



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Almacenamiento de Carbono para la Conservación de Bosque
Montano: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS:

Apaza Holguín, Obli Felicitas (ORCID: 0000-0001-9240-6486)

Muñoz Caja, Gaby Mayely (ORCID: 0000-0002-2761-3793)

ASESOR:

Dr. Túllume Chavesta, Milton César (ORCID:0000-0002-0432-2359)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A Dios por permitirnos llegar a este momento especial, a nuestros padres y seres queridos, quienes son la razón y motivación de nuestra vida, En reconocimiento por su constante cariño y comprensión.

Agradecimiento

A Dios por conservar nuestra vida y salud y guiarnos cada día.

De manera muy especial al Dr. Milton C. Túllume Chavesta por su asesoramiento y valiosos aportes brindados.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de abreviaturas	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	13
3.1 Tipo y diseño de investigación	13
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	13
3.3 Escenario de estudio	16
3.4 Participantes	16
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.7 Rigor científico	19
3.8 Método de análisis de información	20
3.9 Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
V. CONCLUSIONES	38
VI. RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS	40
ANEXOS	46

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de categorización apriorística	14
Tabla 2 Palabras clave de búsqueda	18
Tabla 3 Criterios de búsqueda y selección	18
Tabla 4 Temas analizados por los artículos en revisión	23
Tabla 5 Resultados sobre la biomasa y el carbono almacenado	25
Tabla 6 Resultados sobre las especies forestales y carbón almacenado	28
Tabla 7 Conclusiones sobre la conservación de los bosques	31

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo del carbono	5
Figura 2. Carbono almacenado según el estado del bosque	9
Figura 3. Proceso de elaboración de una revisión bibliográfica	17
Figura 4. Exclusión de artículos científicos	22

Índice de abreviaturas

FCPF	: Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques
GEI	: Gases de efecto invernadero
IPCC	: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
REDD+	: Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de Bosques
TC	: Toneladas de carbono
TC/ha	: Toneladas de carbono por hectárea

RESUMEN

Los bosques montanos funcionan como captadores de carbono derivado de numerosas actividades industriales, contribuyendo a la reducción de la presencia de GEI en el medio ambiente. El objetivo de la presente investigación fue analizar la incidencia del almacenamiento de carbono en la mejora de la conservación de los bosques montanos. Para ello, se recurrió a un estudio de revisión sistemática, tipo básico y diseño cualitativo narrativo. Los artículos en análisis fueron extraídos de bases de datos bibliográficos y revistas indexadas. La población estuvo compuesta por 36 productos literarios, cifra que se redujo a 12 después de aplicar los filtros. Los estudios en observación afirmaron que los bosques montanos incorporan una biósfera única y estratégica, lo que le otorga un gran valor porque su rol de sumidero de carbono forma parte de su comportamiento natural. Estos bosques ocupan solamente el 0.3% de la superficie terrestre en comparación de los tropicales, y de ser deforestados podrían liberar una gran cantidad de GEI, principalmente carbono, representando una amenaza para la homeostasis del medio ambiente y los seres que lo habitan.

Palabras clave: bosque montano, almacenamiento de carbono, biomasa, captura de carbono, especie forestal

ABSTRACT

Montane forests function as carbon sinks derived from numerous industrial activities, contributing to the reduction of the presence of GHG in the environment. The objective of this research was to analyze the incidence of carbon storage in improving the conservation of montane forests. For this, a systematic review study, basic type and qualitative narrative design was used. The articles under analysis were extracted from bibliographic databases and indexed journals. The population was composed of 36 literary products, a figure that was reduced to 12 after applying the inclusion and exclusion criteria. Observational studies confirmed that montane forests incorporate a unique and strategic biosphere, which gives it great value because its role as a carbon sink is part of its natural behavior. These forests occupy only 0.3% of the land surface compared to tropical ones, and if they are deforested, they could release a large amount of GHG, mainly carbon, posing a threat to the homeostasis of the environment and the beings that inhabit it.

Keywords: montane forest, carbon storage, biomass, carbon sequestration, forest species

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de actividades productivas por parte de las industrias (en especial, de cemento) estimula el desarrollo y expansión de los GEI como el dióxido de carbono, elemento que favorece el calentamiento global (Williams et al., 2017, p. 3) pero perjudica al resto al medio ambiente y los elementos que lo habitan.

El carbono es naturalmente captado y almacenado por los bosques gracias al proceso de fotosíntesis. En Colombia, por ejemplo, los bosques altoandinos han reservado hasta 23,000 toneladas de carbono y otros GEI por año (Segura, Andrade y Mojica, 2019, p. 166). Del mismo modo, los bosques tropicales de Perú llegaron a almacenar alrededor de 471 mil millones de TC derivado de la quema de combustible fósiles y la fabricación de cemento (Minam, 2016, p. 15).

Como sumideros del planeta, los bosques evitan la proliferación de contaminantes en el aire, pero el efecto no es similarmente acertado al de los bosques montanos que tienen una notable capacidad de secuestro de carbono a causa de la alta presencia de elementos orgánicos (Dilas y Huamán, 2020, p. 22). En dichos ecosistemas existen especies de árboles que por su biomasa y estructura son sumamente importantes para retener carbono (Lozano, Palacios y Aguirre, 2018, p. 1335), sobre todo, en climas semiáridos que se caracterizan por tener elevaciones bajas secas y ecosistemas con poca capacidad de captación de GEI (Knowles et al., 2020, p. 1).

Organismos internacionales concertaron la conservación de los bosques a modo de mitigar el cambio climático y reducir el nivel de deforestación y degradación, mejor conocido como REDD+. Estrategias proactivas son la forestación y reforestación masiva a modo de recuperar tierras dañadas y capturar gran parte del carbono liberado en el ambiente (Ramírez et al., 2018, p. 3). Por ejemplo, los bosques montanos en México fueron beneficiados por la formulación de programas para la conservación de bosques y reforestación y la promoción de utilizarlos como almacenes de carbono (González et al., 2012, p. 46). En Etiopía, el manejo forestal

comunitario dio lugar a la utilización sostenible de los recursos en los bosques montanos, reduciendo al mínimo su impacto en el proceso de secuestro y almacenamiento de carbono (Wood et al., 2019, p. 9).

Paradójicamente, el almacenamiento de carbono por parte de los bosques representa un daño al medio ambiente dado que, de liberarlo, contribuiría al desarrollo del cambio climático (Minam, 2016, p. 15). Hechos naturales como la caída de ramas y árboles muertos liberan 0.65 y 0.72 TC por año, respectivamente (McQuate, 2016) mientras que los incendios forestales pueden emitir hasta 114 TC/ha (Gerrand et al., 2021, p.11). Actividades antrópicas como la deforestación por extracción de madera y por extracción de leña contribuyó con el 53% y 30%, respectivamente, de las emisiones globales totales (Pearson et al., 2017, p. 6). Además, la industria del cemento fue responsable del 8% de carbono en la atmósfera, respectivamente (Rodgers, 2018).

Es imperante la conservación de los bosques montanos para el secuestro y reserva de carbono originado por prácticas industriales y otras actividades realizadas por el hombre común. Por ello, se planteó como objetivo general:

OG: Analizar la incidencia del almacenamiento de carbono en la mejora de la conservación de los bosques montanos.

Además, se definieron como objetivos específicos:

OE1: Establecer la capacidad de almacenamiento de carbono de la biomasa de los bosques montanos.

OE2: Identificar las especies forestales nativas que tienen mayores niveles de carbono almacenado en los bosques montanos.

OE3: Evaluar el impacto de la presencia de la biomasa y especies nativas en la mejora de la conservación de los bosques montanos.

El problema general a resolver responde a la pregunta:

PG: ¿Cómo incide el almacenamiento de carbono en la mejora de la conservación de los bosques montanos?

Del mismo modo, los problemas específicos contestan a las siguientes interrogantes:

PE1: ¿Cómo es la capacidad de almacenamiento de carbono de la biomasa de los bosques montanos?

PE2: ¿Cuáles son las especies forestales nativas que tienen mayores niveles de carbón almacenado en los bosques montanos?

PE3: ¿De qué manera la presencia de la biomasa y especies nativas mejoran la conservación de los bosques montanos?

La realización de este estudio se justifica desde distintos puntos de vista.

Se justifica teóricamente porque sirve como antecedente literario para futuras investigaciones a través de la sinterización de productos literarios científicos publicados hasta la fecha que trataron el almacenamiento de carbono y la conservación de los bosques montanos. De acuerdo a Fernandez et al. (2019), los trabajos de revisión sistemática contribuyen con una nueva perspectiva que, basados en fuentes primarias, comparan diversos hallazgos (p. 158).

Se justifica socialmente porque los resultados permitirían que diversas figuras sociales como empresas, comunidades y autoridades estatales tengan en cuenta evidencias de otros estudios y tomen decisiones con respecto a la conservación de los bosques montanos y su nivel de almacenamiento de carbono. Según Urra y Barría (2010), la revisión sistemática incide en la mejora de las decisiones en el campo que se estudie mediante el análisis de los alcances que tuvieron varios investigadores a lo largo del tiempo (p. 8).

II. MARCO TEÓRICO

En esta sección se desarrolló una revisión de las bases teóricas acerca del carbono y la potencialidad de los bosques como captadores de este contaminante, por lo que se presentan conocimientos básicos del carbono en la atmósfera, el rol de los bosques en la captura de carbono, las características de los bosques montanos y las amenazas que sufren estos ecosistemas.

El dióxido de carbono (CO_2), el vapor de agua y el nitrógeno son conocidos como los principales de GEI (Williams et al., 2017, p. 3). La presencia del CO_2 en el ambiente es producto de las actividades antropogénicas, por ejemplo, la deforestación, cambio en la frecuencia del uso de la tierra, quema de combustible y procesos industriales (Kumar et al., 2018, p. 6); dichas acciones podrían llegar a aportar alrededor del 78% de los niveles totales de GEI, degradando la atmósfera y conduciendo al cambio climático (Yoro y Daramola, 2020, p. 4).

El ciclo del carbono parte desde su generación por quema de combustibles, deforestación u otro tipo de actividades similares. A continuación, se muestra una gráfica que dinamiza el movimiento del carbono en el medio ambiente.

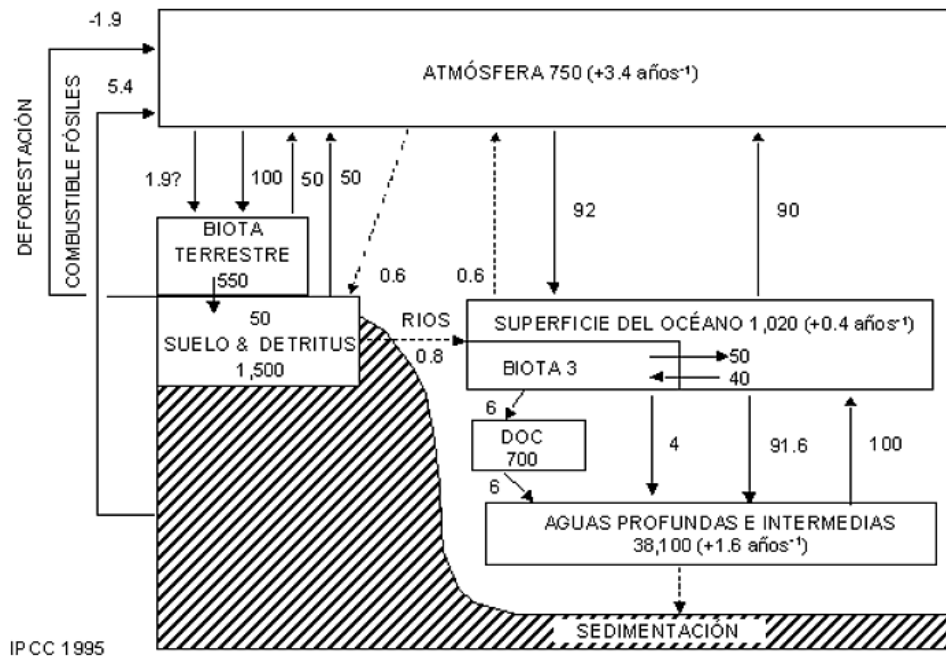


Figura 1. Ciclo del carbono. Tomado de Kanninen (2003).

De acuerdo a la Figura 1, el carbono se libera en la atmósfera y este circula hasta que se asienta en los elementos naturales como el océano y la biota terrestre. A partir de esta acción, sucede un intercambio constante entre la atmósfera y el mismo elemento. En el caso del océano, el carbono puede ser atrapado en aguas profundas hasta sedimentarse en la zona abisal. En el caso de la biota terrestre, el carbono es secuestrado por las innumerables especies que la componen, las cuales se diferencian por su capacidad de captura y almacenamiento. Tal y como sucede en el mar, el carbono puede asentarse en el suelo y los ríos.

