



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA ECOSISTEMAS

**DINÁMICA Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA DE UN
BOSQUE PIEMONTANO EN LA RESERVA BIOLÓGICA
COLONSO CHALUPAS, NAPO – ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:
INGENIERO EN ECOSISTEMAS

AUTOR: ANGEL GABRIEL CRESPO
TUTOR: PhD. MARÍA CRISTINA PEÑUELA MORA

Napo - Ecuador
2022

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Angel Gabriel Crespo Vásquez con documento de identidad N°1500808579, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título de Ingeniero en Ecosistemas, son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en la presente investigación son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Tena, 1 de julio de 2022



Angel Gabriel Crespo Vásquez
1500808579

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Angel Gabriel Crespo Vásquez, con documento de identidad N°1500808579, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: "Dinámica y Productividad Primaria Neta de un bosque piemontano en la Reserva Biológica Colonso Chalupas, Napo – Ecuador" de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Tena, 1 de julio de 2022



Angel Gabriel Crespo Vásquez

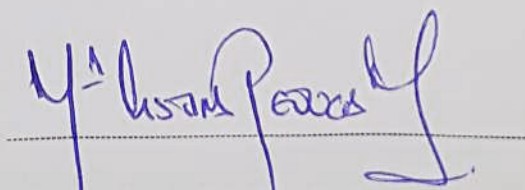
1500808579

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Certifico que el trabajo de integración curricular titulado: "Dinámica y Productividad Primaria Neta de un bosque piemontano en la Reserva Biológica Colonso Chalupas, Napo – Ecuador", en la modalidad de: proyecto de investigación en formato tesis, fue realizado por: Angel Gabriel Crespo Vásquez, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.

Tena, 1 de julio de 2022



PhD. María Cristina Peñuela Mora

C.I: 1756861496

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial a mis padres por su abnegación y apoyo incondicional en todos estos años de estudio, ellos representan la razón más grande para cumplir mis objetivos y siento mucho orgullo y admiración por su enorme voluntad. Por otra parte, agradecer al universo por permitirme esta maravillosa experiencia de vida, a mi querida universidad por permitirme aprender e investigar, y llegar a convertirme en un profesional en el campo que tanto me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso de formación.

Gracias especialmente a mi estimada y muy apreciada tutora, quien siempre ha confiado en mis capacidades y me ha brindado todo su apoyo y dedicación para la consecución de este trabajo investigativo.

Finalmente, quiero hacer una mención especial a mis compañeros de carrera con quienes he compartido gratas experiencias y me han ayudado en este proceso de formación, de igual manera a mis amigos y demás familiares quienes han sabido darme su apoyo.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico de todo corazón a mis padres quienes siempre confiaron en mí e hicieron muchos esfuerzos por brindarme siempre el mejor ambiente para mi formación académica. A mis familiares, compañeros de carrera y amigos más cercanos.

De manera muy especial le dedico este trabajo a mi abuelito, que fue como un padre para mí y para quien su mayor anhelo fue verme convertido en un profesional, allá en donde te encuentres papito Oswaldo, puedes sentirte orgulloso. También le quiero dedicar este trabajo a mi primo Freddy, con quien compartí maravillosas experiencias y esperaba que lo continuemos haciendo como profesionales, lamentablemente se me adelantó hace unos meses, pero que sepas hermanito que todo este esfuerzo al fin dio sus frutos.

Además, le dedico muy especialmente este trabajo a mi querida tutora, pues sin su paciencia y dedicación este logro no sería lo mismo, dicho logro que es para la ciencia, y todo aquel que pueda beneficiarse y aprender de la información presentada.

TABLA DE CONTENIDO

CARÁTULA	
DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL.....	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
TABLA DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Justificación de la investigación.....	5
1.4. Preguntas de investigación.....	7
1.5. Hipótesis.....	8
1.6. Objetivos de investigación.....	8
1.6.1. <i>Objetivo general</i>	8
1.6.2. <i>Objetivos específicos</i>	8
CAPÍTULO II	
2. MARCO METODOLÓGICO.....	9
2.1. Área de estudio.....	9
2.2. Fase de campo.....	10
2.2.1. <i>Establecimiento de la parcela</i>	10

