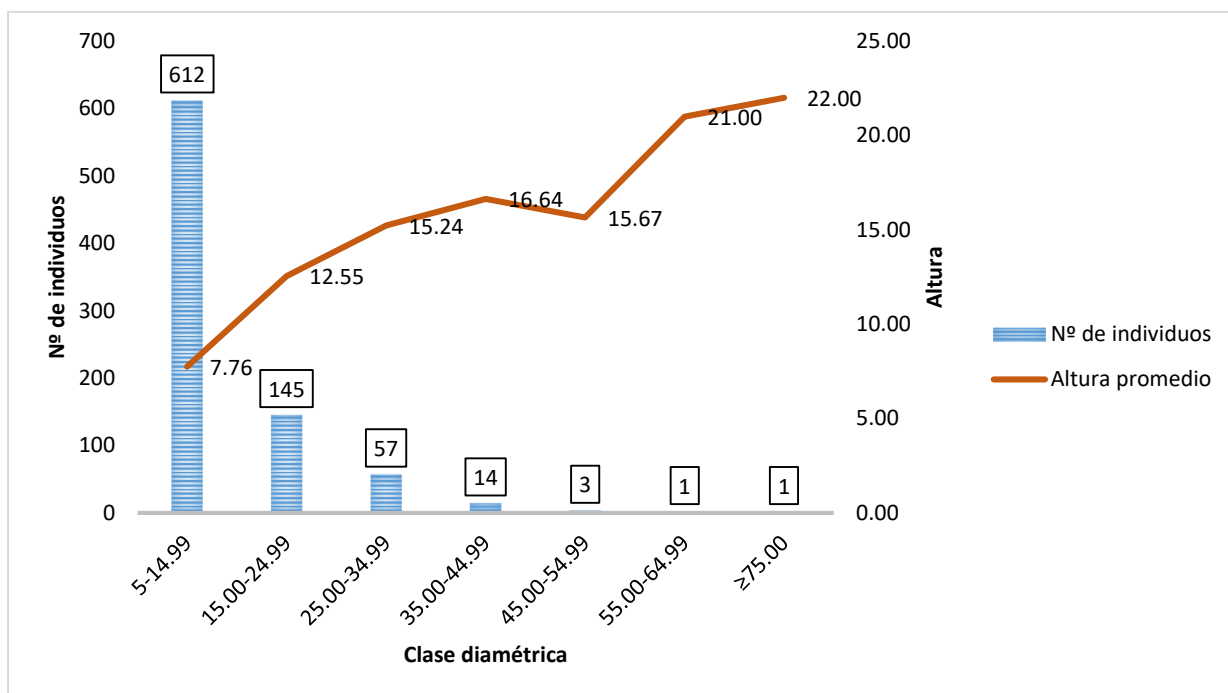
Número de individuos por clase diamétrica



En la Figura 16 se presenta la distribución de los árboles por clase diamétrica. Se aprecia una clásica “j” invertida, la que indica que existe mayor número de individuos en clases diamétricas bajas y menor número de individuos en clases altas. Este comportamiento es característico de los bosques naturales tropicales, donde la mayor cantidad de individuos se concentran en las primeras clases diámetricas asegurando la regeneración del bosque (Morales-Salazar *et al.*, 2012).

Figura 17

Número de individuos y altura promedio por clase diamétrica



En la Figura 17 se muestra la relación entre altura de árboles y clase diamétrica. Se evidencia que los árboles de clases diamétricas altas ocupan el dosel superior del bosque, y que la mayor cantidad de individuos tienen alturas inferiores y diámetros más pequeños. Este comportamiento de asimetría ha sido reportado en varios estudios (Marrero Mendoza, 2014; Alvarez-Montalvan *et al.*, 2021; Zabala Alvarado, 2019) e indica que la abundancia disminuye a medida que los árboles adquieren mayor tamaño (Guido Pardo *et al.*, 2020).

4.2. Biomasa aérea

Para estimar el contenido de la biomasa aérea en cada una de las especies inventariadas se aplicó la ecuación alométrica propuesta por Alvarez *et al.* (2012) para especies arbóreas (ecuación nº 1) y el modelo de Weaver (2000) para helechos arborescentes (ecuación nº 2).