La acumulación de carbono en la atmósfera ha dado cabida a problemas climáticos de talla global: desde derretimiento de glaciares hasta sequías (Anwar et al., 2019, p. 32). Sin embargo, el medio ambiente tiene medios naturales para afrontar este tipo de situaciones: los bosques son ecosistemas conocidos por capturar y almacenar dichos gases (Nunes, Meireles, Pinto y Almeida, 2020, p. 3), por ello, se enfatiza su importancia para la vida humana.

Los bosques en general tienen la capacidad para capturar y retener carbono gracias al proceso de fotosíntesis (Domke et al., 2020, p. 1), por ello, representan una

solución natural para reducir los efectos del cambio climático generado principalmente por la presencia del carbono en la atmósfera. Como sumideros de carbono, los bosques tienen un papel trascendental e irremplazable en comparación con otros elementos naturales tales como los suelos, que no poseen una capacidad tan alta para almacenar carbono (Busch et al., 2017, p. 43). Actualmente, esta contribución del bosque forma parte de las principales iniciativas internacionales como la convención Marco de las Naciones Unidas contra el Cambio Climático (CMNUCC), específicamente el enfoque de reducción de emisiones por deforestación y degradación, también conocido como REDD+ (Instituto Forestal, 2019).

El proceso de captura de carbono inicia con la fotosíntesis, en el cual el carbono es partícipe inicialmente para la elaboración de sacarosa, sustancia importante para el desarrollo de la planta y la generación de biomasa; al finalizar, la especie forestal libera oxígeno a la atmósfera (Gan et al., 2019, p. 2).

Los bosques, de acuerdo a Rugnitz, Chacón y Porro (2009) se componen de tres clases de depósitos de carbonos: (a) Biomasa viva, que se subdivide en biomasa subterránea y aérea; esta última, a su vez, se clasifica en biomasa arbórea y no arbórea, dependiendo del tipo de vegetación. (b) Materia orgánica muerta, que considera todos los cuerpos forestales no vivos como madera muerta y hojarasca, por ejemplo, troncos caídos, árboles muertos que siguen en pie, hojas caídas, entre otros. (c) Suelos, que engloba la materia orgánica del suelo como raíces vivas cuyo diámetro no es mayor a 2 mm. La forma en que los estudios analizan el carbono almacenado en un bosque es a través de la división del lugar por parcelas; en algunos casos, estas ya fueron definidas previamente por otros investigadores, lo que le otorga un grado más de confiabilidad al terreno por estudiar (Rugnitz, Chacón y Porro, 2009, p. 13).

El tiempo de almacenamiento de carbono por los árboles depende directamente del modelo de gestión forestal utilizado. De acuerdo a la compilación de Nunes et al. (2020), existen tres modelos de gestión forestal:

(a) Modelo de Conservación de Carbono, es el modelo más conocido, caracterizado por el desarrollo del proceso de fotosíntesis por las plantas, en la cual estas capturan el carbono y liberan oxígeno a la atmósfera, técnicamente este modelo es neutral.

(b) Modelo de Almacenamiento de carbono, este modelo de gestión contribuye al almacenamiento de carbono mediante la reforestación y rehabilitación de áreas degradadas de los bosques, por lo que se recomienda la plantación de árboles con un periodo de rotación mayor a 15 años.

(c) Modelo de sustitución de carbono, se basa en una economía circular, mediante la utilización de los subproductos resultantes de las operaciones forestales como sustitutos de combustibles fósiles, para que no solo el carbono producido sea menor, sino que sea reemplazado.

También existen otros factores extrínsecos no controlados por los organismos internacionales y gobiernos que afectan el tiempo de permanencia del carbono en los árboles y otras especies forestales, siendo la actividad humana ilegal e indiscriminada como la tala de árboles, quema, agricultura, etc.

Los bosques clasificados según su altitud se subdividen en (a) *Bosques de tierras bajas* cuya elevación es menor a los 1,000 metros, (b) *Bosques montanos*, también conocidos como bosques de niebla, cuya altitud alcanza los 3,000 metros y (c) *Bosques alpinos*, que superan los 3,000 metros, lo cual afecta radicalmente la presencia de biodiversidad y precipitaciones (Butler, 2009). No existe una cifra exacta de la cantidad de bosques montanos, pero, alrededor del mundo, están presentes en África, Sudamérica y Asia sudoriental (FAO, 2020, p. 19).

La biodiversidad de los bosques montanos está condicionada por la altitud del clima montañoso, siendo dominado principalmente por árboles de distintos estratos, helechos, epífitas (Biodiversidad mexicana, 2021), líquenes, musgos y otras especies (Garavito et al., 2012, p. 149). Su clima es de neblina debido a que las nubes descienden constantemente; además, es sacudido por grandes lluvias y

vientos húmedos (UNESCO, 2001). En la zona andina, la temperatura de los bosques montanos es de 6 a 24°C, permitiendo que la vegetación crezca hasta los 3,600 m.s.n.m. (Agencia Andina, 2017).

La importancia de los bosques montanos radica en que son proveedores de diversos servicios ecosistémicos, por ello, al ser medios de vida y salud proporcionan bienestar a la población (Salinas et al., 2021). Para Llatas y López (2005), representan una fuente importante de recursos fitogenéticos y, en consecuencia, contribuyen a la economía de la región. Por otra parte, estos ecosistemas desarrollan una dinámica hídrica no convencional debido a que el empuje de la niebla y la lluvia por parte del viento suponen una contribución sustancial de agua, purificándola; esto se traduce a un balance hídrico con el resto de ecosistemas (MAE y FAO, 2015, p. 6). Si las precipitaciones no se presentan en un tiempo prolongado, el volumen de los ríos y cuencas disminuyen desde 30% hasta 70%, generando sequías (Morales y Túllume, 2015). Adicionalmente, regulan el clima de la región y tienen potencial para secuestrar y almacenar carbono (UNEP, 2012). Por ejemplo, los bosques montanos en Malasia acumularon de 100 a 120 TC/ha (Jeyanny et al., 2014), lo que representó un alivio para el medio ambiente y la población; el bosque montano ecuatorial registró alrededor de 173.3 TC/ha, lo que estuvo por sobre el promedio de otros bosques con características similares (Lung y Espira, 2015); en los bosques de niebla de México esta cifra se elevó dado que almacenaron 384 TC/ha (Álvarez et al., 2013).

Por la presencia de recursos sustanciales como cuerpos hídricos, especies forestales y el suelo, los bosques montanos se encuentran amenazados (Hiltner et al., 2016, p. 92). Así lo demostraron distintos estudios; Torrachi (2010), por ejemplo, estableció que la deforestación del bosque montano del sur de Ecuador era cinco veces superior a la reforestación, lo que provocaría una desaparición del ecosistema en 30 años. Por otra parte, a causa del incremento de la población, pobreza y uso ilícito de los recursos y suelo, Garavito et al. (2012) señalaron que los bosques montanos de los Andes tropicales andinos eran utilizados como centro de actividades agropecuarias y de extracción. Este es el error más atroz dado que los bosques liberarían una gran cantidad de carbono (Minam, 2016, p. 15) a la

atmósfera, así lo comprobaron Gerrand et al. (2021) quienes identificaron que los árboles soltarían entre 86.9 y 114 TC/ha. Por ello, su conservación no solo es trascendental para la vida animal y vegetal sino también para el ser humano.

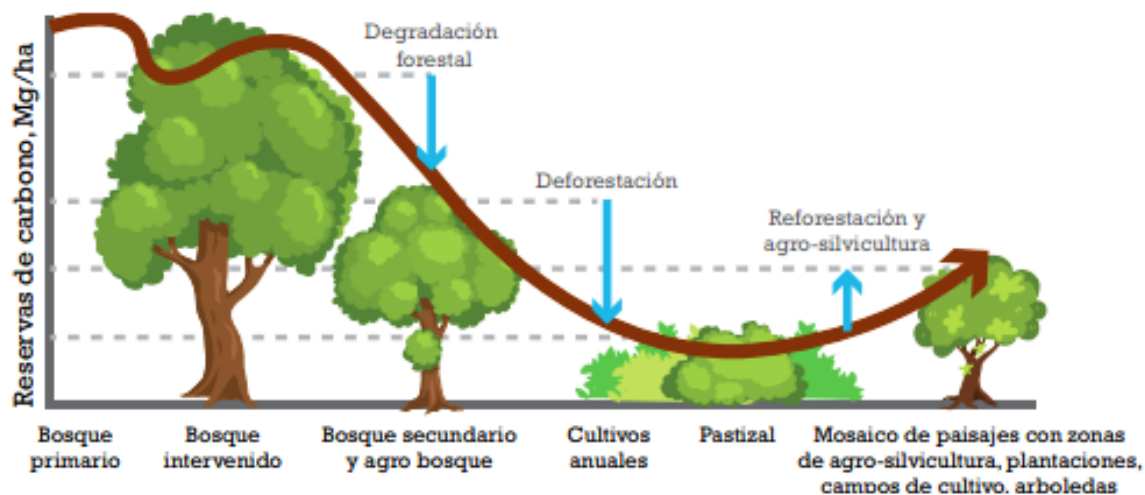


Figura 2. Carbono almacenado según el estado del bosque. Tomado de Minam (2016)

Según la Figura 2, un bosque primario (es decir, no perturbado por la actividad antrópica) retiene una mayor cantidad de carbono. Con el incremento de la intervención humana, estos niveles de reserva disminuyen, provocando una menor capacidad de secuestro y almacenamiento de carbono. No obstante, con la reforestación, el bosque recupera su capacidad.

Como medida correctiva, las naciones procedieron a formular planes y programas para recuperar los bosques. Cuyckens y Renison (2018) recomendaron un estudio previo sobre la fenología reproductiva de las semillas para comenzar con una forestación sostenible. Dobor et al. (2018) Sugirieron enfocarse y analizar los factores de gravedad que perturbaban el ciclo de carbono en los bosques. De revertir la deforestación, la captura de carbono se repotenciaría y permitiría que los niveles globales de emisión de gases se acortaran hasta un 31% (Minam, 2016). Según Morales y Túllume (2015), la educación ambiental es un factor de impacto porque modifica la conciencia de los pobladores orientándolos a la toma de decisiones para preservar la biodiversidad y adoptar un comportamiento amigable.

Indirectamente, la conservación de los bosques es producto de su capacidad para secuestrar y almacenar carbono porque, mediante el FCPF, la región obtiene financiamiento como recompensa (Minam, 2016, p. 16). Esto encuentra explicación en que los esfuerzos por reducir las emisiones de GEI son recompensados económicamente, capital que sería utilizado para seguir implementando estrategias que mejoren la conservación. Por ello, la restauración de los bosques no debe seguir un objetivo lineal de solo recuperar lo degradado, sino también impulsar el uso sostenible del suelo. La presencia del cambio climático es uno de los motivos que lideran el desarrollo y efectucción de programas orientadas a la protección y conservación de los bosques; de este modo, una población más saludable tendrá la garantía de ser capaz de confrontar los efectos negativos vinculados a la producción y suministro de servicios ecosistémicos (Kómetter y Gálmez, 2017, p. 14).

Distintos autores realizaron estudios sobre almacenamiento de carbono como parte del comportamiento natural del bosque.

Mora et al (2016), en su estudio, valoraron la cantidad de carbono acumulado en la Reserva Biológica Uyuca (RBU) en Honduras, la cual suministra diversos servicios ecosistémicos que no han sido considerados. Con el fin de solventar este vacío, los investigadores valoraron la cantidad de carbono almacenado en la biomasa forestal del área protegida. Para lo cual se estratificó la cobertura forestal y se estimó la biomasa en cada estrato. La metodología utilizada fue la proporcionada por la IPCC. Los resultados arrojaron una biomasa aérea de 445.6 TC/ha en el bosque mixto y 212.1 T/ha en el bosque de pino.

Quinceno et al (2016), en su estudio valoraron la captación de carbono de un bosque natural en el Resguardo Indígena Chigüiro-Chátare-Colombia, que tiene un área de 18.320 hectáreas, para hallar el contenido de carbono utilizaron como referencia la biomasa aérea, siendo el resultado de 47,60344 TC/ha.

Rosas et al. (2019), examinaron un bosque mesófilo de México caracterizado por su abundante vegetación, pese a que ocupa menos del 1% del total de territorio del

país, es de gran importancia para la vida de los habitantes del lugar, bajo tres aspectos: el ecológico ya que en el bosque habitan especies endémicas, hidrográfica, por la derivación de lluvias y nubosidad, y la reducción de radiación solar.

La importancia de estos ecosistemas radica en tres aspectos, concentración de vegetación endémica, regulación hídrica y captador de carbono.

Segura et al. (2019), en su estudio analizaron tres tipos de bosques nativos localizados en el páramo de Anaime, Colombia. Los bosques en análisis fueron achaparrado, maduro y subpáramo. La investigación tuvo el propósito de comprobar los niveles de captación de carbono en cada uno de ellos, mediante la medición alométrica, en el cual se demostró que el bosque de subpáramo tiene la mayor concentración con 242 T/ha, seguido del bosque maduro y achaparrado con 147 y 25 T/ha respectivamente. Además, estimaron que de seguir con la deforestación estaría en riesgo la captación de carbono entre 0,2-0,5 Tg de CO₂ en 20 años, por lo que los investigadores enfatizaron su importancia como almacenadores de carbono.