2.2.2.	<i>Selección y registro de individuos</i>	10
2.2.3.	<i>Monitoreo</i>	11
2.2.4.	<i>Hojarasca</i>	11
2.3.	<i>Fase de laboratorio de hojarasca</i>	12
2.4.	<i>Procesamiento de datos</i>	12
2.4.1.	<i>Datos meteorológicos</i>	12
2.4.2.	<i>Dinámica del bosque</i>	12
2.4.3.	<i>Densidad de la madera</i>	13
2.4.4.	<i>Cálculos de biomasa, PPNA y carbono</i>	13
2.5.	<i>Análisis estadísticos</i>	14

CAPÍTULO III

3.	PRESENTACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS	16
3.1.	Dinámica del bosque	16
3.1.1.	<i>Tasa de crecimiento diamétrico</i>	16
3.1.2.	<i>Tasas de reclutamiento, mortalidad y recambio</i>	17
3.2.	Biomasa aérea	18
3.3.	Productividad Primaria Neta Aérea	19
3.3.1.	<i>Productividad Primaria Neta del tronco</i>	19
3.3.2.	<i>Productividad Primaria Neta de hojarasca</i>	20
3.4.	Relación de variables climáticas y componentes de hojarasca	21
3.5.	Reserva y flujo de carbono	22
3.5.1.	<i>Carbono en el tronco</i>	22
3.5.2.	<i>Carbono en la hojarasca</i>	23

CAPÍTULO IV

4.	INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN	24
4.1.	Tasas de dinámica	24
4.2.	Biomasa, PPNA y carbono en el tronco	25
4.3.	PPNA y carbono en la hojarasca	26
4.4.	Relación entre clima y PPNA de hojarasca	27
	CONCLUSIONES	29
	RECOMENDACIONES	30
	REFERENCIAS	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-8:	Ecuaciones alométricas propuestas para la estimación de biomasa aérea en bosques tropicales y piemontanos.....	2
Tabla 2-8:	Estudios realizados en bosque piemontano andino-amazónico, en altitudes comprendidas entre (450 – 1300 msnm).....	7
Tabla 3-8:	Modelos alométricos utilizados para la estimación de biomasa aérea.....	14
Tabla 4-8:	Géneros con los crecimientos diamétricos máximos y mínimos más representativos registrados durante el período 2018 – 2021.....	17
Tabla 5-8:	Tasas anuales de reclutamiento, mortalidad y recambio.....	17
Tabla 6-8:	Matriz de correlación de Spearman entre los componentes aéreos de hojarasca y las variables climáticas.....	21
Tabla 7-8:	Reserva y flujo de carbono (Mg/0.5 ha) total estimado para el período de muestreo (2018-2021).....	23
Tabla 8-8:	Comparación de las tasas de mortalidad, reclutamiento y crecimiento entre distintos sitios de estudio en la cuenca amazónica.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-7:	Mapa de localización del sitio de estudio, parcela de 0,52 ha en el Bosque piemontano de la Reserva Biológica Colonso Chalupas (RBCC), Napo.....	9
Figura 2-7:	Esquema y dimensiones de la parcela de estudio. Los números (1-13) representan los cuadrantes, cada uno con subcuadrantes (A,B,C,D).....	10
Figura 3-7:	Trampas para caída de hojarasca de 1 x 0.5 m. Colocadas en el centro de cada cuadrante.....	11
Figura 4-7:	Biomasa aérea del tronco estimada para cada uno de los años de muestreo. En el eje X se muestran los años y en el eje Y la Biomasa (Mg).....	18
Figura 5-7:	Valores de PPN aérea del tronco para el período 2018-2019. En el eje X se muestra el período anual y en el eje Y la PPN.....	19
Figura 6-7:	Gráfico de barras y bigotes de la PPNA de hojarasca para el período (2018-2021). En el eje X se muestran los períodos y en el eje Y la PPNA de hojarasca.....	20
Figura 7-7:	Relación entre la producción mensual de hojas (1×10^{-4} Mg) y la humedad relativa (%) durante el período de muestreo 2018 - 2021....	22