Figura 18

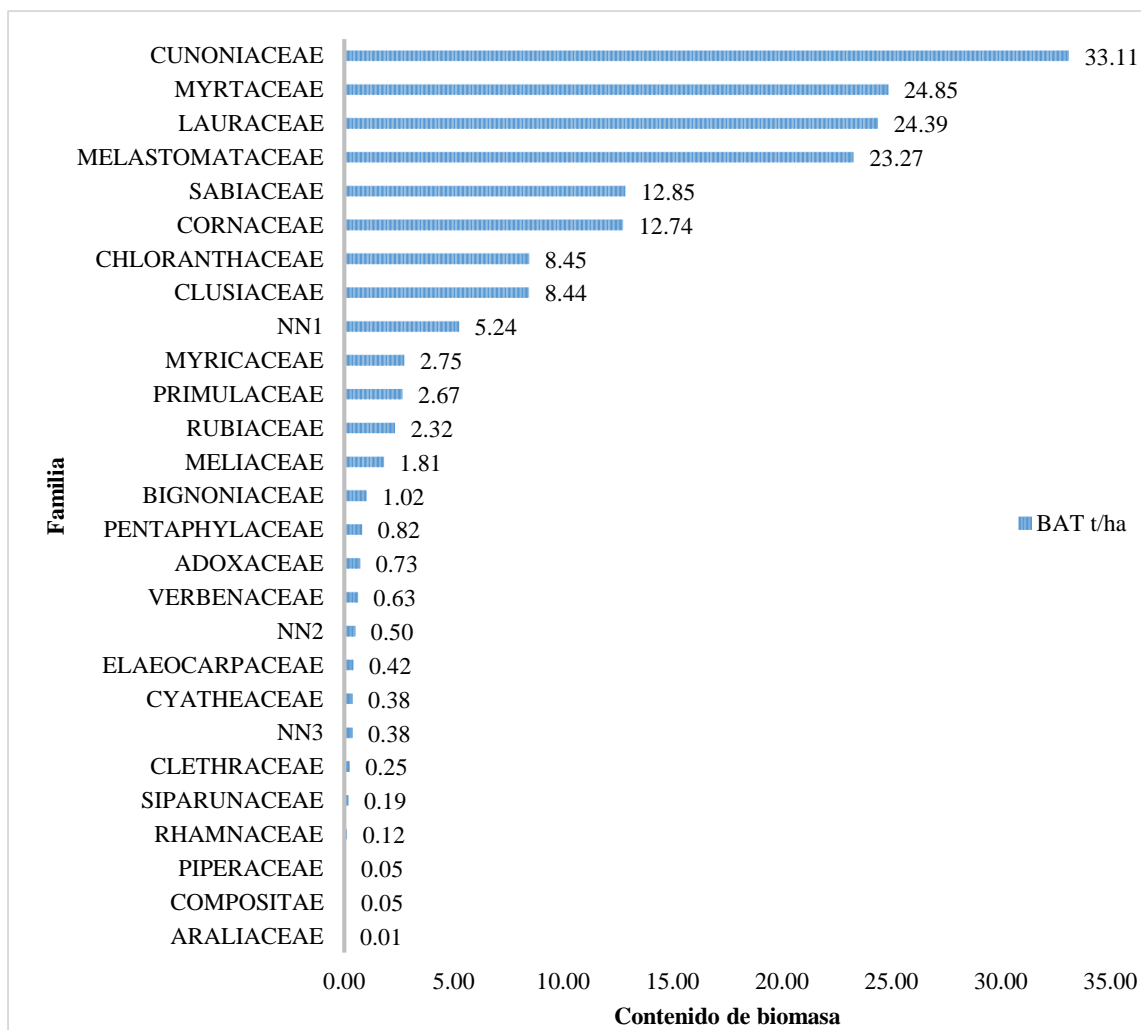
Biomasa aérea total por especie en t/ha



En la Figura 18 se representa el contenido de biomasa aérea total por cada especie evaluada en el bosque montano Los Lanches. La especie *Weinmannia elliptica* Kunth constituye el mayor aporte de biomasa aérea, con 33,11 t/ha, seguido de *Nectandra lineatifolia* (Ruiz & Pav.) Mez con 24,04 t/ha y *Axinaea nitida* Cogn. con 21,74 t/ha y seguido de *Meliosma* sp con 12,85 t/ha y *Cornus peruviana* J.F. Macbr. con 12,74 t/ha, estas especies almacenan el 62 % de biomasa aérea por hectárea.

Figura 19

Biomasa aérea total por familia en t/ha



En la Figura 19 presenta las familias que concentran mayor cantidad de biomasa aérea en orden descendente son Cunoniaceae con 33,11 t/ha, seguida de Myrtaceae con 24,85 t/ha, Lauraceae 24,39 t/ha y la Melastomataceae con 23,27 t/ha.

La variación de la biomasa aérea en las 7 parcelas estuvo concentrada principalmente en las clases diámetricas y la altura total de los individuos, pudiendo rescatar que la mayor concentración de la biomasa aérea se encuentra en P5 con un total de 270,84 t/ha, caso contrario pasa con P2 que es la parcela con menor cantidad de biomasa aérea con tan solo 51,39 t C/ha (Tabla 10, Figura 20).

Tabla 10

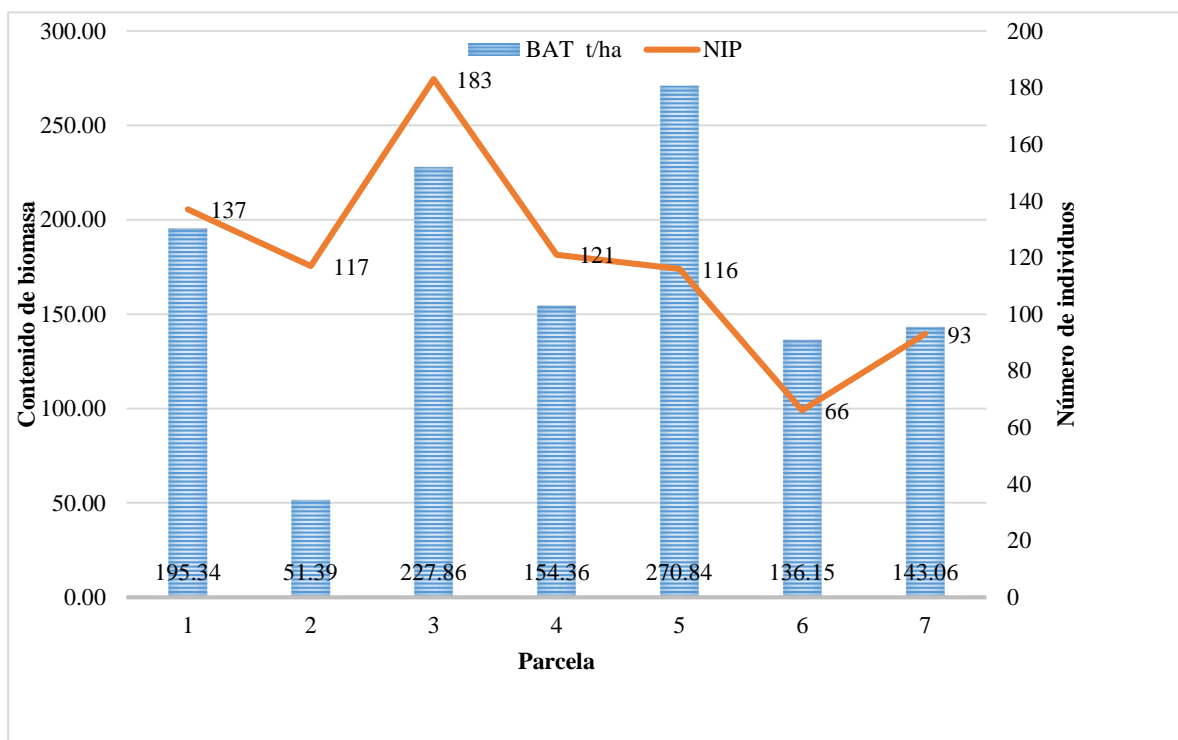
Número de individuos y biomasa aérea por parcela

Parcelas	NIP	BAT _{kg}	BAT _t	BAT _{t/ha}
P1	137	19 533,62	19,53	195,34
P2	117	5 138,73	5,14	51,39
P3	183	22 785,72	22,79	227,86
P4	121	15 436,38	15,44	154,36
P5	116	27 083,88	27,08	270,84
P6	66	13 615,16	13,62	136,15
P7	93	14 305,91	14,31	143,06
Promedio	119	16 842,77	16,84	168,43

NIP: Número de individuos por parcela, BAT_{kg}: Biomasa aérea total en kg, BAT_t: Biomasa aérea total en t, BAT_{t/ha}: Biomasa aérea total en t/ha