Lozano, Palacios y Aguirre (2018) cuantificaron los niveles de carbono que captan los bosques montanos del Ecuador, mediante un modelo alométrico. Tomaron como muestra un área de terreno y midieron el diámetro de los árboles a la altura del pecho. Los resultados evidenciaron que el bosque capta en total 161.07 TC, además consta de 179 especies arbóreas de las cuales 6 captan el 51% de carbono.

Leyva et al. (2021) compararon los niveles de captación de carbono de bosques manejados por la comunidad con 21 años de rehabilitación y bosques naturales de pino, encino y de pino-encino. En su estudio analizaron el carbono en los desechos forestales mediante el modelo alométrico. Hallaron que el bosque de pino-encino tiene mayor concentración de carbono con 383.9 T/ha, demostrando la potencialidad de este tipo de bosques.

Para Monárrez et al. (2018), el manejo forestal de los bosques templados en México mediante prácticas silvícolas, ayuda a la conservación de la diversidad de la vegetación colabora con las actividades económicas como al sector maderero y en mayor medida favorece la captación de carbono, pero influye negativamente a la regulación de los flujos de agua, debido a la intensidad del manejo y la temporalidad de las plantaciones con un tema similar Burbano (2018) realizó un revisión acerca de la potencialidad del suelo para almacenar carbono; el autor menciona que el carbono puede almacenarse en el suelo de manera óptima, cuando este lo absorbe mediante el proceso químico natural. El carbono se acumula en el suelo en diferentes cantidades dependiendo de la profundidad, resaltando que entre los 30 primeros centímetros se puede observar la mayor concentración, por ello que el autor recalca en daño que ocurre cuando se remueve tierra, liberación el carbono que contiene.

Al igual que Burbano (2018), Zamora et al. (2018) realizaron una evaluación de esa capacidad del suelo de conservar el carbono orgánico, resaltando en este caso su prioridad para el beneficio de sectores agropecuario y forestal.

Asimismo, Martel y Cairampoma (2012) cuantificaron el carbono que puede almacenar cierto grupo de formaciones vegetales en Cicra - Madre de Dios, haciendo realce del impacto que han tenido en las últimas décadas debido a la minería y tala de la zona. Teniendo como respaldo los estudios realizados en la estación Biológica de Rio Los Amigos, señalaron que el bosque Terraza, el bosque inundable y el aguajal correspondían a las zonas con una mayor extensión y, en consecuencia, una elevada cantidad de carbono almacenado. De igual forma Vicuña *et al.* (2018), tuvieron la certeza de evaluar que los bosques amazónicos podrían tratarse como sumideros de carbono para lograr la sostenibilidad de su conservación, logrando determinar que este trabaja de 0.52 TC por hectárea, concluyendo que en 27 años este removió 9.7 millones de ton de carbono de la atmósfera por año.

Suárez et al. (2016), también realizaron un análisis acerca del potencial de flora silvestre para en este caso, como indican los autores, secuestrar el carbono. Este análisis fue hecho en humedales altoandinos de Ecuador, encontrando que el potencial que tiene cada humedal es de 683.01 T por cada 0.01 km² en promedio.

III. MÉTODOLÓGIA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es básico. Este tipo de estudio nace y se mantiene dentro del marco teórico, principios y leyes científicas (Muntané, 2010, p. 221) con el propósito de generar nuevos conocimientos sin fines prácticos (Sánchez, Reyes y Mejía, 2018, p. 79). La producción de teorías también se origina de la maduración de una idea o la observación analítica, permitiéndose informar sobre sus posibles aplicaciones y recomendaciones sobre el tema (Doran, Golden y Turner, 2017, p. 138). En este caso, se recurrió a una investigación básica debido a que la revisión sistemática se enfoca en la evaluación de teorías, modelos y resultados de trabajos científicos pasados. Se sintetizaron y compararon los datos y escenarios resultantes mas no se llevó a la práctica ni mucho menos se contrastó con la realidad.

El diseño de la investigación es cualitativo narrativo. El diseño cualitativo se caracteriza por ser más flexible y abierto, amoldándose a los requerimientos y condiciones del objeto o sujeto conforme al avance del análisis (Doyle et al., 2019, p. 2). Un estudio narrativo trata la experiencia como un relato, el cual transmite al resto del mundo lo que el narrador alega sentir o percibir (Blanco, 2011, p. 139). En este caso, el diseño escogido permitió la evaluación cualitativa de los estudios que trataron la captación de carbono por ecosistemas como los bosques montanos. Con ello, se narró la experiencia de seleccionar, clasificar, ordenar y sintetizar los resultados científicos.

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Las categorías y correspondientes sub categorías en análisis se describen a continuación:

Tabla 1

Matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterios	Unidad
OE1: Establecer la capacidad de almacenamiento de carbono de la biomasa de los bosques montanos.	PE1: ¿Cómo es la capacidad de almacenamiento de carbono de la biomasa de los bosques montanos?	<ul style="list-style-type: none"> ● Biomasa 	<ul style="list-style-type: none"> ● Biomasa aérea ● Biomasa subterránea ● Biomasa arbórea 	<ul style="list-style-type: none"> ● Área ocupada ● Concentración de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alfaro et al. (2018) ● Aragon et al. (2021) ● Avendaño et al. (2019) ● Cuni et al. (2017) ● Dilas y Huamán (2020) ● Leija et al. (2018)
OE2: Identificar las especies forestales nativas que tienen mayores niveles de carbono almacenado en los bosques montanos.	PE2: ¿Cuáles son las especies forestales nativas que tienen mayores niveles de carbón almacenado en los bosques montanos?	<ul style="list-style-type: none"> ● Especies forestales nativas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Arbóreas ● Arbustivas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Área ocupada ● Concentración de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lozano, Palacios y Aguirre (2018) ● Mattson et al. (2016) ● Muhati, Olago y Olaka (2018) ● Siraj (2019) ● Vizcaíno, Williams y Asbjornsen (2020)

<p>OE3: Evaluar el impacto de la presencia de la biomasa y especies nativas en la mejora de la conservación de los bosques montanos.</p>	<p>PE3: ¿De qué manera la presencia de la biomasa y especies nativas mejoran la conservación de los bosques montanos?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Presencia de GEI 	<ul style="list-style-type: none"> ● Concentración de carbono o CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> ● TC/ha 	<ul style="list-style-type: none"> ● Wood et al. (2019) ● Morales y Túllume (2015)
--	---	--	---	---	--

3.3 Escenario de estudio

El escenario de estudio se localizó en el medio virtual, específicamente en páginas web y bibliotecas virtuales que albergan numerosos artículos y ensayos científicos compartidos a nivel internacional. Gran parte de los artículos almacenados en la vía virtual se caracterizan por estar escritos en idioma inglés, seguido de los que fueron publicados en español.

3.4 Participantes

Por la naturaleza del estudio, los participantes se caracterizaron por ser:

- Base de datos bibliográficos: Consiste en las plataformas que funcionan como biblioteca de artículos indexados, suministrando información confiable y segura para el sustento de la presente investigación. Estas plataformas son: Redalyc, Scopus, Ebsco, Alicia, IOP Publishing y Google Scholar.
- Artículos científicos: Consiste en trabajos de investigación indexados que fueron almacenados en plataformas bibliográficas conocidas y usadas a nivel mundial.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que permitió la recolección de datos fue el análisis de documentos. El instrumento de recopilación fue la ficha de análisis de documentos. Este permitió la extracción ordenada de la información en relación a las categorías y subcategorías.

A continuación, se muestra el formato de la ficha en el anexo N°3.

3.6 Procedimientos

El procedimiento de investigación para la revisión sistemática de artículos se divide en seis fases, describiéndose de la siguiente manera.

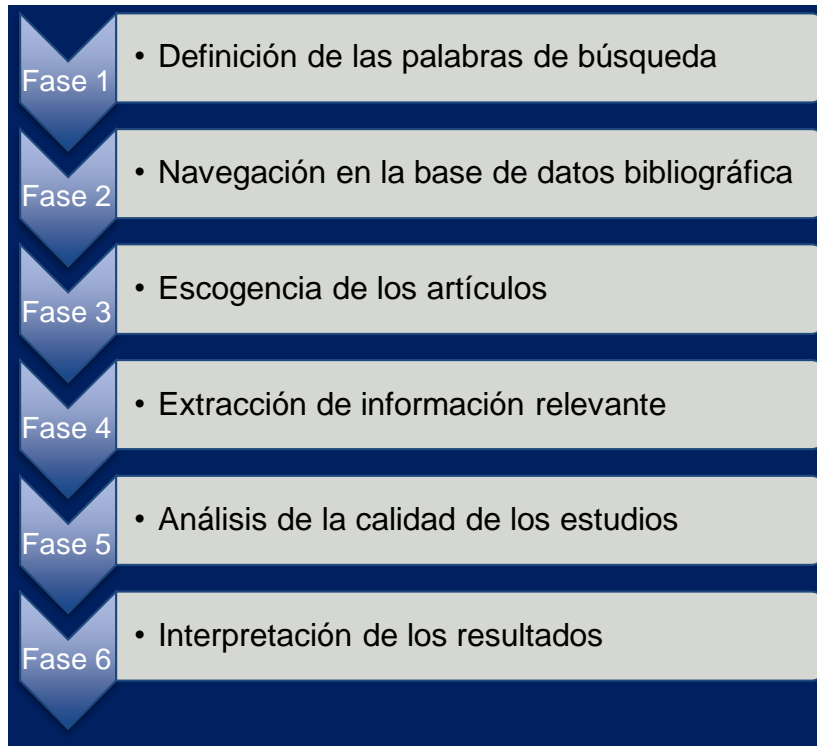


Figura 3. Proceso de elaboración de una revisión bibliográfica.

El proceso inició con el establecimiento de la pregunta de investigación, la cual sentó las bases para la búsqueda de productos literarios científicos. Seguidamente, se recurrió a la base de datos bibliográficos y, para facilitar la navegación, se insertó palabras clave relacionadas al tema de estudio como:

Tabla 2

Palabras clave de búsqueda

Términos en español	Términos en inglés
Bosque montano	Montane forest
Bosque de neblina	Carbon capture
Captura de carbono	Carbon sequestration
Secuestro de carbono	Carbon stock
Almacén de carbono	Carbon store
Almacenamiento de carbono	Forest biomass
Biomasa aérea	Aboveground biomass
Biomasa subterránea	Aerial biomass
Biomasa arbórea	Below-ground biomass
Conservación	Tree biomass
Preservación	Conservation

Con los artículos recolectados, se procedió a seleccionar según los criterios de inclusión y exclusión; por ello, la cantidad de artículos científicos se redujo de un total de 36 a 12. Luego, se extrajo datos relevantes según el instrumento de recolección y se analizó la calidad y confiabilidad de los estudios. Finalmente, se interpretó los resultados.

A continuación, se muestran los criterios de búsqueda y selección.

Tabla 3

Criterios de búsqueda y selección

Tipo de documento	Documentos referidos a	Cantidad	Palabras clave	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículo científico	<ul style="list-style-type: none"> Almacenamiento de carbono Conservación de bosques montanos Conservación de bosques de niebla Biomasa forestal y aérea Cantidad de carbono almenado 	36	<ul style="list-style-type: none"> Bosque montano Biomasa subterránea Biomasa aérea Biomasa arbórea Bosques de niebla Captura de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> Estudios publicados en español e inglés. Estudios publicados entre los años 2016 y 2021. Publicaciones nacionales e internacionales 	<ul style="list-style-type: none"> Estudios publicados antes del 2016. Estudios publicados que estén incompletos o cuyo acceso esté restringido.

3.7 Rigor científico

Este estudio resultó de la recopilación y organización de datos proporcionados por diversos autores que trataron el almacenamiento de carbono emitido por los bosques de niebla, también conocidos como bosques montanos. Este procedimiento cumplió con el Código de Ética de la Investigación impuesto por la Universidad César Vallejo y la citación según el estilo ISO 690. Asimismo, se respetó los criterios de rigor científico que son mostrados a continuación.