RESUMEN

Los bosques son importantes por los servicios de secuestro de carbono y acumulación de biomasa. Además el bosque piemontano contiene especies andinas y de la baja amazonia, el área de mayor resiliencia para la biodiversidad amazónica. El objetivo de este estudio fue conocer la dinámica y productividad primaria neta (PPN) en una parcela de un bosque piemontano localizado en la Reserva Biológica Colonso Chalupas a 954 m s.n.m. Se estableció una parcela de 0.5 hectáreas y se marcaron, midieron y monitorearon todos los individuos de diámetro ≥ 10 cm. Se calculó anualmente las tasas de crecimiento, reclutamiento y mortalidad, y la productividad primaria neta aérea (PPNA) con la ayuda de trampas para caída de hojarasca, las cuales fueron colectadas y separadas en sus componentes aéreos cada 15 días. Encontramos 369 individuos en la parcela, y las tasas anuales de mortalidad y reclutamiento fueron de 2.5% y 2% respectivamente, y la de crecimiento diamétrico individual promedio, 0.3 cm/año. Estimamos una reserva de carbono de 47.80 - 57.06 Mg C/0.5 ha. PPNA de 3.12 - 9.62 Mg/0.5 ha/año y flujo de carbono de 1.56 - 4.81 Mg C/0.5 ha/año. La biomasa de la hojarasca fue 5.99 - 3.92 Mg/0.5 ha/año. Los componentes aéreos más importantes en la PPN de la hojarasca fueron las hojas con el 69% de aportación al secuestro de biomasa, la PPN de flores y frutos disminuyó, lo cual compromete la oferta de alimento para la fauna. La PPNA de hojarasca se correlacionó significativamente con la humedad relativa.

Palabras clave: bosque piemontano, productividad primaria neta aérea, reserva de carbono, producción de hojarasca, dinámica del bosque.

ABSTRACT

Forests are important for carbon sequestration and biomass accumulation services. In addition, the piedmont forest contains Andean and lower Amazon species, the area of greatest resilience for Amazonian biodiversity. The objective of this study was to know the dynamics and net primary productivity (NPP) in a piedmont forest plot located in the Colonso Chalupas Biological Reserve at 954 m a.s.l. A 0.5-hectare plot was established and all individuals with a diameter ≥ 10 cm were marked, measured and monitored. Growth, recruitment and mortality rates, and net aerial primary productivity (NAPP) were calculated annually with the help of pitfall traps of litter, which were collected and separated into their aerial components every 15 days. We found 369 individuals in the plot, and annual mortality and recruitment rates were 2.5% and 2%, respectively, and average individual diameter growth was 0.3 cm/year. We estimate a carbon stock of 47.80 - 57.06 Mg C/0.5 ha, NAPP of 3.12 - 9.62 Mg/0.5 ha/year and carbon flux of 1.56 - 4.81 Mg C/0.5 ha/year. Litter biomass was 5.99 - 3.92 Mg/0.5 ha/year. The most important aerial components in the NAPP of the litter were the leaves with 69% contribution to biomass sequestration, the NAPP of flowers and fruits decreased, which compromises the food supply for the fauna. Litter NAPP was significantly correlated with relative humidity.

Keywords: piedmont forest, aboveground net primary productivity, carbon stock, litter production, forest dynamic.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

Los bosques tropicales contienen la mayor biodiversidad en el mundo, cuentan con valiosas fuentes de recursos y ofrecen gran variedad de servicios ecosistémicos [1]. La cuenca amazónica comprende el continuo de bosques más grande del planeta, constituyendo el 45 % de los bosques tropicales a nivel mundial [2], con una superficie de 618,7 millones de hectáreas [3]. De estas, 12 millones pertenecen a Ecuador, y constituyen aproximadamente el 48% del área total del país y al 54% de ecosistemas boscosos del territorio nacional con 12,5 millones de hectáreas [4–6].

Los diversos bosques tropicales cumplen una función muy importante en el ciclo del carbono, ya que regulan su acumulación en la atmósfera y de esta manera inciden directamente sobre el cambio climático [7]. A través del proceso fotosintético los bosques capturan carbono para transformarlo en carbohidratos y demás moléculas necesarias para el crecimiento y reproducción, acumulándolo en biomasa y contribuyendo así a regular la concentración de CO₂ en la atmósfera [8,9]. La deforestación de estos bosques, a nivel mundial, es responsable del 20% de las emisiones totales de dióxido de carbono generadas por el ser humano [7]. Sin embargo, diversos estudios forestales en parcelas permanentes en América y África demuestran que en los últimos años los bosques tropicales intactos han actuado como sumideros de carbono [10,11]. Por su parte los bosques amazónicos han tenido un aumento en la biomasa de aproximadamente 0.6 Mg C /ha/año, una cifra casi similar a la de las emisiones por actividades de deforestación [10–12].