Figura 20

Número de individuos y biomasa aérea por parcela



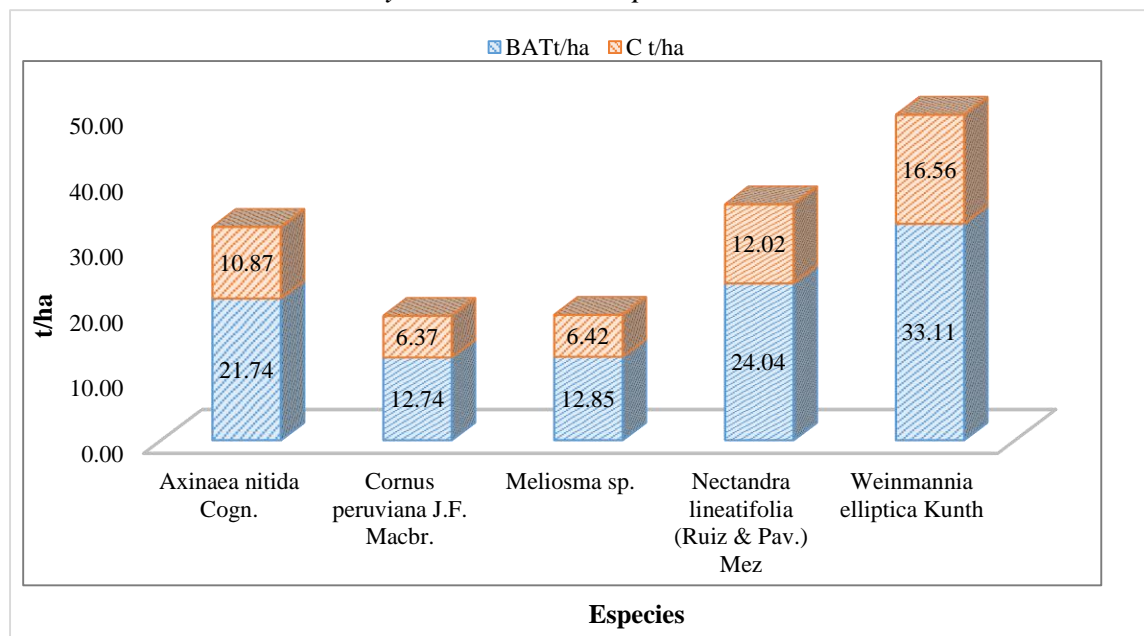
Como se evidencia en los resultados de la (Tabla 10) el contenido promedio de biomasa aérea estimado en el presente estudio es de 168,43 t/ha, valor que guarda similitud con lo reportado por Huamantupa-Chuquimaco *et al.* (2017) en los bosques andinos del sur del Perú obteniendo un rango de 135,40 y 141,49 t/ha; no obstante el promedio obtenido es mucho menor al reportado por Lozano Sivilaca *et al.* (2018) en el bosque montano bajo de Ecuador en el que se obtuvo un total de 322,17 t/ha, pese a que en ambas investigaciones se registró las especies a un DAP ≥ 5 cm. Se puede corroborar lo manifestado por Alfaro Curitumay *et al.* (2018) quienes indican que la biomasa aérea almacenada está en función al tipo de bosque, su dinámica y composición florística que presentan, lo que influye directamente en el crecimiento diamétrico, en la altura de las especies y la densidad de la madera.

4.3. Carbono almacenado

Para estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea de cada especie vegetal, el valor de biomasa por especie se multiplicó por 0,5. Las especies que proporcionan mayor contenido de biomasa aérea son las que almacenan mayor contenido de carbono como se observa en la (Figura 21).

Figura 21

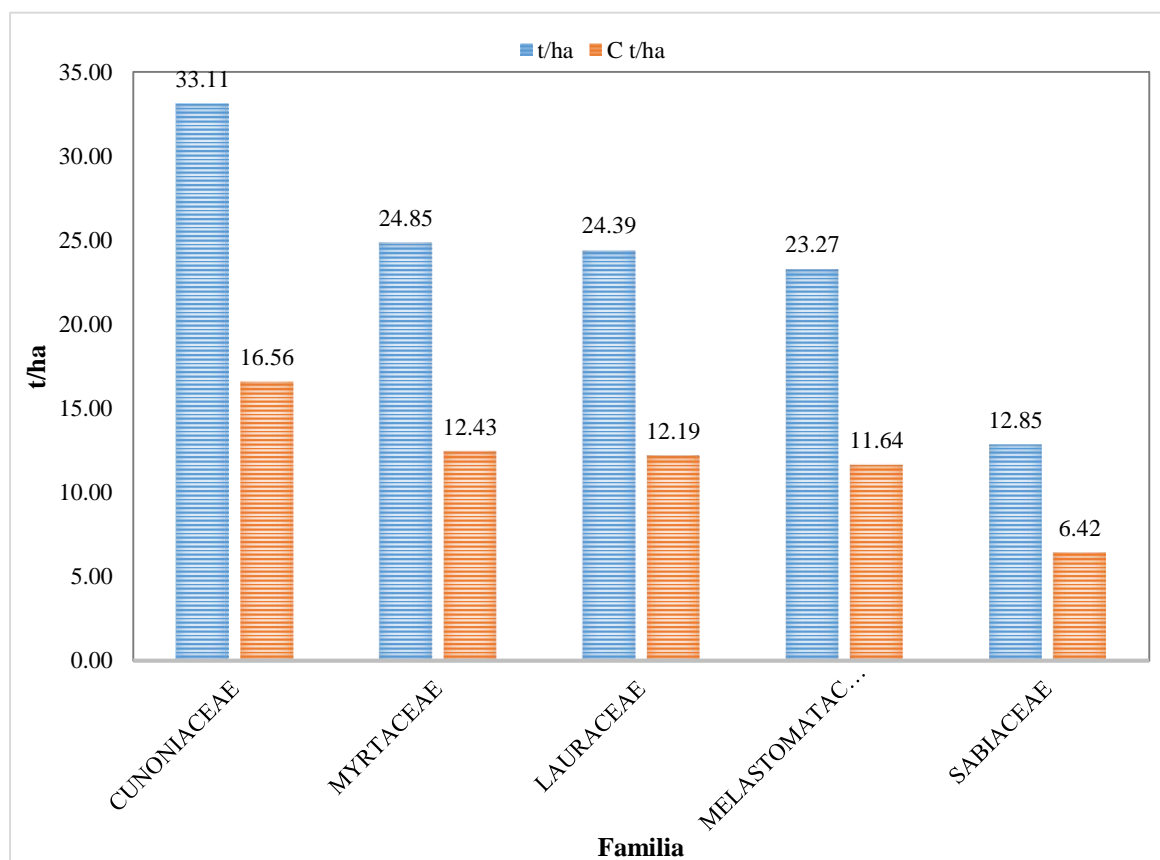
Contenido de biomasa aérea y carbono de las especies dominantes en t/ha



La especie *Weinmannia elliptica* Kunth tuvo el mayor aporte de biomasa aérea, el contenido de carbono de esta especie es de 16,56 t C/ha, posteriormente se encuentran las especies *Nectandra lineatifolia* (Ruiz & Pav.) Mez con 12,02 t C/ha, *Axinaea nitida* Cogn. Que aporta 10,87 t C/ha, seguido de *Meliosma* sp 6,42 t C/ha y *Cornus peruviana* J.F. Macbr. con 6,37 t C/ha.