- Dependencia: Implica brindar estabilidad a los datos recogidos de forma que, si otros investigadores replicaran el estudio, podrían llegar a las mismas conclusiones (Noreña, Alcaraz, Rojas y Rebolledo, 2012, p. 267). En este caso, la réplica sería sencilla debido a que, a pesar de ser una investigación cualitativa, se podrían analizar los mismos artículos, interpretarlos y determinar conclusiones similares.
- Credibilidad: Implica comunicar asertivamente la experiencia de los participantes en relación al tema de estudio (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 453). En este caso, se suprimió cualquier tipo de opinión personal y se brindó importancia tanto a los resultados esperados como a los inesperados en cuestión al almacenamiento de carbón por los ecosistemas.
- Transferencia: Implica que los resultados del estudio pueden ser transferidos a contextos de distintos (Noreña, Alcaraz, Rojas y Rebolledo, 2012, p. 267), sin llegar a invalidar ninguna de las investigaciones. En este caso, los resultados de la revisión sistemática podrán ser utilizados como antecedentes para otros estudios con condiciones distintas, pero no necesariamente se debería obtener el mismo resultado.
- Confirmación: Este criterio tiene un estrecho vínculo con la credibilidad e implica la minimización de los sesgos de error (Hernández, Fernández y

Baptista, 2014, p. 459). En este caso, se tomó en cuenta estudios científicos indexados que están almacenados en bases de datos de alta confiabilidad; por ello, su veracidad no está en duda.

3.8 Método de análisis de información

Para el presente estudio se efectuó un análisis descriptivo sobre la compilación de información recogida. Esta, a su vez, fue ordenada mediante tablas que permitieron la comparación entre las condiciones y resultados de los distintos estudios.

3.9 Aspectos éticos

La ética es el pilar para el desarrollo de la investigación científica porque establece los límites del comportamiento del investigador cuando afronta situaciones que pondrían en conflicto su conducto habitual como falsificación de resultados y apropiación de otros trabajos, mejor conocido como plagio (Carcausto y Morales, 2017, p. 60). Por lo mencionado, los aspectos éticos que toma en cuenta este estudio son:

- Se recurrió al estilo ISO 690 para referenciar autores y trabajos científicos con el propósito de otorgar autenticidad al desarrollo y resultados del presente estudio.
- Se cumplió con la guía de trabajo de investigación según la Universidad César Vallejo, la cual brindó una estructura que organizó el desarrollo de este estudio.
- Se cumplieron con los cuatro principios de la ética. La beneficencia que implicó tratar con la mayor objetividad posible los artículos en observación.

La maleficencia que implicó que este estudio no tuvo la intención de brindar resultados poco confiables o dudosos. La autonomía que permitió que el desarrollo del estudio se realizara según la pertinencia y criterio del investigador. La justicia que consistió en tratar de forma igualitaria a los objetos en análisis sin vulnerar sus creencias.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La búsqueda inicial de productos literarios dio como resultado la obtención de 36 artículos científicos. Esta cantidad fue descendiendo conforme se aplicaron tres tipos de filtros. A continuación, se muestra la dinámica que permitió la selección y exclusión de productos literarios según la conveniencia del estudio.

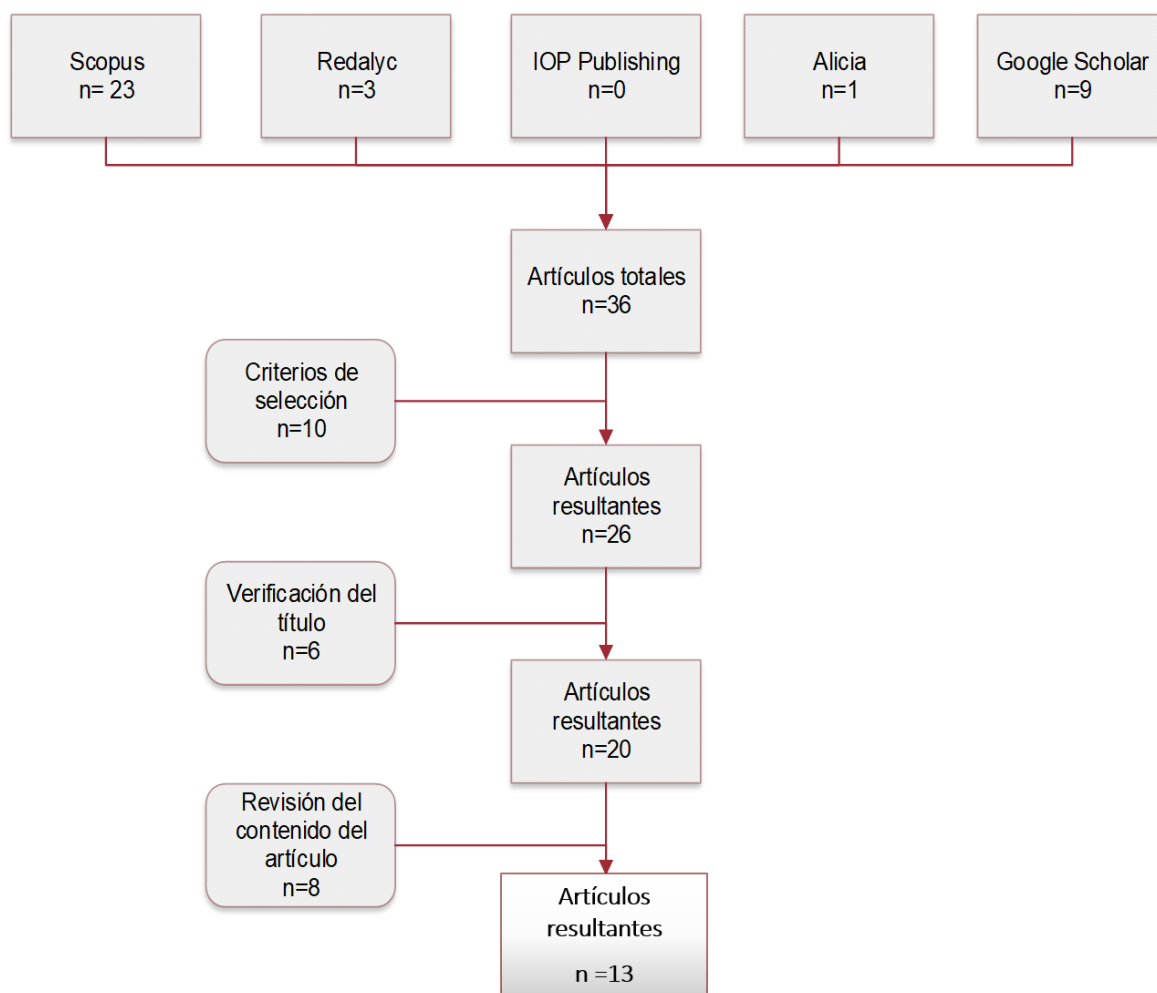


Figura 4. Exclusión de artículos científicos

En la Figura 4 se observa que la base de datos bibliográfica que proporcionó una mayor cantidad de artículos fue Scopus (23), seguido de Google Scholar (9), Redalyc (3) y Alicia (1). Con una cantidad bruta de 36 artículos, se aplicaron los criterios de exclusión, que pueden visualizarse en la; el acceso restringido y la fecha de publicación fueron las directrices para eliminar 10 artículos. Seguidamente, se recurrió a la verificación del título de la publicación, el cual debía expresar ideas

que tengan congruencia con los objetivos de la presente investigación; por ello, se excluyó 6 artículos. Finalmente, se realizó un análisis del contenido del artículo y se estableció que 8 artículos no presentaban resultados que podrían ser útiles para el desarrollo de esta revisión sistemática. Todo este proceso permitió conservar 12 artículos y (01) un libro, los cuales serán evaluados más adelante.

Los bosques montanos son ecosistemas cuya composición y comportamiento varía acorde a la locación, la altitud y el ambiente que lo rodea (Krasilnikov, 2019). Por ello, los estudios revisados no tratan específicamente alguna característica en particular de los bosques montanos como biomasa y especies forestales. A continuación, se muestran los enfoques estudiados por cada artículo según las categorías en análisis.

Tabla 4

Temas analizados por los artículos en revisión

Ítem	Autor	Biomasa			Especies forestales		Presencia de GEI
		Aérea	Sub-terránea	Arbórea	Arbóreas	Arbustivas	Carbono o CO ₂
1	Alfaro et al. (2018)	×			×	×	×
2	Aragón et al. (2021)	×			×		
3	Avendaño et al. (2019)			×	×		×
4	Cuni et al. (2017)	×			×		
5	Dilas y Huamán (2020)	×		×	×	×	×
6	Leija et al. (2018)	×					×
7	Lozano, Palacios y Aguirre (2018)			×	×		×
8	Mattson et al. (2016)	×					×
9	Muhati, Olago y Olaka (2018)	×			×		×
10	Siraj (2019)	×	×	×	×		×
11	Vizcaíno, Williams y Asbjornsen (2020)	×			×		×
12	Wood et al. (2019)	×	×				×
13	Ángel F. Morales Godo y	×			×	×	×

Al observar la Tabla , se destacan los siguientes patrones:

- La mayor parte de los artículos en revisión se enfocaron en el análisis de la biomasa aérea. En los artículos con idioma inglés, los términos utilizados para referirse a la biomasa aérea fueron “aerial biomass” y “aboveground biomass”.
- Fueron pocos los artículos que analizaron la biomasa subterránea y biomasa arbórea, siendo que en algunas ocasiones los investigadores efectuaban una comparación de la concentración de carbono entre dos o tres tipos de biomosas.
- Entre las especies forestales más estudiadas correspondieron a las arbóreas; mientras que una parte de los artículos analizó las especies arbóreas en general, otras especificaron la familia y sub género de árboles. Con respecto a las especies arbustivas, esta situación no se repite dado que Alfaro et al. (2018) y Dilas y Huamán (2020) fueron los únicos que elaboraron un estudio relacionado. El resto de estudios tratan las especies arbustivas de forma referencial, sin llegar a profundizar.
- En términos generales o específicos, los estudios mencionan la cantidad almacenada de carbono y/o CO₂ y la capacidad de las especies para secuestrar los gases. La mayor parte de artículos analizan la biomasa y la vinculan con el carbono almacenado.

Generalmente, cuando se trata de medir la concentración de carbono en la biomasa de los bosques montanos, se evalúa la biomasa aérea y la biomasa subterránea (Krasilnikov, 2019). Sin embargo, es imprescindible tomar en cuenta la biomasa arbórea dado que son sub ecosistemas que albergan diversidad de especies de flora y fauna.

A continuación, se observan los resultados sobre la biomasa de los bosques montanos y el comportamiento del carbono.

Tabla 5

Resultados sobre la biomasa y el carbono almacenado

Ítem	Ubicación	Cantidad			Resultados
		Biomasa aérea	Biomasa subterránea	Biomasa arbórea	
1	Perú	Bosque Intipunku: 145 ± 2.80 T/ha Bosque Kantupata: 101 ± 3.46 T/ha (Alfaro et al., 2018, p. 640)			Los resultados revelaron una relación indirectamente proporcional entre la altitud de los bosques y la cantidad de biomasa. Al tener poca altura, Intipunku registró niveles de carbono de hasta 66 TC/ha mientras que Kantupata alcanzó a 54 TC/ha con una variación de ± 5.7 (Alfaro et al., 2018, p. 646).
2	Perú	Bosque montano tropical andino: osciló entre 42 ± 5.4 T/ha y 60 ± 7.9 T/ha (Aragón et al., 2021, p. 8)			Los resultados hicieron referencia a la cantidad de biomasa aérea recuperada en treinta años. Sin embargo, los niveles fueron muy bajos dado que debería alcanzar a 106 ± 33 T/ha, lo que evidenció una recuperación lenta. No definió una cantidad o capacidad de almacenamiento de carbono (Aragón et al., 2021, p. 9).
3	México			Bosque mesófilo montano: El estudio analizó dos tipos de especies arbóreas en particular, pero no especificó la biomasa arbórea.	Los bosques mesófilos montanos se caracterizaron por tener dos especies arbóreas que tenían una gran capacidad de almacenamiento de carbono, que osciló entre 11 y 13 TC/ha (Avendaño et al., 2019, p. 86).
4	África	Bosques mixtos: 611 T/ha (Cuni et al., 2017, p. 239)			Los bosques mixtos demostraron tener una mayor cantidad de biomasa que los secos y enanos, siendo el bosque Mt Nyro con mayor

					cantidad de biomasa aérea (Cuni et al., 2017, p. 235).
5	Perú	El estudio no definió la cantidad exacta de biomasa aérea en análisis.		El estudio no definió la cantidad exacta de biomasa arbórea en análisis.	El bosque montano de neblina (teniendo en cuenta solo el sotobosque, la hojarasca y el suelo) tuvo 126 TC/ha, lo que evidenció una eficiencia elevada en cuanto a la captura de carbono (Dilas y Huamán, 2020, pp. 19-20).
6	México	Bosque nuboso montano tropical: 271 T/ha (Leija et al., 2018, p. 2137)			Los bosques nubosos montanos almacenaron alrededor de 15 TC/ha. Este bosque se subdivide en dos áreas: Tlanchinol que presentó 16.35 TC/ha y San Bartolo con 12.7 TC/ha (Leija et al., 2018, p. 2141).
7	Ecuador			Bosques montanos bajos: 322 T/ha, compuesto por 179 especies arbóreas (Lozano, Palacios y Aguirre, 2018, p. 1332)	Los bosques montanos al sur de Ecuador presentaron una cantidad de almacenamiento de 161 TC/ha (Lozano, Palacios y Aguirre, 2018, p. 1336).
8	Sri Lanka	No definió la cantidad de biomasa aérea en las zonas ecológicas de Sri Lanka. Estas zonas se componen bosques semi montanos, montanos, baja altura, secos y húmedos.			Los bosques semimontanos y montanos presentaron un nivel promedio de almacenamiento de carbono de 138 ± 100 TC/ha y 39 ± 26 TC/ha, respectivamente (Mattson et al., 2016, p. 90).
9	Kenia	No definió la cantidad exacta de biomasa aérea en los bosques montanos de Kenia			Los bosques del norte de Kenia almacenaron alrededor de 12.42 TC/ha (Muhati, Olago y Olaka, 2018, p. 1).