La amazonia ecuatoriana, alberga al menos 25 tipos de ecosistemas vulnerables, debido a que experimentan pérdidas de cobertura vegetal muy frecuentes [13]. Entre estos ecosistemas se encuentra el bosque siempreverde piemontano de la cordillera oriental y cubre un área de 1,3 millones de hectáreas [14]. Dicho ecosistema está localizado en un rango altitudinal entre 400 – 1200 m s.n.m. y allí confluyen especies que habitan tierras bajas y otras representativas de tierras altas como bosques montanos [14,15]. El bosque piemontano oriental también debe su gran importancia a

la provisión de servicios ecosistémicos tales como el de abastecimiento de materias primas, alimentos, y de regulación de procesos clave de los ecosistemas como los ciclos biogeoquímicos, entre estos el ciclo del carbono [9].

Las plantas capturan diferencialmente carbono y lo acumulan en sus tejidos vivos. La cantidad de este tejido acumulado o biomasa, producida en un lapso de tiempo determinado se conoce como productividad primaria neta (PPN) [15,16]. La productividad de un bosque suele diferenciarse en dos tipos, la productividad primaria neta aérea (PPNA), que hace referencia a la biomasa producida y localizada en los componentes vegetales por encima del suelo o componentes aéreos: tronco, hojas, ramas, flores y frutos [15]. Y por otro lado, está la productividad primaria neta subterránea (PPNS), la cual comprende la biomasa localizada en las raíces finas y gruesas [15].

Dentro de la PPNA, la biomasa acumulada en el tronco puede calcularse mediante el uso de ecuaciones alométricas, mismas que son propuestas para tipos de bosque específicos, y consideran variables como diámetro a la altura del pecho (DAP- 1.30 cm del suelo), altura de la planta y densidad específica de la madera según la especie [17]. Las ecuaciones para las mediciones de dinámica se encuentran en la Tabla 1 [18–20].

Tabla 1-8: Ecuaciones alométricas propuestas para la estimación de biomasa aérea en bosques tropicales y piemontanos.

Fuente: Chave et al. (2005), Álvarez et al. (2012), Brown et al. (1989).

Ecuación	Uso	Autor
$AGB = 0.0776 (\rho (DAP^2) H)^{0.94}$	Bosque muy húmedo, pantropical	(Chave)
$AGB = \rho * \exp(-1.239 + 1.980 \ln(DAP) + 0.207 (\ln(DAP))^2 - 0.0281 (\ln(DAP))^3)$		
$AGB = \exp(-2.332 + 0.937 \ln((DAP^2) H \rho))$	Bosque piemontano, Colombia	(Álvarez)
$AGB = \exp(1.960 \pm 1.098 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 + 1.061 \ln(\rho))$		
$AGB = \exp(-2.4090 + 0.9522 \ln(\rho (DAP^2) H))$	Pantropical	(Brown)

Los demás componentes aéreos de la PPNA las hojas, ramas, flores y frutos se conocen como hojarasca [17]. La hojarasca representa entre el 20 y 33 % de la producción neta total de biomasa o PPN [17]. Esta se encuentra determinada por procesos propios de las especies como la fenología y la senescencia de hojas. O a su vez por factores externos como el clima, que son específicos para cada tipo de ecosistema, tal como la humedad relativa, que tiene una influencia negativa sobre la PPNA de hojarasca, ya que puede promover una baja productividad cuando se trata de eventos extremos [21,22]. Además, la PPNA puede verse influenciada por los efectos indirectos de la temperatura, ya que esta se encuentra condicionada por la altitud, y a mayor altitud menor productividad [15]. La biomasa subterránea así como la de la hojarasca se calculan mediante el peso seco de la producción por unidad de tiempo, de las estructuras que las componen [17,23].