Figura 22

Contenido de biomasa y carbono por familia en (t/ha)



En la Figura 22 se observa que la familia Cunoniaceae concentra 16,56 t C/ha en la biomasa aérea, seguido de las familias Myrtaceae con 12,43 t C/ha y Lauraceae con 12,19 t C/ha, seguido de la familia Melastomataceae que presenta 11,64 t C/ha, Sabiaceae con 6,42 t C/ha y Cornaceae con 6,37 t C/ha.

El contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de las especies arbóreas es de 84,02 t C/ha y helechos arborescentes de 0,19 t C/ha, obteniendo en el presente estudio un total de 84,21 t C/ha.

Contenido de biomasa aérea y carbono por vegetación

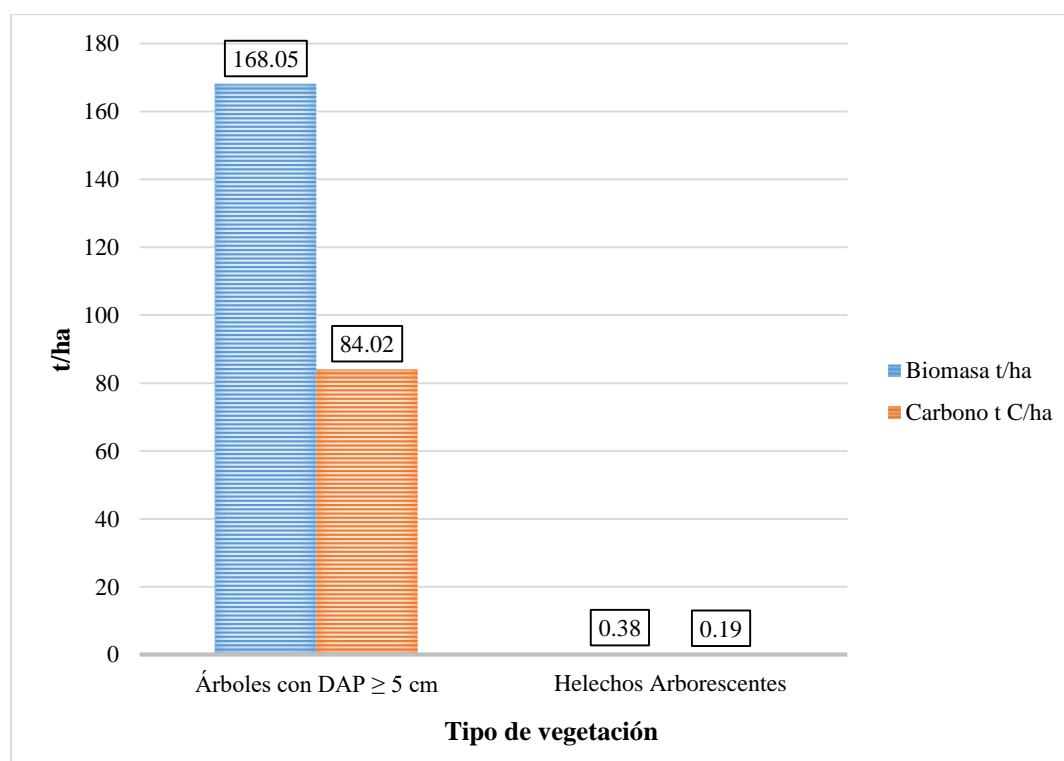
Tabla 11

Contenido de biomasa y carbono por tipo de vegetación en t/ha

Vegetación	Biomasa t/ha	Carbono t C/ha
Árboles con DAP \geq 5 cm	168,05	84,02
Helechos Arborescentes	0,38	0,19
Total	168,43	84,21

Figura 23

Contenido de biomasa y carbono por tipo de vegetación



Según los resultados obtenidos, el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque montano Los Lanches (Tabla 11, Figura 23) es inferior al registrado en los

bosques montanos de Ecuador, en los que Lozano Sivilsaca *et al.* (2018), reportan 161,07 t C/ha; así mismo, Alvarado Villa y Cobos Miguitama (2019) reportaron que el carbono almacenado en la biomasa aérea de los bosques montanos andinos en el macizo de Cajas es de 136 t C/ha, pese a que estos ecosistemas poseen características similares.

Con respecto a las investigaciones realizadas en los bosques montanos del Perú, el resultado obtenido guarda similitud a lo reportado por Vargas Arata (2019), para el tramo Tres de Mayo del Parque Nacional de Tingo María, donde encontró 70,08 t/ha de carbono en la biomasa arbórea viva y con lo reportado por Gibbon *et al.* (2010), en los bosques de los andes (Parque Nacional del Manú) donde se reportó un contenido de 63,4±5,2 t C/ha sobre el suelo. Cifras superiores reportaron Davila Malpica (2019) en el bosque húmedo premontano tropical-Consección para Conservación Inchatoshi, Kametsha, Pamapa, Hermosa, Satipo, Junín con un registro de 106,69 t C/ha en la biomasa aérea y Ramírez Medina (2016) en el bosque de neblina de Samanga con de 102 t C/ha en la biomasa arbórea.