10	Etiopía	Bosque Chilimo-Gaji: 844 T/ha (Siraj, 2019, p. 216)	Bosque Chilimo-Gaji: 169 T/ha (Siraj, 2019, p. 216)	Bosque Chilimo-Gaji: 1013 T/ha (Siraj, 2019, p. 216)	El bosque afro montano demostró tener una mayor cantidad de biomasa arbórea, seguido de la biomasa aérea. La biomasa aérea almacenó 422 TC/ha y 1549 TCO ₂ /ha mientras que la biomasa subterránea almacenó 85 TC/ha y 310 TCO ₂ /ha. Todo el bosque tenía la capacidad para secuestrar 1859 TC/ha (Siraj, 2019, p. 218).
11	México	Bosques tropicales montanos de México: 349 T/ha (Vizcaíno, Williams y Asbjornsen, 2020, p. 32)			La biomasa aérea del bosque montano tropical de Veracruz demostró almacenar hasta 9 TC/ha (Vizcaíno, Williams y Asbjornsen, 2020, p. 33).
12	Etiopía	Bosque natural de Sheko: 124 T/ha Bosque cafetal de Sheko: 102 T/ha (Wood et al., 2019, p. 9)	Bosque natural de Sheko: 27 T/ha Bosque cafetal de Sheko: 22 T/ha (Wood et al., 2019, p. 9)		La biomasa (aérea y subterránea) del bosque natural de Sheko presentó 75.5 TC/ha mientras que la biomasa del bosque cafetal presentó 62.5 TC/ha (Wood et al., 2019, p. 9).
13	Perú	Bosque secundario Quilla-San Alberto-Oxapampa 52.77 T/ha (Milton y Morales., 2015 p. 99)	Bosque secundario de la cuenca Quilla-San Alberto-Oxapampa 52.77 T/ha (Milton y Morales., 2015 p. 99)	Bosque secundario el presente estudio analizo la biomasa y almacenamiento de carbono en distintos tipos de géneros arbóreos.	Los resultados hicieron referencia en relación a la biomasa y carbono a nivel de género, hay especies que almacenan mayor carbono, asimismo las especies del bosque secundario aéreo se encuentra correlacionado positivamente (Milton y Morales., 2015 p. 105)

La Tabla explica la cantidad de biomasa que contenía cada bosque, la cual es representada a través de toneladas por cada hectárea en análisis. En algunos casos, los investigadores no establecieron el carbono en stock, por ello, se consideró otro tipo de resultados que podrían ser relevantes para el sustento del presente trabajo.

A continuación, se presentan los resultados acerca de la dominancia de las especies forestales y el carbono almacenado.

Tabla 6

Resultados sobre las especies forestales y carbono almacenado

Ítem	Lugar en observación	Cantidad		Resultados
		Especies Arbóreas	Especies Arbustivas	
1	Bosques Intipunku y Kantupata	<i>Gordonia fruticosa</i> dominó con un área de 19 T/ha (Alfaro et al., 2018, p. 632).	<i>Weinmannia crassifolia</i> dominó con un tamaño de 32 T/ha (Alfaro et al., 2018, p. 632)	<i>Gordonia fruticosa</i> demostró tener una importancia ecológica (IVI) de 28.4% para el bosque Intipunku mientras <i>Weinmannia crassifolia</i> centró el 70.8% para el bosque Kantupata (Alfaro et al., 2018, p. 644).
2	Bosque montano tropical andino	<i>Alchornea latifolia</i> dominó con 220 especies, seguido a <i>Inga punctata</i> con 97 (Aragón et al., 2021, p. 7).		No estableció una cantidad específica de recuperación de biomasa ni almacenamiento de carbono, pero mencionó la importancia de no deforestar dado que las especies acumularon carbono.
3	Bosque mesófilo montano	<i>A. acuminata</i> dominó con 1715 árboles por hectárea. <i>T. micrantha</i> presentó 1590 árboles por hectárea (Avendaño et al., 2019, p. 85).		<i>A. acuminata</i> concentró alrededor de 13 ± 0.05 TC/ha mientras que <i>T. micrantha</i> concentró 11 ± 0.04 TC/ha. Asimismo, la tasa anual de captura de carbono de la primera especie de fue 2.6 TC/ha por año y de la segunda fue de 2.02 TC/ha (Avendaño et al., 2019, p. 86).
4	Bosques mixtos de Mt Nyiro	<i>Podocarpus latifolius</i> dominó con 364 T/ha (biomasa) (Cuni et al., 2017, p. 243).		No definió una capacidad específica, pero presumió que la especie podría albergar una gran cantidad de carbono.

5	Bosque montano de neblina de Cajamarca	El bosque estaba compuesto de especies como <i>Ocotea</i> , <i>Podocarpus</i> , <i>Drymis</i> , <i>Weinmenia</i> , las cuales albergan árboles y arbustos (Dilas y Huamán, 2020, p. 16). El estudio no definió la cantidad específica de especies.		El sotobosque almacenó aproximadamente 11 TC/ha, siendo superado por el suelo que secuestró 109 TC/ha (Dilas y Huamán, 2020, pp. 19-20).
6	Bosque nuboso montano tropical de México	No especificó las especies forestales.		
7	Bosques montanos bajos ecuatorianos	No especificó la cantidad de árboles o hectáreas ocupadas, pero las especies que denominaron fueron: <i>Pseudolmedia laevigata</i> , <i>nectandra reticulata</i> , <i>otoba parvifolia</i> , <i>vochysia paraensis</i> (Lozano, Palacios y Aguirre, 2018, p. 1335).		Las especies mencionadas almacenaron 81 TC/ha, es decir, el 51% del total acumulado en todo el bosque. La especie que destacó fue <i>Pseudolmedia laevigata</i> , que almacenó alrededor de 28 TC/ha (Lozano, Palacios y Aguirre, 2018, p. 1335).
8	Bosque montano y semimontano de Sri Lanka	No especificó las especies forestales.		
9	Bosque del norte de Kenia	No especifica la cantidad de árboles o área ocupada pero las especies que dominaron fueron <i>Croton megalocarpus</i> , <i>Dryoetes gerrardii</i> , <i>ochna insculpta</i> (Muhati, Olago y Olaka, 2018, p. 11).		<i>Croton megalocarpus</i> tuvo una importancia ambiental (IVI) de 39.04, <i>Dryoetes gerrardii</i> de 36.84 y <i>ochna insculpta</i> de 31.57. Esto significa que son las que inciden más en la captura de carbono (Muhati, Olago y Olaka, 2018, p. 12).
10	Bosque afro montano	<i>Podocarpus falcatus</i> dominó con 214 árboles, seguido de <i>Olea europea</i> con 49, <i>Juniperus procera</i>		<i>Podocarpus falcatus</i> almacenó 87 TC/ha, <i>Olea europea</i> 66 TC/ha, <i>Juniperus procera</i> 79 TC/ha y <i>Olinia rochetiana</i> 49 TC/ha (Siraj, 2019, p. 214).

		con 45 y <i>Olinia rochetiana</i> con 42 (Siraj, 2019, p. 217).		
11	Bosques tropicales montanos de México	No especificó la cantidad de árboles o proporciones, pero resalta las especies <i>Alchornea latifolia</i> , <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>T. micrantha</i> (Vizcaíno, Williams y Asbjornsen, 2020, p. 27).		No especificó la cantidad de carbono o CO ₂ almacenado en los árboles.
12	Bosque natural y bosque cafetal de Sheko	No especificó las especies forestales.		
13	Bosque secundario de la cuenca Quilla, San Alberto Oxapampa-Perú	El bosque secundario estaba conformada por 05 especies arbóreas como, <i>Weinmania</i> , <i>Miconia</i> , <i>clusia</i> , <i>Hasseltia</i> y <i>Ocotea</i> , especies que garantizaron un mayor almacenamiento de carbono.		<i>Weinmania</i> demostró tener la mayor cantidad de biomasa seca y masa de carbono a nivel de genero de (40,08 y 20,04 T/ha), asimismo <i>Clussia</i> obtuvo (29.92 y 14,96 T/ha), <i>Ocotea</i> (28,54 y 14,27 T/ha), <i>Hasseltia</i> (17,42 y 8,71 T/ha), y <i>Miconia</i> (17,42 y 7,13 T/ha). (Morales Túllume y, 2015 p. 102).

Como se puede ver en la Tabla , en tres estudios los investigadores no definieron las especies forestales. Además, en otros artículos tampoco se establecieron la capacidad de captura o carbono almacenado, por ello, se adjuntaron otros resultados que serían importantes para este estudio.

En relación a los bosques montanos y su capacidad para secuestrar y almacenar carbono, la *conservación* surge como una idea concluyente mas no es parte de los resultados. A continuación, se identifica el juicio que propuso cada investigador, siendo percibido más como una recomendación.

Tabla 7

Conclusiones sobre la conservación de los bosques

Ítem	JUICIO
1	Los bosques montanos de Wiñaywayna (Cusco) son áreas naturales protegidas por la ley porque son parte del Santuario Histórico de Machu Picchu. Cumple un rol fundamental para la captación y secuestro de carbono dado que la biomasa encontrada presentó una gran capacidad (Alfaro et al., 2018, p. 648).
2	Los bosques montanos andinos no acaparan tanto la atención como los bosques de los ecosistemas amazónicos cuando son ellos los que brindan servicios críticos tales como la preservación de la biodiversidad, la provisión de agua y el secuestro de carbono. Perú debería cumplir con el plan de reforestación 20x20, en el que anexa la recuperación de 3.2 millones de hectáreas (Aragón et al., 2021, p. 11).
3	La reconversión de las áreas deforestadas del bosque mesófilo mexicano a través de un plan de restauración progresiva permitiría que los sumideros de carbono sean recuperados. Las especies <i>A. acuminata</i> y <i>T. micrantha</i> se caracterizaron por tener un crecimiento rápido, por ello, serían idóneas para el inicio de la restauración y la pronta captura y secuestro de carbono (Avendaño et al., 2019, p. 86).
4	Los bosques montanos tropicales de Mt Nyro contienen una gran reserva de carbono dado que presentan una gran cantidad de biomasa aérea. De transformarlos en otro tipo de cobertura terrestre, liberaría altos niveles de carbono (Cuni et al., 2017, p. 243).
5	Los bosques de neblina en Cajamarca se encuentran amenazados por actividades humanas y de deforestación, por ello, su conservación debe ser prioridad para los gobiernos locales y nacionales. Paradójicamente, su gran capacidad para capturar carbono los convierte en una zona estratégica y perjudicial (Dilas y Huamán, 2020, pp. 19-22).
6	El bosque montano nuboso tropical en México presentó dos áreas que registraron tasas altas de deforestación (mayores a las reportadas a nivel mundial). La deforestación de casi 43% del área en análisis varió la emisión de carbono en aproximadamente +4 TC/ha. Además, se proyectó deforestación a pequeña escala en caso de que las áreas no fuesen consideradas para REDD+ (Leija et al., 2018, p. 2145).
7	No realizó un comentario acerca de la conservación.
8	Los bosques montanos y otras zonas ecológicas de Sri Lanka se caracterizan por tener una cubierta forestal fragmentada y amenazas de deforestación y degradación a pequeña escala (Mattson et al., 2016, p. 93).
9	El bosque montano del norte de Kenia es un área protegida al ser parte de la Reserva Forestal Marsabit. Sin embargo, en una zona específica se desarrollan actividades antrópicas de pequeña escala (extracción de leña o pastoreo) que llegan a arriesgar la estabilidad del lugar de no ser controladas. El gobierno de Marsabit no implementó planes relacionados al REDD+ para forestar y detener las acciones contraproducentes (Muhati, Olago y Olaka, 2018, p. 24).