Las plantas de los bosques ganan (crecen) o pierden (por daños o muerte) biomasa, dependiendo de varios factores como los suelos, el clima o la combinación de estos. Por ejemplo, una mayor disponibilidad de fósforo en el suelo está relacionada a un mayor crecimiento y productividad [16,17]; sin embargo, Jiménez y colaboradores encontraron una mayor PPNS en la época seca en bosques de arenas blancas de la Amazonia. En cuanto al clima, la precipitación es otro factor influyente, ya que a medida que se presenten temporadas más lluviosas el crecimiento y productividad aumentarán, por el contrario las temporadas de sequía se traducen en una mayor mortalidad [24]. La temperatura elevada puede promover sequías y altas tasas de mortalidad [15,17]. A estas fluctuaciones de ganancia o pérdida de biomasa se les conoce como dinámica de bosques, que contempla el cálculo de la tasa de crecimiento, que se calcula mediante la diferencia diamétrica que se presenta en un periodo anual [25]. La tasa de mortalidad, calculada como el número de individuos muertos en un lapso de un año [25,26]. Finalmente, la tasa anual de reclutamiento, que se refiere a aquellos individuos que cumplen con el diámetro mínimo (DAP=10cm) para ser registrados en el inventario forestal [27]. Cuanto más rápidas sean las tasas de crecimiento de algunas especies, más rápidas serán también las tasas de mortalidad y recambio, lo cual, indirectamente, podría disminuir la diversidad de especies en un bosque [10,27,28].

El monitoreo de los bosques permite conocer la dinámica de las especies y ver las que están siendo más afectadas a través del tiempo. Conociendo la PPN y la dinámica de los bosques, podemos determinar si éstos capturan más carbono del que emiten a la

atmósfera, y por tanto conocer si son sumideros efectivos de carbono [8]. En caso de ser sumideros, los bosques pueden comprenderse como sistemas de compensación de las emisiones de carbono, ya que estarían capturando el carbono emitido [8]. En este sentido, el mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) en países en desarrollo, es parte de los esfuerzos por disminuir las emisiones de carbono y asegurar su captura, evitando las actividades de deforestación. Se trata de un enfoque de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) basado en políticas e incentivos positivos para reducir las emisiones ocasionadas por la deforestación y degradación de bosques, además promueve la conservación de reservas forestales de carbono y gestión sostenible de bosques [29]. La iniciativa REDD+ contribuye directamente a los compromisos para mitigar el cambio climático por medio de la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 15 y 17; los cuales implican la reducción de la deforestación y el uso sostenible de los ecosistemas [30].

1.2. Planteamiento del problema

La disminución de bosques conlleva a la pérdida de biodiversidad, a la reducción en la captura de carbono, a el aumento en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y a erosión del suelo [2,31]. Dichos problemas han llamado a la necesidad de intentar estabilizar o disminuir las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. Por esta razón La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Programa de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (PNUMA) han generado acuerdos internacionales para la adaptación y mitigación al cambio climático [1,32] como medidas de protección y manejo sostenible de los bosques. Ecuador hace parte de CMNUCC desde 1994 y como tal es firmante de la Conferencia de las Partes (COP), por lo cual se comprometió en la implementación de medidas e iniciativas de mitigación y adaptación al cambio climático. Ecuador ratificó la firma del protocolo de Kioto en 1999 y ha aceptado el segundo período del mismo en 2015, denominado Enmienda de Doha, la misma que consiste en el compromiso de los gobiernos de limitar sus emisiones de carbono [33].

Como una de las estrategias de respuesta el gobierno ecuatoriano creó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) en 2012. Esta estrategia consiste en plantear los lineamientos y políticas para afrontar los desafíos del cambio climático, garantizando los derechos de la naturaleza y el buen vivir [34]. Los ejes de trabajo de

la ENCC son: reducir la vulnerabilidad social, económica y ambiental frente a los impactos del cambio climático. Además de reducir las emisiones de GEI y aumentar los sumideros de carbono en sectores estratégicos [34], donde los bosques desempeñan un papel muy importante actuando como sumideros.