Tabla 12

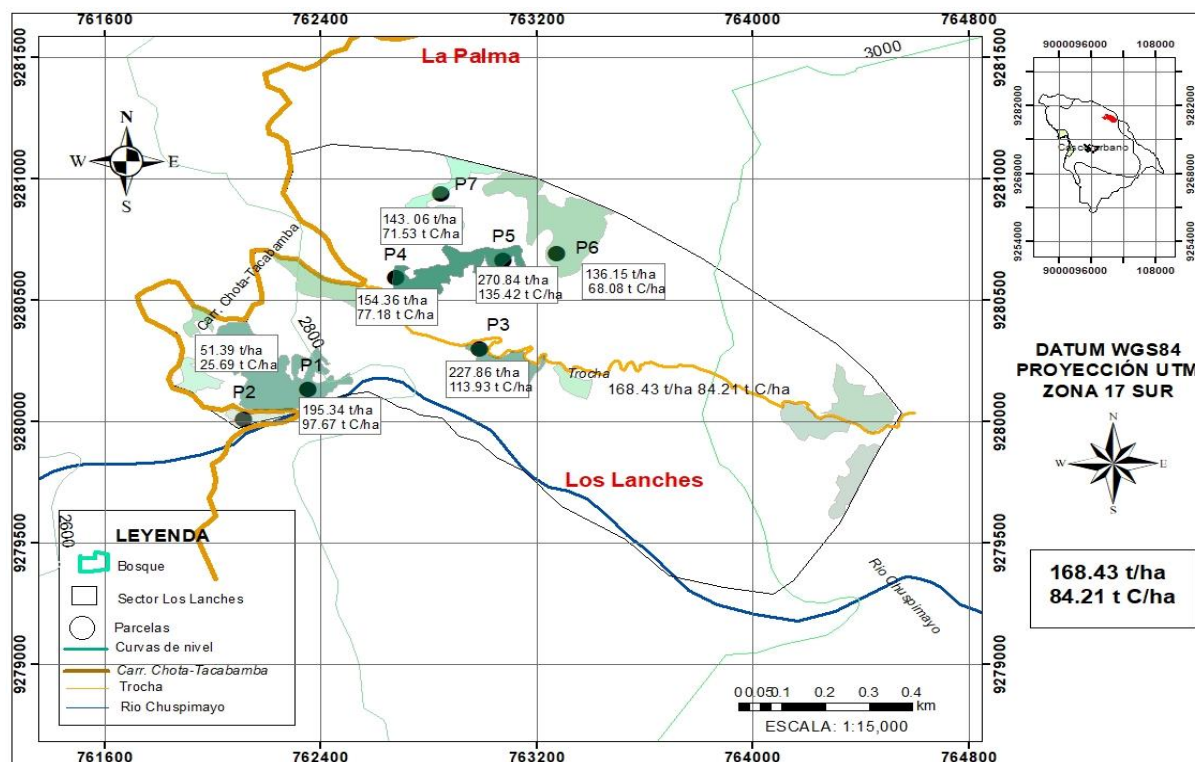
Contenido de biomasa aérea y carbono por parcela (t/ha)

Parcelas	NIP	PDAP	PH	BAT t/ha	Carbono t/ha
P1	137	13,47	7,82	195,34	97,67
P2	117	10,51	5,48	51,39	25,69
P3	183	11,70	10,65	227,86	113,93
P4	121	12,21	9,90	154,36	77,18
P5	116	15,22	10,95	270,84	135,42
P6	66	16,05	10,59	136,15	68,08
P7	93	13,56	10,03	143,06	71,53
Promedio	119	13,25	9,35	168,43	84,21

NIP: Número de individuos por parcela, PDAP: Promedio de DAP en cm, PH: Promedio de altura en m, BAT_{t/ha}: Biomasa aérea total en toneladas por hectárea, C_{t/ha}: Carbono total

Figura 24

Contenido de biomasa aérea y carbono por parcela (t/ha)



De acuerdo a la (Tabla 12, Figura 24), la parcela 5 es la que mayor cantidad de carbono almacena en la biomasa con un total de 135 t/ha, en cambio la parcela de menor almacenamiento es la parcela 2 con un total de 25,69 t/ha; la variabilidad de almacenamiento de carbono varía en función de la biomasa presente en dicha parcela, es decir a mayor cantidad de biomasa existe mayor retención de carbono.

Los Lanches alberga 168,43 t/ha de biomasa aérea y 84,21 t C/ha. Extrapolando esta información, en las 43,31 ha de bosque existente se encuentra 7 294,70 t de biomasa con un contenido de 3 647,35 t de carbono.

El almacenamiento de carbono en los ecosistemas constituye un servicio ambiental, dado que contribuye a la conservación de los recursos naturales y lucha contra el cambio climático. Es factible asignar un valor económico a este servicio ambiental; en el Perú el ministerio de Economía y Finanzas (MEF, 2021) indica que actualmente el precio social de

carbono es de 7,17 \$ por t/CO₂. El bosque remanente del sector Los Lanches-Chota almacena de 13 374,83 t CO₂, valorizándose en el mercado de carbono en 95 897,53 \$.

Considerando que la población del distrito de Chota es 51 231 habitantes (Instituto Nacional de estadística e informática [INEI], 2020), y que la cantidad promedio de CO₂ emitida a la atmósfera por un peruano es de 4,7 t CO₂/año (Pacífico Seguros, 2015), se puede inferir que la población emite, aproximadamente, 240 785,70 t CO₂/año. Relacionando ello con la cantidad de CO₂ almacenado en el sector Los Lanches, el 5,5 % de las emisiones anuales se encuentra reteniendo en el componente arbóreo del bosque.

La superficie distrital de Chota es 26 175 ha (Mejía Pardo, 2019), de la cual el bosque Los Lanches ocupa el 0,2 % del área total. Para almacenar CO₂ emitido por el distrito de Chota es necesario 780 ha de bosque con similares características.

Con el fin de conocer la capacidad anual total de almacenamiento de CO₂, es necesario instalar parcelas de evaluación permanente y ampliar la evaluación al componente herbáceo, arbustivo y suelo del bosque.

En Sector los Lanches es un bosque altamente fragmentado y en constante ampliación del área agrícola, siendo indispensable el control del cambio de uso del suelo y la restauración del ecosistema con el fin de potenciar los servicios ambientales que brinda, entre ello el de sumidero de carbono.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES

Se estima que el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque montano Los Lanches es de 84,21 t C/ha.

El bosque montano Los Lanches tiene una biomasa aérea de 168,43 t/ha en las especies arbóreas con DAP \geq 5 cm, concentrándose mayor biomasa en las clases diamétricas entre 15 a 24,99 cm y 25 a 34,99 cm de DAP.

Las especies arbóreas almacenan en su biomasa una cantidad de carbono de 84,02 t/ha y los helechos arbóreos 0,19 t/ha.

Dentro de las especies que contiene mayor carbono en su biomasa *Weinmannia elliptica* Kunth es la más representativa con 16,56 t C/ha, seguido de *Nectandra lineatifolia* (Ruiz & Pav.) Mez 12,02 t C/ha y *Axinaea nitida* Cogn. con 10,87 t C/ha.

Las familias que presentan mayor contenido de carbono son Cunoniaceae con 16,56 t C/ha, seguido de Myrtaceae con 12,43 t C/ha y Lauraceae con 12,19 t C/ha.

Los resultados indica que el bosque montano Los Lanches en su biomasa aérea está capturando alrededor de 308,80 t/CO₂/ha.

RECOMENDACIONES

Incentivar a realizar estudios similares en otros bosques de la región, con la finalidad de conocer la dinámica del bosque en el tiempo y su contribución ante el cambio climático.

Realizar investigaciones complementarias a esta investigación en los diferentes estratos del bosque como suelo, necromasa, hojarasca, sotobosque y la parte arbustiva.

Realización de estudios dendrocronológicos y la conversión de las parcelas de evaluación en parcelas permanentes de monitoreo.

Desarrollar programas de difusión sobre los servicios ecosistémicos que proporcionan los bosques y lo cuán importante son en la mitigación del cambio climático sobre todo en

captura y almacenamiento de carbono, con la única finalidad de concientizar a la población ya que gran porcentaje de los bosques se está perdiendo por la deforestación.