10	El bosque Chilimo-Gaji contribuye a la reducción del impacto del cambio climático y GEI dado que presenta no solo almacena altos niveles de carbono, sino que tiene potencial para capturar más. La conservación ha sido tarea de la gestión pública de Etiopía, lo que le permitiría obtener créditos de carbono y salvaguardar la salud de los pobladores del rededor (Siraj, 2019, p. 218).
11	La conversión de los bosques montanos tropicales a plantaciones de café intensificaría el uso de las tierras, lo cual afectaría seriamente a las plantas y animales que radican en el lugar. Este hecho elevaría las emisiones de carbono dado que los bosques maduros albergan una gran cantidad de este elemento (Vizcaíno, Williams y Asbjornsen, 2020, p. 33).
12	El manejo forestal comunitario benefició la conservación de los bosques montanos localizados en Sheko, Etiopía ya que permitió la preservación de la biodiversidad, la captación y el secuestro de carbono y la desaceleración de la deforestación de bosques. (Wood et al., 2019, p. 9).
13	El bosque secundario de la cuenca Quilla- San Alberto, Cabe destacar que la mayoría de los encuestados considera de importancia la protección del bosque secundario, para la protección de flora y fauna y vegetación silvestre, Asimismo generara la información necesaria para estudios posteriores que van a servir para este tipo de bosques secundario. (Morales y Túllume, 2015 p.105).

Para el objetivo general *“Analizar la incidencia del almacenamiento de carbono en la mejora de la conservación de los bosques montanos”* se realizó una revisión sistemática, la cual tomó en cuenta 12 artículos provenientes de cuatro bases de datos bibliográficos, cuya fecha de publicación no debía anteceder el año 2016. No todos los estudios tuvieron un enfoque similar del tema ni analizaron el mismo bosque; por ello, se identificó una variación en los resultados. Aun así, se compiló información sustancial para la construcción de este estudio.

Para el objetivo específico 1 *“Establecer la capacidad de almacenamiento de carbono de la biomasa de los bosques montanos”* se analizaron los niveles de carbono capturados por los bosques montanos localizados en diversas partes del mundo. Cada estudio observó una o más parcelas para estimar la cantidad de carbono almacenado, por ello, dichas cifras tienen un grado de error. A través de modelos y ecuaciones alométricas, regresión lineal y observación, la biomasa fue cuantificada; a partir de esto, algunos generalizaron que el stock de carbono representaba el 50% de la biomasa de los bosques montanos, independientemente de su tipo.

Los bosques montanos tenían un mayor potencial de captura de carbono en comparación con los bosques amazónicos (Aragón et al., 2021); la biomasa concentrada en estos ecosistemas tiene la capacidad para secuestrar y almacenar este elemento por muchos años. Esto es motivo suficiente para que figuras nacionales e internacionales inviertan esfuerzos en su conservación. No obstante, se ven constantemente amenazados por la riqueza de especies forestales, situación que genera un efecto contraproducente para el ser humano como la liberación de grandes cantidades de carbono al ambiente.

El presente trabajo no pretendió determinar qué tipo de biomasa tuvo mayor potencial para capturar y almacenar carbono, sino establecer su potencial en general. De este modo, se identificó que mientras más grande fuese el tamaño de la biomasa, mayores serían las probabilidades de secuestrar carbono para el bosque montano. Esto resulta ser un beneficio cuando se sabe que los bosques montanos poseen grandes cantidades de biomasa y, en consecuencia, un mayor potencial para capturar carbono en comparación con bosques de otra clase (Avendaño et al., 2019; Dilas y Huamán, 2020).

Las biomásas analizadas fueron la aérea, la subterránea y la arbórea. De acuerdo al marco teórico, la biomasa aérea tiene en cuenta los recursos que se encuentran por encima del suelo como la vegetación; sin embargo, aunque pueda resultar parecido al concepto de biomasa arbórea, no lo es. La biomasa arbórea solo tiene en consideración las especies vegetativas de árboles y no las arbustivas u otro tipo de vegetación que radica en el suelo.

La mayor parte de los artículos revisados tuvieron como foco de atención la biomasa aérea. Sin embargo, se identificaron dos comportamientos. (A) El primer patrón radicó en que más de dos investigadores estimaron la cantidad de carbono bajo la premisa de que este representaba la mitad de la biomasa. Por ejemplo, Siraj (2019) halló que el bosque Chilimo-Gaji de Etiopía contenía alrededor de 844 T/ha y 422 TC/ha, lo que se interpreta como la cobertura del 50% de la biomasa aérea por carbono. Siguiendo esta lógica, la biomasa de los bosques natural y cafetal de Sheko en Etiopía estaban cubiertos de carbono entre 49% y 50%. (Wood *et al.*,

2019), el carbono de dos bosques húmedos bajos localizados en la Reserva Biológica Uyuca en Honduras equivalió al 49.9% de la biomasa aérea y de raíces (Mora et al., 2016). Esto quiere decir que los investigadores dan por hecho que los bosques montanos tienen una gran capacidad para almacenar carbono. La proporcionalidad de biomasa subterránea y arbórea y el carbono imitó el mismo comportamiento. Estos resultados coinciden con otros dos estudios que no consideraron esta premisa. El carbono identificado por Alfaro et al. (2018) cubría el 46% de la biomasa aérea del bosque Intipunku de Perú. Asimismo, Quiceno et al. (2016), observaron un bosque húmedo tropical amazónico y establecieron que contenía alrededor de 261 T/ha de biomasa total y 130 TC/ha (equivalente a 49.8%).

El segundo patrón fue que no se cumplió con lo establecido por el primer patrón: por ejemplo, 349 T/ha de biomasa aérea identificados en los bosques tropicales andinos en México contuvieron solamente 9 TC/ha (Vizcaíno, Williams y Asbjornsen, 2020), traducándose a un 3% de cobertura, cifra muy pequeña. Si bien otros investigadores mencionados en el marco teórico de la presente tesis establecieron la cantidad de carbono en la zona, como Leyva et al. (2021) y Suárez et al. (2016), quienes identificaron 541 TC/ha y 683 TC/ha para un bosque de pino y páramos, respectivamente, no se podría afirmar el cumplimiento de este patrón dado que no definieron el tamaño de la biomasa.

Para el objetivo específico 2 *“Identificar las especies forestales nativas que tienen mayores niveles de carbono almacenado en los bosques montanos”* se reconocieron las especies que dominaron las parcelas estudiadas. Las especies con mayor recubrimiento que fueron identificadas por dos o más estudios fueron *Podocarpus*, *Trema micrantha* y *Alchornea*. Las especies que registraron mayores niveles de carbono fueron arbóreas, específicamente las analizadas por Siraj (2019) con *Podocarpus falcatus* (87 TC/ha), *Juniperus procera* (79 TC/ha) y *Olinia rochetiana* (49 TC/ha). A esta sucesión le sigue *Pseudolmedia laevigata* (28 TC/ha), mencionada por Lozano, Palacios y Aguirre (2018).

Con respecto a las especies nativas forestales que tuvieron una mayor capacidad para secuestrar y albergar carbono, no se obtuvo una información consistente y concreta a excepción de que el tipo de masa más estudiada y, por ende, con mayor evidencia fue la vegetación arbórea. La dominancia de las especies y el carbono almacenado no desarrollaron necesariamente una relación directa, lo que quiere decir que, si se identificó una mayor cantidad de árboles de cierta especie, no significó que tuvieran gran capacidad para capturar y ser reserva de carbono.

Las especies que ocuparon más espacio en relación a las áreas estudiadas fueron *Alnus acuminata* y *Trema micrantha* con un dominio de 1,715 árboles/ha y 1,590 árboles/ha, respectivamente (Avendaño et al., 2019). A esta cantidad le siguió *Alchornea latifolia* con 220 árboles/ha (Aragón et al., 2021) y *Podocarpus falcatus* con 214 árboles/ha (Siraj, 2019). Bajo otra medición cuantitativa, *Gordonia fruticosa* presentó una dominancia de 19 T/ha, siendo superado por la especie arbustiva *Weinmannia crassifolia* que dominó con 32 T/ha (Alfaro et al., 2018). Estos resultados no coincidieron con el estudio de Leyva et al. (2021), que halló que había 950 árboles/ha de las especies *Pinus pseudostrobus* y *Quercus laurina*. El resto de estudios anexados en el marco teórico no establecieron una cantidad fija; solo algunos pocos se limitaron a mencionar las especies arbóreas o arbustivas de mayor predominancia como *Pseudolmedia laevigata*, *Nectandra reticulata*, *Otoba parvifolia*, *Vochysia paraensis* (Lozano, Palacios y Aguirre, 2018), bromelias, epífitas y *Pinus maximinoi* (Mora et al., 2016). Esto se debe a que las áreas observadas fueron bosques de pinos, páramos, zonas húmedas, entre otros.

Las especies forestales arbóreas fueron identificadas como grandes reservas de carbono dado que, según los artículos que fueron parte de esta revisión sistemática, pudieron almacenar hasta más de 80 toneladas de carbono por cada hectárea en análisis, discriminando su dominancia en el espacio observado. La especie *Podocarpus falcatus* acumuló 87 TC/ha, *olea europea* acumuló 66 TC/ha, *Juniperus procera* acumuló 79 TC/ha, *Olinia rochetiana* acumuló 49 TC/ha (Siraj, 2019) y *Pseudolmedia laevigata* acumuló 28 TC/ha (Lozano, Palacios y Aguirre, 2018). Al otro extremo, las especies *Alnus acuminata* y *Trema micrantha* solo concentraron 13 TC/ha y 11 TC/ha, respectivamente (Avendaño et al., 2019). Las investigaciones

anexadas en el marco teórico no especifican las especies arbóreas o arbustivas. Similar al último resultado, se encuentra Segura *et al.* (2019), quienes descubrieron que los árboles de bosques del páramo de Anaimé, en Colombia, contuvieron hasta 242 TC/h. También Leyva *et al.* (2021), hallaron que las especies arbóreas reservaron entre 199 y 383 TC/ha para tres bosques de pinos. Por otra parte, Martel y Cairampoma (2012) identificaron que los árboles y herbáceas que ocupaban 1,887 hectáreas del bosque almacenaban 335 TC/ha.

Para el objetivo específico 3 “*Evaluar el impacto de la presencia de la biomasa y especies nativas en la mejora de la conservación de los bosques montanos*” se recurrió a un análisis de las opiniones de los investigadores. La conservación de los bosques montanos no es tratada directamente por los artículos como tema de investigación sino como un aspecto a mencionar para complementar el contexto diseñado al lector y la recomendación final. Aun así, los estudios coincidieron en tres puntos: (a) la gran cantidad de biomasa de los bosques montanos representan importantes reservas de carbono, (b) la abundancia de recursos naturales en los bosques montanos son el motivo de amenaza por deforestación y degradación, que implica la liberación de grandes cantidades de carbono y (c) el gobierno de turno debería reforzar la seguridad del bosque, indiferentemente si es área natural protegida. En síntesis, el resultado es paradójico. La biomasa y las especies forestales mitigan la presencia de carbono en el ambiente, pero también son el motivante para la efectucción de actividades antrópicas (tala de árboles, uso de los suelos). En otras palabras, cuando la presencia de esta biomasa y las especies forestales debería ser un impulsor para la conservación, es el punto de atención para la degradación y deforestación.

Los artículos en revisión demostraron que los bosques montanos fueron grandes reservas de carbono a causa de la presencia de biomasa y diversas especies forestales. Consecuentemente, esta capacidad natural debió ser el centro de atención para reforzar la protección de los bosques; sin embargo, gran parte de los investigadores desplegaron un contexto totalmente opuesto. La conversión del suelo, deforestación, degradación y efectucción de actividades antrópicas resultaron ser las principales amenazas identificadas por Mattson *et al.* (2016), Cuni

et al. (2017), Muhati, Olago, Olaka (2018), Dilas, Huamán (2020), Vizcaíno, Williams y Asbjornsen (2020). Situados en regiones, países e, incluso, continentes distintos, estos bosques son degradados de menor a mayor nivel, desde acciones de pequeña escala que beneficia a las comunidades que habitan los alrededores, hasta planes de grande escala que implica una entera deforestación de los bosques para transformarlos en plantaciones. Esta información coincidió con lo presentado por Suárez *et al.* (2016), quien estableció que los humedales alto andinos localizados en Ecuador sufrieron drenado, quema y pastoreo, actividades que afectaron el secuestro de carbono y provocaron su liberación, en conjunto con dióxido de carbono. Martel y Cariampoma (2012), por su parte, manifestaron que la vegetación formada en la llanura amazónica era afectada por acciones de mayor gravedad generadas por la minería y la tala masiva de árboles.