Realizar planes de manejo y conservación por parte de las autoridades locales, involucrando a las poblaciones que se encuentran en las áreas.

Reforestar las cabeceras de cuenca con especies que almacenan mayor contenido de carbono, de tal manera se estará contribuyendo con el medio ambiente.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Mendoza, Z., Quizhpe C., W. y Pinza, D. (2018). Estimación de carbono acumulado en una parcela de bosque andino en el parque universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 25(3), 939-952. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25307>.
- Alfaro Curitumay, L. E., Paiva Prado, G. M., Espinoza Carrasco, H. Y., Monteagudo Mendoza, A. y Chávez Huaman, W. (2018). Dinámica, biomasa aérea y variables poblacionales de dos parcelas permanentes en bosques montanos de Wiñaywayna, Santuario Histórico de Machupicchu, Cusco, Perú. *Arnaldoa*, 25(2), 631-652. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25217>.
- Alva-Mendoza, D., Delgado Benavides, A. y Martínez-Sovero, G. (2020). Composición arbórea y estructura del Bosque de Protección Pagaibamba, sector San Luis, Querocoto-Cajamarca. *Ciencia Nor@ndina*, 3(1), 56-67. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v3n1p56>
- Alvarado Villa, I. L. y Cobos Miguitama, C. S. (2019). *Relaciones entre la estructura y cobertura arbórea con el carbono almacenado en bosques montanos Andinos en el macizo del Cajas, Azuay-Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33587>
- Alvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., de las Salas, G., del Valle, I., . . . Rodríguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 297-308. doi: 10.1016/j.foreco.2011.12.013.

- Álvarez-Arteaga, G., García Calderón, N. E., Krasilnikov, P. y García-Oliva, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la sierra norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 47(2), 171-180.
- Alvarez-Montalvan, C., Manrique-León, S., Vela-Da Fonseca, M., Cardozo-Soarez, J., Callo-Ccorcca, J., Bravo-Camara, P., . . . Alvarez, O. J. (2021). Composición florística, estructura y diversidad arbórea de un bosque amazónico en Perú. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 73-83.
- Avendaño Hernandez, D. M., Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F. y Etchevers Barra, J. D. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 32(3), 233-238.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61011739008>.
- Badii Zabeh, M. H. (2008). Efecto invernadero y calentamiento global. *Calidad Ambiental*, 14(6), 7-14.
- Benavides Ballesteros, H. O. y León Aristizabal, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático. *IDEAM*, 1-102.
- Brown, S., Gillespie, A. y Lugo, A. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest science*, 35(4), 881-902.
- Bubb, P., May, I., Miles, L. y Sayer, J. (2004). *Cloud forest agenda*. Cambridge, UK: UNEP-WCMC.
- Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96.
<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.

- CEPSA. (2015). *El cambio climático y los gases de efecto invernadero (GEI) en Cepsa*.
https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., . . . Yamakura, T. (2005). The allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest. *Ecosystem ecology* 145, 87-99. 10.1007/s00442-005-0100-x.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., . . . Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20, 3177-3190. 10.1111/gcb.12629.
- Comisión Nacional Forestal. (2013). *Bosques, cambio climático y REDD+ en México. Guía básica* (Segunda ed.).
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1992, <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Cubero Moya, J. A. y Rojas Piedra, S. R. (1999). *Fijación de carbono en plantaciones de melina (Gmelina arborea Roxb.), teca (Tectona grandis L.f.) y pochote (Bombacopsis quinata jacq.) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica* [tesis de pregrado, Universidad Nacional]. Repositorio institucional. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2133/Fijacion_de_carbono_en_plantaciones.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cuesta, F., Peralvo, M. y Valarezo, N. (2009). *Los bosques montanos de los andes tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático*. Serie Investigación y Sistematización #s. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION.

- Dauber, E., Téran, J. y Guzmán, R. (2000). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana*, 1-10.
- Davila Malpica, F. K. (2019). *Reserva de carbono en la biomasa aérea y la necromasa (hojarasca) del Bosque Húmedo Premontano Tropical-Concesión para Conservación Inchatoshi Kametsha-Pampa Hermosa-Satipo-Junín*. Huancayo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional. [file:///C:/Users/esc/Downloads/T010_71700303_T%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/esc/Downloads/T010_71700303_T%20(1).pdf)
- Díaz-Cruz, M. C. (2016). Bonos de carbono: un instrumento en el sistema financiero internacional. *Revista Libre Empresa*, 13(1), 11-33. <http://dx.doi.org/10.18041/libemp.2016.v13n1.25106>
- Domínguez Escribano, A. (2010). Instrumentos para la medición de variables dasométricas. Fundamentos y elaboración con el alumno del ciclo formativo "Técnico Superior en Gestión y Organización de Recursos Naturales Paisajísticos". Innovación y Experiencias Educativas. https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_28/ALFREDO_DOMINGUEZ_ESCRIBANO_02.pdf
- Dossantos Macedo, E. J. (2014). *Almacenamiento de carbono en biomasa aérea del bosque primario y bosque secundario de la parcela " Muro Huayra", en la Reserva Natural Allpahuayo Mishana, Iquitos-Perú* [Tesis de pregrado, Universidad de la Amazonía Peruna]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/2510/Almacenamiento%20de%20carbono%20en%20la%20biomasa%20a%20a%20rea%20del%20bosque%20primario%20y%20bosque%20secundario.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Escobar Carmona, R. (2016). *Estimación de biomasa forestal de la sierra San Miguelito por medio de imágenes de satélite* [Tesis de maestría, Instituto Potosino de investigación Científica y Tecnológica, A.C.] Repositorio IPICYT. <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/3013/TMIPICYTE8E72016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fonseca-González, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 91-109. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.51-2.5>.
- Gallardo, M. (2008). *Directorio nacional. Cambio climático en el Perú: instituciones, políticas, programas, proyectos y recopilación bibliográfica. Primera aproximación. Soluciones Prácticas-ITDG.*
- Gibbon, A., Silman, M. R., Malhi, Y., Fisher, J. B., Meir, P., Zimmermann, M., . . . Garcia, K. C. (2010). Ecosystem Carbon Storage Across the Grassland-Forest Transtition in the High Andes of Manu National Park, Peru. *Ecosystems*, 13, 1097-1111. [10.1007/s10021-010-9376-8](https://doi.org/10.1007/s10021-010-9376-8).
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2011). *Estudio hidrológico de la región Cajamarca 2010-2011.* <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4574/ANA0002986.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gonzalez, P., Kroll, B. y Vargas, C. R. (2007). Análisis de la restauración forestal del carbono en el bosque húmedo tropical de selva central del Perú. *Revista Forestal del Perú* , 30, 103-153.

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (2014). *Summary for Policymakers 2014*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of climate Change*.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. (2018). *Calentamiento global de 1.5°C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

Guido Pardo, M., Pereira, L., Feldpausch, T., Vos, V., Aramayo-Parada, R., Arancibia-Rocabado, I., . . . Araujo-Murakami, A. (2020). Composición florística del bosque amazónico de tierra firme del sector Alto Madera, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 55(2), 111-126.

Harris, J., Birjandi, M. y García, A. (2011). *Bosques, Agricultura y Clima: Consideraciones Económicas y de Políticas*. Global Development And Environment Institute .

Hernández Stefanoni, J. L. (2013). Estimación de la biomasa aérea vegetal desde el espacio. *CICY*, 5, 27-28.
file:///C:/Users/esc/Downloads/Estimacion_de_la_biomasa_aerea_vegetal_d.pdf.

Honorio Coronado, E. N. y Baker, T. R. (2010). *Manual para monitoreo del ciclo de carbono en los bosques amazónicos*. Lima: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana/Universidad de Leeds.

Huamantupa-Chuquimaco, I., Luza-Victorio, M., Alfaro-Curitumay, L., Ururi, M., Huaman-Arque, W., Pedraza, M. y Peralvo, M. (2017). Diversidad y Biomasa Arbórea en los Bosques Andinos del Santuario Nacional del Ampay, Apurímac-Perú. *Q`EUÑA*, 8(1), 7-26.

Hurtado, C., Corte, C. y Triana, M. (2017). Estimación del carbono almacenado en el bosque natural en la cuenca media - baja. Municipio de Río Quito Chocó, Colombia. *Ingeniería e Innovación*, 5(1), 32-42. <https://doi.org/10.21897/23460466.1102>.

Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., . . . Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas N° 45*, 27-36.

Instituto Nacional de estadística e informática. (2020). *Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Provincia y Distrito, 2018-2020*. Lima.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1715/libro.pdf

Instituto Nacional de Recursos Naturales. (1995). *Mapa ecológico del Perú. Guía explicativa*. Ministerio de Agricultura. <https://drive.google.com/file/d/0B2LXWd-oFIpfSXI6am1TVDBwVTA/view?resourcekey=0-opdfJ3D1NndUvz1OplGuMQ>

Jumbo Salazar, C. A., Arévalo Delgado, C. D. y Ramirez-Cando, L. J. (1 de Marzo de 2018). Medición de carbono de estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza,

- Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1),51-63.
10.17163/lgr.n27.2018.04.
- Kómetter, R. (2011). *Ecosistemas forestales andinos en el Perú: Una visión de las experiencias y perspectivas del manejo forestal*. Serie Investigación y Sistematización, número 24.
- López-Reyes, L. Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Zavala-Cruz, J., Gómez-Guerrero, A. y Posada-Cruz, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y Bosques*, 22(3), 49-60.
- Lozano Sivilsaca, D. C., Palacios Herrera, B. G. y Aguirre Mendoza, Z. H. (2018). Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el sur de Ecuador. *Ciencia Florestal*, 28(3), 1328-1339.
<http://dx.doi.org/10.5902/1980509833464>.
- Manrique De Lara, M. y Puerta, R. (2014). Carbono almacenado e la biomasa aérea en plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Shambillo-Aguaytia. *Investigación y Amazonía*, 4(1y2), 8-17.
- Marrero Mendoza, V. (2014). *Composición florística, estructura horizontal y volumen maderable de especies comerciales de un bosque natural de colina baja, distrito de Iberia, Madre de Dios-Perú* [Tesis de pregrado,Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
- Martínez Salgado, V. B. (2009). "*Desarrollo e integración sostenible de la cadena de valor de la madera en Nicaragua*". *Curso-taller sobre la planificación de inventarios forestales*.
ra-training-library.s3.amazonaws: <https://ra-training->

library.s3.amazonaws.com/13.%20Planificacion%20cadena%20valor%20nicaragua.pdf

Mejía Pardo, A. (2019). *Condiciones turísticas que presenta el distrito de Chota-Región Cajamarca para el desarrollo de hotelería*. [Tesis de pregrado, Universidad de Trujillo].

Meza Chávez, L. P. (2015). *Biomasa aérea y contenido de carbono de los bosques del área de influencia de la carretera Iquitos – Nauta. Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio institucional digital. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/3318/TESIS%20PARA%20LIBRO%20LUCIANA%20P.%20MEZA%20CHAVEZ%20OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio del Ambiente. (2009). *Identificación de metodologías existentes para determinar stock de carbono en ecosistemas forestales*.

Ministerio del Ambiente. (2010). *El Perú y el cambio climático. Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2010*. Fondo Editorial del MINAM.

Ministerio del Ambiente. (2011). *El Perú de los bosques*. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39636>

Ministerio del Ambiente. (2014). *Perú, reino de bosques*. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático.

- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación* (1ª ed.).
Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Valoración y
Financiamiento del Patrimonio Natural.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12082/07_guia-a-de-flora-y-vegetacion.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Mapa nacional de ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva*. Ministerio del Ambiente.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). Nota técnica para el uso de precio social del carbono en la evaluación social de proyectos de inversión.
https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo3_RD006_2021EF6301.pdf
- Morales-Salazar, M., Vílchez-Alvarado, B., Chazdon, R., Ortega-Gutiérrez, M., Ortiz-Malavassi, E., & Guevara-Bonilla, M. (2012). Diversidad y estructura horizontal en los bosques tropicales del Corredor Biológico de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(23), 19-28.
- National Geographic. (2010, 5 de septiembre). *La contaminación del aire*.
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-contaminacion-del-aire>
- Ordóñez, J. A. y Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2012). *Documento de trabajo de los recursos forestales N° 180. FRA 2015*.
<http://www.fao.org/3/ap862s/ap862s00.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2018). *Descubriendo los bosques: Guía de aprendizaje*. <http://www.fao.org/3/I8565ES/i8565es.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2018). *El estado de los bosques en el mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Licencia: ICC BY-NC-SA 3.0 IGO. <http://www.fao.org/3/i9535es/i9535es.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2017). *Nuestros bosques en números. Primer reporte del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*.

Osinaga-Acosta, O., Baéz, S., Cuesta C, F., Malizia, A., Carilla, J., Aguirre, N. y Malizia, L. (2014). *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo 2-Versión 1*. CONDESAN/IER-UNT/COSUDE.

Pacífico Seguros. (2015, 5 de junio). www.rumbominero.com. <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/rse/pacifico-seguros-un-peruano-promedio-emite-4-7-toneladas-de-co2-al-ano/>

Paipa Rios, N. A. y Triana Gómez, M. A. (2018). Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque húmedo tropical en Paimadó, Chocó. *Ingenierías USBMed*, 9(1), 18-29.10.21500/20275846.3180.