Otro tipo de estudios señalaron que las autoridades debían ceñirse a un programa de recuperación de los bosques. Los artículos de Siraj (2019), Wood *et al.* (2019), Avendaño *et al.* (2019), y Aragón *et al.* (2021), determinaron que el ecosistema forestal estaba siendo recuperado o tendría que cumplir con un plan de Reforestación 20x20, plan de restauración progresiva, manejo forestal comunitario, programa REDD+ o una gestión eficiente por parte del sector público. Otros estudios no fijaron un plan de acción, pero sí enfatizaron en la conservación total de los bosques. Suárez *et al.* (2016), indicaron que las actividades antrópicas interrumpen el ciclo del carbono, convirtiéndose en, acorde a Burbano (2018), la principal causa del cambio climático. Martel y Cariampoma (2012) sostuvieron que el aliciente de la conservación de los bosques era el ingreso al mercado de carbono. Esto último coincide con lo establecido en el marco teórico puesto que el interés por reducir el carbono tiene recompensa por parte del FCPF, organismo que otorga fondos de carbono para continuar con la recuperación y restablecimiento de los bosques en general.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

- Los bosques montanos tienen mayor potencial de captura y almacenamiento de carbono en comparación con los bosques amazónicos debido a que poseen grandes cantidades de biomasa concentrada que tienen la capacidad de secuestrar y almacenar este elemento por muchos años.
- Las especies forestales arbóreas fueron identificadas como grandes reservas de carbono ya que pueden almacenar hasta más de 80 TC/ha. Sin embargo, la dominancia de las especies y el carbono almacenado no poseen una relación directa, es decir la mayor cantidad de árboles de cierta especie, no significa que tenga gran capacidad para capturar y ser reserva de carbono.
- Los bosques montanos poseen abundancia de recursos naturales, especies forestales con grandes cantidades de biomasa que representan importantes reservas de carbono lo cual debería ser un impulsor para su conservación, pero también son el motivo para la efectucción de actividades antrópicas (tala de árboles, cambio de uso de los suelos).
- La mayor cantidad de biomasa aérea está conformada por las primeras ocho (08) especies arbóreas: *Podocarpus*, *Gordonia fruticosa*, *Weinmannia*, *Miconia*, *Clusia*, *Hasseltia*, *Alchornea latifolia* y *Ocotea*, los cuales garantizaron por sus características anatómicas un mayor almacenamiento de carbono.

VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para futuras investigaciones son las siguientes:

- Profundizar en el estudio de los servicios ecosistémicos que poseen los bosques montanos, para darles la importancia real que merecen y así promover su recuperación y conservación.
- Actualmente existe escasas información, se recomienda realizar estudios más detallados con el fin de reforzar la investigación de los bosques montanos para determinar la capacidad de absorción de carbono por cada tipo de especie nativa.
- Se recomienda promover la investigación sobre la gestión de almacenamiento de carbono en los bosques montanos para garantizar su preservación y conservación de nuestros bosques en comunidades nativas así contribuimos con la mitigación al cambio climático.
- Por último, realizar estudios en acumulación de carbono en bromelias, epifitas, musgos, orquídeas, líquenes y helechos que son hábitat de los bosques de neblina que son de real importancia en este tipo de ecosistema. Del mismo modo, promover su conservación de las especies nativas ejecutando iniciativas productivas de sembríos de las especies antes mencionadas.

REFERENCIAS

- Agencia Andina. (26 de junio de 2017). *Día de los Bosques Tropicales: conoce los tipos de bosque que posee el Perú*. Obtenido de Andina: <https://andina.pe/agencia/noticia-dia-los-bosques-tropicales-conoce-los-tipos-bosque-posee-peru-850781.aspx#:~:text=En%20el%20Per%C3%BA%20existe%20una,y%20bosque%20de%20selva%20baja>.
- Alfaro, L., Paiva, G., Espinoza, H., Monteagudo, A., & Chávez, 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. doi:10.22497/arnaldoa.252.25217
- Álvarez, G., García, N., Krasilnikov, P., & García, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47(2).
- Anwar, M., Iftikhar, M., Khush, B., Sohail, N., Baqar, M., Yasir, A., & Nizami, A. (2019). Sources of Carbon Dioxide and Environmental Issues. *Sustainable Agriculture Reviews*, 37, 13-36. doi:10.1007/978-3-030-29298-0_2
- Aragón, S., Salinas, N., Nina, A., Huaman, V., Rayme, G., Huaman, W., . . . Roman, R. (2021). Aboveground biomass in secondary montane forests in Peru: Slow carbon recovery in agroforestry legacies. *Global Ecology and Conservation*, 28. doi:10.1016/j.gecco.2021.e01696
- Avendaño, M., Sánchez, L., Martínez, D., Perroni, Y., Ibarra, S., Alarcón, E., & Pineda, M. (2019). Almacén de carbono en biomasa aérea de plantaciones experimentales con especies de sucesión temprana del bosque mesófilo de montaña. *Botanical Sciences*, 97(1), 82-88. doi:10.17129/botsci.2031
- Biodiversidad mexicana. (5 de enero de 2021). *Bosques nublados*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueNublado>
- Blanco, M. (2011). Investigación narrativa: una forma de generación de conocimientos. *Sociedad Compleja*, 24(67), 135-156.
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias agrícolas*, 35(1), 82-96. doi:http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85
- Busch, P., Carkovic, A., González, V., & Bonilla, C. (2017). Secuestro de carbono en el suelo: cuantificación del potencial de captura en el suelo de un bosque patagónico. *Investigaciones PUCP*, 42-47.
- Butler, R. (2009). *Tipos de bosques lluviosos*. Recuperado el 25 de febrero de 2022, de Mongabay: <https://global.mongabay.com/es/rainforests/0103.htm>

- Carcausto, W., & Morales, J. (2017). Publicaciones sobre ética en la investigación en revistas biomédicas peruanas indizadas. *Anales de la Facultad de Medicina*, 78(2), 57-64. doi:10.15381/anales.v78i2.13199
- Cardona, C., Garzón, J., & Jiménez, G. (2020). Estimación de la captura de carbono en un relicto de bosque urbano mediante técnicas de teledetección. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 19(37), 13-34.
- Cuni, A., Pfeifer, M., Marchant, R., Calders, K., Sorensen, C., Pompeu, P., . . . Burgess, N. (2017). New insights on above ground biomass and forest attributes in tropical montane forests. *Forest Ecology and Management*, 399, 235-246. doi:10.1016/j.foreco.2017.05.030
- Cuyckens, G., & Renison, D. (2018). Ecology and conservation of *Polylepis* montane forests. An introduction to the special issue. *Ecología Austral*, 8(1), 157-162.
- Dilas, J., & Huamán, A. (2020). Captura de carbono por un bosque montano de neblina del Perú. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica Alpha Centauri*, 1(3), 13-25. doi:10/47422/ac.vli3.16
- Dobor, L., Hlasny, T., Rammer, W., Barka, I., Trombik, J., Pavlenda, P., . . . Seidl, R. (2018). Post-disturbance recovery of forest carbon in a temperate forest landscape under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 263, 308-322. doi:10.1016/j.agrformet.2018.08.028
- Domke, G., Oswalt, S., Walters, B., & Morin, R. (2020). Tree planting has the potential to increase carbon sequestration capacity of forests in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1-3. doi:10.1073/pnas.2010840117
- Doran, E., Golden, J., & Turner, B. (2017). From basic research to applied solutions: are two approaches to sustainability science emerging? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 29, 138-144. doi:10.1016/j.cosust.2018.01.013
- Doyle, L., McCabe, C., Keogh, B., Brady, A., & McCann, M. (2019). An overview of the qualitative descriptive design within nursing research. *Journal of Research in Nursing*, 1-13. doi:10.1177/1744987119880234
- FAO. (2020). *El estado de los bosques del mundo*. Roma: FAO.
- Fernandez, J., Zafra, J., Goicochea, S., Peralta, C., & Taype, A. (2019). Aspectos básicos sobre la lectura de revisiones sistemáticas y la interpretación de meta-análisis. *Acta Médica Peruana*, 36(2), 157-169.
- Gan, P., Liu, F., Li, R., Wang, S., & Luo, J. (2019). Chloroplasts—Beyond energy capture and carbon fixation: Tuning of photosynthesis in response to chilling stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 1-15. doi:10.3390/ijms20205046

- Garavito, N., Alvarez, C., Arango, S., Araujo, A., Blundo, C., Boza, T., . . . Newton, A. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Ecosistemas*, 21(1), 148-166.
- Gerrand, S., Aspinall, J., Jensen, T., Hopkinson, C., Collingwood, A., & Chasmer, L. (2021). Partitioning carbon losses from fire combustion in a montane Valley, Alberta Canada. *Forest Ecology and Management*, 496, 1-14. doi:10.1016/j.foreco.2021.119435
- González, M., Meave, J., Ramírez, N., Toledo, T., Lorea, F., & Ibarra, G. (2012). Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Ecosistemas*, 21(1), 36-52.
- Hernández, R., Fernández, R., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). McGraw Hill.
- Hiltner, U., Brauning, A., Gebrekirstos, A., Huth, A., & Fischer, R. (2016). Impacts of precipitation variability on the dynamics of a dry tropical montane forest. *Ecological Modelling*, 320, 92-101. doi:10.1016/j.ecolmodel.2015.09.021
- Instituto Forestal. (2019). *Anuario Forestal 2019*. Santiago: Ministerio de Agricultura.
- Jeyanny, V., Husni, M., Wan, K., Siva, B., Arifin, A., & Kamarul, M. (2014). Carbon stocks in different carbon pools of a tropical lowland forest and a montane forest with varying topography. *Journal of Tropical Forest Science*, 26(4), 560-571.
- Jiménez, A. (2021). La diversidad mejora el almacenamiento de carbono en los bosques tropicales. *Recimundo*, 5(2), 316-323.
- Kanninen, M. (2003). Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. *Catie*.
- Knowles, J., Scott, R., Biederman, J., Blanken, P., Burns, S., Dore, S., . . . Barron, G. (2020). Montane forest productivity across a semiarid climatic gradient. *Global Change Biology*, 1-14. doi:10.1111/gcb.15335
- Kómetter, R., & Gálmez, V. (2017). *La restauración de bosques andinos y sus vínculos con el agua*. Lima: Bosques Andinos.
- Krasilnikov, P. (2019). Montane cloud forests. *Encyclopedia of the World's Biomes*. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.11708-7
- Kumar, M., Sundaram, S., Gnansounou, E., Larroche, C., & Thakur, I. (2018). Carbon dioxide capture, storage and production of biofuel and biomaterials by bacteria: A review. *Bioresource Technology*, 247, 1059-1068. doi:10.1016/j.biortech.2017.09.050
- Leija, E., Pavón, N., Sánchez, A., Rodrigo, R., & Ángeles, G. (2018). Land cover change and carbon stores in a tropical montane cloud forest in the Sierra

- Madre Oriental, Mexico. *Journal of Mountain Science*, 15(10), 2136-2147. doi:10.1007/s11629-018-4937-y
- Leyva, T., León, F., Etchevers, J., Cortés, M., Santiago, W., Ponce, A., & Fuentes, M. (2021). Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal comunitario. *Madera y Bosques*, 24(1), 1-18.
- Llatas, S., & López, M. (2005). Bosques montanos-relictos en Kañaris (Lambayeque, Perú). *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 299-308.
- Lozano, D., Palacios, B., & Aguirre, Z. (2018). Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el sur del Ecuador. *Ciencia Forestal*, 28(3), 1328-1339. doi:10.5902/1980509833464
- Lung, M., & Espira, A. (2015). The influence of stand variables and human use on biomass and carbon stocks of a transitional African forest: Implications for forest carbon projects. *Forest Ecology and Management*, 351, 36-46. doi:10.1016/j.foreco.2015.04.032
- MAE, & FAO. (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Quito.
- Martel, C., & Cairampoma. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en Cicra, Madre de Dios (Perú). *Ecología Aplicada*, 11(2), 59-65.
- Mattson, E., Ostwald, M., Wallin, G., & Nissanka, S. (2016). Heterogeneity and assessment uncertainties in forest characteristics and biomass carbon stocks: Important considerations for climate mitigation policies. *Land Use Policy*, 59, 84-94. doi:10.1016/j.landusepol.2016.08.026
- McQuate, S. (29 de noviembre de 2016). *¿Cuánto dióxido de carbono liberan las ramas muertas de los árboles en la Amazonía occidental?* Obtenido de Mongabay: <https://es.mongabay.com/2016/11/cuanto-dioxido-carbono-liberan-las-ramas-muertas-los-arboles-la-amazonia-occidental/#:~:text=Por%20t%C3%A9rmino%20medio%2C%20anualmente%2C%20la,Asner%20sobrevolaron%20para%20este%20estudio.>
- Minam. (2016). *La conservación de bosques en el Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Monárrez, J., Pérez, G., López, C., Márquez, M., & González, M. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, 24(2), 1-16.
- Mora, J., Ulloa, N., Quezada, B., & López, L. (2016). El Carbono Acumulado en la Masa Arbórea de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras. *Ceiba*, 54(2), 139-146.
- Muhati, G., Olago, D., & Olaka, L. (2018). Quantification of carbon stocks in Mt. Marsabit forest Reserve, a sub-humid Montane forest in northern Kenya