Palomino Contreras, D. y Cabrera Carranza, C. (2007). Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 10(20), 49-59. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol10_n20/a07.pdf

- Percy, K. y Jandl, R. (2003). *El papel de los bosques en ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono. Los bosques y el ciclo de carbono a nivel mundial: fuentes y sumideros N° 1*. http://iufro-archive.boku.ac.at/iufro/taskforce/tfcs/issue1_march31_Spanisch.pdf
- Preciado Barragán, J., Hurtado Vasquez, C. y Triana Gómez, M. (2019). Stored carbon in a forest in Domingodó, Choco.Colombia. *Visión Electrónica*. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/22195/1/PreciadoBarrag%c3%a1nJennifferCarolina2019.pdf>.
- Quiceno Urbina, N. J., Tangarife Marín, G. M. y Álvarez León, R. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales , en una área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chiguiro-Chatare de Barrancominas, departamento del Guainía (Colombia). *Luna Azul N° 43*, 171-202. [10.17151/luaz.2016.43.9](https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.9).
- Quiñe Macedo, P. C. (2009). *Cuantificación de biomasa y reserva de carbono en sistemas agroforestales de café (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/1131/ITEM%4011458-392.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez Medina, S. J. (2016). *Contenido de carbono en suelo y biomasa arbórea en el bosque de neblina de Samanga, Ayabava-Piura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio institucional . <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1336/CIE-RAM-MED-16.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Rasal-Sánchez, M., Troncos-Castro, J., Lizano-Durán, C., Parihuamán-Granda, O., Quevedo-Calle, D., Rojas-Idrogo, C. y Delgado-Paredes, G. E. (2012). La vegetación terrestre del bosque montano de Lanchurán (Piura, Perú). *Caldasia*, 34(1), 1-24.
- Razo-Zárate, R., Gordillo-Martínez, A. J., Rodríguez-Laguna, R., Maycotte-Morales, C. C. y Acevedo-Sandoval, O. A. (2013). Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque nacional “el chico”, Hidalgo, México. *Madera y Bosques*, 19(2), 73-86.
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., Reyes-Muro, L., Ovando-Cruz, J., Nahed-Toral, J., Prado-López, M. y Campos Saldaña, R. A. (2016). Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(37), 77-94.
- Rügnitz Tito, M., Chacón León, M. y Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).
- Samayoa, S. (2011). *Guía de orientaciones. Mercado de carbono, oportunidades para proyectos de pequeña escala*. SNV.
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/CF1F3D1F3D8BBADB05257C290072D01F/\\$FILE/Mercado_de_carbono_oportunidades_para_proyectos.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/CF1F3D1F3D8BBADB05257C290072D01F/$FILE/Mercado_de_carbono_oportunidades_para_proyectos.pdf)
- Sánchez-Cámara, A. E. (2017). Mitigación del cambio climático en el sector forestal. *Foresta* N° 69, 34-41.
- Schlegel, B. (2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. file:///C:/Users/esc/Downloads/45_schlegel.PDF

Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. (2001). *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*. Universidad Austral de Chile.

Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 y sus reglamentos. (2015). Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2016/03/LFFS-Y-SUS-REGLAMENTOS.pdf>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2017). *Desarrollo forestal: retos y posibilidades versión pdf*. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2017/san-martin/eer-san-martin-2017-minaya.pdf>

Serrano Arribasplata, S. (2019). *Composición y diversidad florística del bosque montano El Cedro-San Silvestre de Cochán-San Miguel-Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2831/COMPOSICION%20Y%20DIVERSIDAD%20FLORISTICA%20DEL%20BOSQUE%20MONTANO%20EL%20CEDRO%20-%20SAN%20SILVESTRE%20DE%20COCHAN%20-%20SAN%20M.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Spracklen, D. V., & Righelato, R. (2014). Tropical montane forests are a larger than expected global carbon store. *Biogeosciences*, *11*(10), 2741-2754. 10.5194/bg-11-2741-2014.

Tejedor Garavito, N., Álvarez, E., Arango Caro, S., Araujo Murakami, A., Blundo, C., Boza Espinoza, T. E., . . . Newton, A. C. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Ecosistemas*, *21*(1-2), 148-166. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=722>.

- Tierres Mayorga, J. C., Chávez Esponda, D., Segura, C. E., & Cabrera Quezada, M. (2020). Carbon potential in a forest tree layer lowland evergreen, Sucumbíos- Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(2), 8(2), 282-295.
- Torres-Torres, J. J., Mena-Mosquera, V. E., & Álvarez-Dávila, E. (2017). Carbono aéreo almacenado en tres bosques de jardín botánico del pacífico, Choco, Colombia. *Entramado*, 13(1), 200-209. <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25110>.
- Vargas Arata, J. B. (2019). *Carbono en la biomasa aérea arbórea viva del tramo tres de mayo-rio oro de la zona silvestre del parque nacional Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1596/JVBA_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vásquez, A. y Arellano, H. (2012). Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de Córdoba. 923-961. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1208/1208.0248.pdf>.
- World Meteorological Organization. (2018). *WMO Greenhouse Gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2017* (N°14). https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/Documents/201812011644---WMO%20ghg-bulletin_14_en.pdf
- World Meteorological Organization. (2019). *WMO greenhouse gas bulletin: The state of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2018* (N°15). https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10100

- Yaranga Cano, R. M. y Custodio Villanueva, M. (2013). Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria*, 4(4), 313-319.
- Yepes Quintero, A. P., Navarrete Encinales, D. A., Duque Montoya, Á. J., Phillips Bernal, J. F., Cabrera Torres, K. R., Álvarez Dávila, E., . . . Ordoñez Castro, M. F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM.
- Yepes, A., Sierra, A., Niño, L. M., López, M., Garay, C., Vargas, D., . . . Barbosa, A. (2016). Biomasa y carbono total almacenado en robledales del sur de los Andes Colombianos: aportes para el enfoque REDD+ a escala de proyectos. *Revista Biología Tropical*, 64(1), 415-428. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44943437033>.
- Zabala Alvarado, D. S. (2019). *Composición florística, estructura y biomasa de dos parcelas permanentes en el bosque nublado de Mindo-Nambillo*. Quito [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito USFQ].
- Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., . . . Chave, J. (2009). Global wood density database. Dryad. <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

ANEXOS

Ficha de toma de datos

PARCELA N°.....

Lugar:	Fecha:
Responsable:	Coordenadas:

N°	Nombre común	Nombre científico	CAP	AT	Características	Observaciones
001						
002						
003						
004						
005						
006						
007						
008						
009						

Figura 25

Medición del CAP



Figura 26

Medición de la altura (h)



Figura 27

Recolección de especímenes