- under anthropogenic disturbance. *Global Ecology and Conservation*. doi:10.1016/j.gecco.2018.e00383
- Muntané, J. (2010). Introducción a la investigación básica. *Revista Andaluza de Patología Digestiva*, 221-227.
- Noreña, A., Alcaraz, N., Rojas, J., & Rebolledo, D. (2012). Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Aquichan*, 12(3), 263-274.
- Nunes, L., Meireles, C., Pinto, C., & Almeida, N. (2020). Forest Contribution to Climate Change Mitigation: Management Oriented to Carbon Capture and Storage. *Climate*, 8(21), 1-20.
- Pearson, T., Brown, S., Murray, L., & Sidman, G. (2017). Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon Balance and Management*, 12(3), 1-11. doi:10.1186/s13021-017-0072-2
- Quiceno, N., Tangarife, G., & Álvarez, R. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chiguiro-Chátare de Barrancominas. *Luna Azul*, 43(1), 171-202.
- Ramírez, A., Lucio, C., Rodríguez, R., Shesheña, I., Farhat, F., Villa, B., . . . Ruelas, E. (2018). Restoration of tropical montane cloud forests: a six-prong strategy. *Restoration Ecology*, 26(2), 206-211. doi:10.1111/rec.12660
- Rodgers, L. (17 de diciembre de 2018). *Climate change: The massive CO2 emitter you may not know about*. Obtenido de BBC News: <https://www.bbc.com/news/science-environment-46455844>
- Rosas, D., Mendoza, M., Gómez, A., & Tobón, C. (2019). Avances y desafíos en el conocimiento de los bosques mesófilos de montaña de México. *Madera y Bosques*, 25(1), 1-19.
- Rugnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. World Agroforestry Centre.
- Salinas, N., Cosio, E., Silman, M., Meir, P., Nottingham, A., Roman, R., & Malhi, Y. (2021). Tropical Montane Forests in a Changing Environment. *Frontiers in Plant Science*. doi:10.3389/fpls.2021.712748
- Sánchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística* (Primera ed.). Universidad Ricardo Palma.
- Segura, M., Andrade, H., & Mojica, C. (2019). Estructura, composición florística y almacenamiento de carbono en bosques nativos del páramo de Anaime, Tolima, Colombia. *Ciencia Florestal*, 29(1), 157-168. doi:10.5902/1980509826551

- Siraj, M. (2019). Forest carbon stocks in woody plants of Chilimo-Gaji Forest, Ethiopia: Implications of managing forests for climate change mitigation. *South African Journal of Botany*, 127, 213-219. doi:10.1016/j.sajb.2019.09.003
- Suárez, D., Acurio, C., Chimbolema, S., & Aguirre, X. (2016). Análisis del carbono secuestrado en humedales altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2), 171-177. doi:http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.756
- Torracchi, S. (2010). Deforestación de bosques montanos y patrones de pérdida de hábitats en la región sur de Ecuador. *Infobosques*.
- UNEP. (2012). *The role and contribution of montane forests and related ecosystem services to the Kenyan economy*. United Nations Environment Programme.
- UNESCO. (2001). *Tiempo decisivo para las selvas de neblina*. UNESCO.
- Urra, E., & Barría, R. (2010). La revisión sistemática y su relación con la práctica basada en la evidencia en salud. *Revista Latinoamericana de Enfermagem*, 18(4), 1-8.
- Vicuña, E., Baker, T., Banda, K., Honorio, E., Monteagudo, A., Phillips, O., & Del Castillo, D. (2018). El sumidero de carbono en los bosques primarios amazónicos es una oportunidad para lograr la sostenibilidad de su conservación. *Folia Amazónica*, 27(1), 101-109.
- Vizcaíno, Q., Williams, G., & Asbjornsen, H. (2020). Biodiversity and carbon storage are correlated along a land use intensity gradient in a tropical montane forest watershed, Mexico. *Basic and Applied Ecology*, 44, 24-34. doi:10.1016/j.baae.2019.12.004
- Williams, D., Bismark, O., Maxwell, A., Ato, K., Benjamin, K., Oti, E., . . . Adormaa, B. (2017). Greenhouse effect: Greenhouse gases and their impact on global warming. *Journal of Scientific Research & Reports*, 17(6), 1-9. doi:10.9734/JSRR/2017/39630
- Wood, A., Tolera, M., Snell, M., O'Hara, P., & Hailu, A. (2019). Community forest management (CFM) in south-west Ethiopia: Maintaining forests, biodiversity and carbon stocks to support wild coffee conservation. *Global Environmental Change*, 59. doi:10.1016/j.gloenvcha.2019.101980
- Yoro, K., & Daramola, M. (2020). CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. *Advances in Carbon Capture*, 3-28. doi:10.1016/B978-0-12-819657-1.00001-3

Anexo 1. Resultados de los estudios analizados

FICHA TÉCNICA DE DOCUMENTOS						
Título de investigación	Autor (es)	Año de publicación	Área de estudio	Objetivos	Técnicas	Resultados
Dinámica, biomasa aérea y variables poblacionales de dos parcelas permanentes en bosques montanos de Wiñaywayna, Santuario Histórico de Machupicchu, Cusco, Perú.	Alfaro, L.; Paiva, G.; Espinoza, H.; Monteagudo, A.; Chávez, W.	2018	Dos parcelas de 1 ha cada uno para el bosque Intipunku y bosque Kantupata.	Evaluar la dinámica poblacional, biomasa aérea almacenada y variaciones poblacionales de árboles con DAP >10 en dos bosques de Wiñaywayna.	Dos censos: uno en el año 2013 y otro en el 2016.	Se encontró poca similitud en las especies forestales de cada bosque. La biomasa área de Intipunku y Kantupata fue de 145 T/ha y 101.06 T/ha, respectivamente.
Aboveground biomass in secondary montane forests in Peru: Slow carbon recovery in agroforestry legacies.	Aragón, S.; Salinas, N.; Nina, A.; Huaman, V.; Rayme, G. y Huaman, W.	2021	Una parcela de 1.5 ha en un bosque secundario que antes servía como plantación de té.	Estimar la biomasa aérea de un bosque secundario en La Convención, Cusco.	Ecuaciones alométricas y productos de teledetección de biomasa.	Los niveles de biomasa fueron muy bajos dado que debieron alcanzar a 106 ± 33 T/ha, lo que evidenció una recuperación lenta.
Almacén de carbono en biomasa aérea de plantaciones experimentales con especies de sucesión temprana del bosque mesófilo de montaña.	Avendaño, M.; Sánchez, L.; Martínez, D.; Perroni, Y.; Ibarra, S.; Alarcón, E. y Pineda, M.	2019	Dos parcelas de 1,255 m ² cada una en Veracruz.	Establecer los niveles de captura y almacenamiento de carbono de las especies A. acuminata y T. micrantha en bosques de México.	Observación y registro de la supervivencia, diámetro y altura de las especies. Estimación de su volumen, contenido de carbono y tasas de crecimiento.	Las especies A. acuminata y T. micrantha almacenaron 12.55 TC/ha y 11.62 TC/ha, respectivamente. Además, la tasa de captura de carbono por año fue de 2.6 y 2.02 TC/ha, respectivamente.
New insights on above ground biomass and forest attributes in tropical montane forests.	Cuni, A.; Pfeifer, M.; Marchant, R.; Calders, K.; Sorensen, C.; Pompeu, P.; Lewis, S.; Burgess, N..	2017	Tres parcelas de 2000 m ² cada una, con una separación de 1 km entre sí.	Analizar la alometría de altura-diámetro, biomasa aérea y diferencias estructurales de tres bosques en Kenia.	Modelos alométricos de altura-diámetro, la ecuación WMD (densidad de la masa de la madera) y software R v3.2.1.	El uso de distintos modelos alométricos no varían la estimación de la biomasa aérea. El bosque con mayor altitud registró una

						mayor biomasa (611 T/ha) debido a que su estructura es distinta.
Captura de carbono por un bosque montano de neblina del Perú.	Dilas, J. y Huamán, A.	2020	Una parcela de 1 ha dividida en 5 cuadrantes.	Evaluar la captura de carbono en un bosque montano localizado en Cajamarca, Perú.	Registros para recopilar información sobre (a) el peso y medida de la biomasa de sotobosque, (b) peso de la hojarasca y (c) muestreo del suelo.	Se encontró que el sotobosque, la hojarasca y el suelo tenían 10.64 TC/ha, 6.72 TC/ha y 108.97 TC/ha, respectivamente.
Land cover change and carbon stores in a tropical montane cloud forest in the Sierra Madre Oriental, Mexico.	Leija, E., Pavón, N., Sánchez, A., Rodrigo, R. y Ángeles, G.	2018	Dos parcelas que sumaron un total de 2,560 m ² .	Estimar el carbono almacenado en los bosques de Sierra Madre y simular escenarios futuros de cobertura del bosque.	Ecuaciones alométricas.	Se estimó que el área de Tlanchinol almacenaba 16.35 TC/ha y el área de San Bartolo 12.7 TC/ha. Además, se pronosticó que 3,608 ha de bosque serían convertidas en pastizales.
Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el sur del Ecuador.	Lozano, D., Palacios, B. y Aguirre, Z.	2018	Una parcela de 1 ha en el bosque de la microcuenca "El Padmi"	Estimar la biomasa arbórea y la cantidad de carbono almacenado en bosques montanos del sur de Ecuador.	Modelos alométricos y software estadístico Infostat profesional v.13.	La biomasa arbórea y el carbono almacenado estimado fue de 322 T/ha y 161 TC/ha, respectivamente. Moracea concentró 34.98 TC/ha del total.
Heterogeneity and assessment uncertainties in forest characteristics and biomass carbon stocks: Important considerations for climate mitigation policies.	Mattson, E., Ostwald, M., Wallin, G. y Nissanka, S.	2016	192 parcelas que sumaron un total de 12.6 ha.	Determinar las variaciones del carbono almacenado en la biomasa aérea.	Ecuaciones alométricas.	Los bosques tuvieron una reserva de carbono que osciló entre 22 TC/ha y 181 TC/ha.
Quantification of carbon stocks in Mt. Marsabit Forest Reserve, a sub-humid Montane Forest in northern Kenya under anthropogenic disturbance.	Muhati, G., Olago, D. y Olaka, L.	2018	Diez parcelas de 100 m ² cada una.	Cuantificar las reservas de carbono en los bosques montanos de una Reserva Forestal de Marsabit, Kenia.	Muestra aleatoria de tres especies y procesador estadístico SPSS.	La biomasa aérea y subterránea registró un total de 12.42 TC/ha y 12.51 TC/ha, respectivamente.

Forest carbon stocks in woody plants of Chilimo-Gaji Forest, Ethiopia: Implications of managing forests for climate change mitigation.	Siraj, M.	2019	Diez parcelas circulares de 1,256 m ² cada una.	Estimar la biomasa viva y los niveles de carbono almacenados en el Bosque Chilimo-Gaji, en Etiopía.	Ecuación alométrica no destructiva. El carbono se estimó bajo la premisa de que representaba el 50% de la biomasa	La biomasa aérea y subterránea fue de 844.4 T/ha y 168.9 T/ha, respectivamente. Asimismo, secuestraron alrededor de 506 TC/ha y 1859 TC/ha.
Biodiversity and carbon storage are correlated along a land use intensity gradient in a tropical montane forest watershed, Mexico.	Vizcaíno, Q., Williams, G. y Asbjornsen, H.	2020	Una parcela circular de 10,000 m ² .	Determinar la biomasa aérea y el almacenamiento de carbono en bosques montanos de Cuenca del Río, México.	Modelo de regresión, ecuación alométrica.	La biodiversidad tuvo una relación directa con el almacenamiento de carbono puesto que existen más especies. La parcela almacenaba entre 9 y 1.3 TC/ha.
Community forest management (CFM) in south-west Ethiopia: Maintaining forests, biodiversity and carbon stocks to support wild coffee conservation.	Wood, A., Tolera, M., Snell, M., O'hara, P. y Hailu, A.	2019	26 parcelas en el bosque cafetal y 56 parcelas en el bosque natural.	Cuantificar el nivel de carbono almacenado en un bosque montano del suroeste de Etiopía.	Observación y registro de la densidad de los árboles, diversidad de especies y stocks de carbono. El carbono se estimó bajo la premisa de que representaba el 50% de la biomasa.	La biomasa (aérea y subterránea) del bosque natural de Sheko presentó 75.5 TC/ha mientras que la biomasa del bosque cafetal presentó 62.5 TC/ha.
Gestión de almacenamiento de carbono en la conservación De Bosques secundarios del Perú.	Milton C. Tullume Chavesta Ángel. F Morales Godo	2015	4, parcelas en el Bosque de la microcuenca Quilla, San Alberto-Oxapampa	Estimar el almacenamiento de carbono, almacenados en el bosque secundario, Quilla, san Alberto	Modelos alométricos de altura-diámetro, y Método destructivo. (Fuste, ramas y hojas).	La Biomasa aérea en promedio en el bosque secundario Quilla San Alberto fue de 52.77 T /ha Asimismo las parcelas con mayor número de especies fue donde se concentró mayor cantidad de biomasa y carbono.

Fuente: *Elaboración Propia*

Anexo 2. panel fotográfico



Fotografía 1: Líquenes (Xanthoria parietina)



Fotografía 2: Helechos arborescentes (Cyatheaceae)



Fotografía 3: Bromelias epifitas (Bromeliaceae)



Fotografía 4: Orquídeas-(Orchidaceae)



Fotografía 5: Musgos (Bryophyta) - bosques nublosos