Las consecuencias del cambio de uso del suelo, especialmente por deforestación, conducen a la pérdida de cobertura vegetal, un aspecto imprescindible para la captura de carbono [35]. Históricamente a nivel nacional se ha evidenciado una tendencia a la baja en las tasas anuales brutas de deforestación, -0.93% (1990-2000), -0.82% (2000-2008), -0.77% (2008-2014), -0.74% (2014-2016), y -0.66% (2016-2018) [36,37]. Entre los años 2016 y 2018 el área deforestada promedio fue de 82.529 ha/año, mientras que el área regenerada o reforestada contabilizó 24.100 ha/año, con lo cual la deforestación neta fue de 58.429 ha/año [36]. Sin embargo, en los últimos años la regeneración ha disminuido, por lo que la deforestación neta sube [36]. Al deforestar los bosques, se producen mayores emisiones de CO₂, por ejemplo Pardo y colaboradores reportaron que fulano y col en el bosque piemontano colombiano al perderse un stock de 154 Mg C/ha, se emiten alrededor de 560 Mg de CO₂ a la atmósfera [38]. Según Global Forest Watch, una red de organizaciones no gubernamentales creada por el World Resources Institute (WRI) para el monitoreo forestal. En Ecuador, entre el año 2001 y el 2020 se produjo una pérdida de cobertura arbórea de 871.000 ha, equivalente a 547 millones de toneladas de emisiones de CO₂ [39].

1.3. Justificación de la investigación

Los bosques pueden experimentar cambios en el uso de suelo que conducen a la deforestación de grandes áreas pero también a su fragmentación. La fragmentación de los bosques es un tema preocupante ya que no sólo implica la pérdida de cobertura forestal, sino también cambios en los patrones de uso de suelo que dejan a su paso parches de bosques aislados entre sí [40]. A nivel nacional, se ha vinculado que la conversión de bosques a zonas de pastoreo para la ganadería es una de las principales causas de fragmentación de los bosques [41,42]. Aunque este análisis a nivel de ecosistema reporta que las regiones de la Costa y Sierra presentan un mayor riesgo a la fragmentación, es necesario que se realicen estudios a nivel de especies en la Amazonia norte, ya que es una zona que cuenta con una gran riqueza de especies, entre ellas especies forestales importantes para la estructura y función del ecosistema

[42]. Uno de estos ecosistemas, el bosque piemontano oriental, es muy vulnerable por encontrarse en un gradiente altitudinal que conecta los ecosistemas de tierras bajas y los de montaña, por lo tanto actúa como una zona donde confluyen muchas especies [14]. La fragmentación supone en este sentido, una amenaza para el bosque piemontano, debido a que propicia el aumento de parches boscosos separados, lo cual afecta seriamente la conexión de especies. Además, la fragmentación también puede representar pérdidas de carbono por el efecto de los bordes, ya que los bordes de los parches boscosos están expuestos a riesgos por incendios y vientos turbulentos, lo que ocasiona mayores pérdidas [40].

Por esta razón es necesario conocer la productividad primaria neta (PPN) del ecosistema para entender el papel del mismo en las ganancias y pérdidas de carbono. En relación a la PPN, se han llevado a cabo estudios en la cuenca amazónica [12,15–17], que consideran gradientes de elevación (Tabla 2) muy amplios. Se restringen a zonas bajas [17], o por el contrario a zonas muy altas [43]. Esta variación altitudinal en las zonas de estudio, hace que los resultados sean imprecisos, lo que dificulta conocer con certeza el comportamiento del bosque piemontano. Algunos de los estudios que han sido realizados a nivel de este ecosistema, así como los valores de biomasa aérea y PPNA asociados, se presentan a continuación:

Tabla 2-8: Estudios realizados en bosque piemontano andino-amazónico, en altitudes comprendidas entre (450 – 1300 msnm).

Fuente: Baker et al. (2004), Fyllas et al. (2017), Torres et al. (2019), Girardin et al. (2010), Unger et al. (2012), García et al. (2020).

Sitio	Jatun Sacha, Ec	Pantiacolla, Perú	CIPCA, Ec	Cuzco, Perú	Zamora, Ec	Napo, Ec	Puyo, Ec
Altitud (msnm)	450	600 - 900	601 - 1000	1000	1050	960 - 1200	1122 - 1292
Área de muestreo	4 ha (4 plots x 1ha)	9 ha (9 plots x 1 ha)	2 ha (20 plots x 0.1 ha)	1 ha	0.04 ha	0.8 ha (20 plots x 0.04 ha)	0.5 ha
Biomasa aérea (Mg/ha)	231.88 – 318.58		246.8 – 320.9	170	278.25	120 - 580	161.8 – 348.5
PPNA (Mg/ha/año)	-0.06 – 4.79	10 – 11.5		7.07	2.82	3.5 - 7	

A diferencia de los estudios presentados, nuestro estudio considera una altitud específica, lo cual nos permite tener datos más precisos para conocer al bosque piemontano. Es necesario conocer la PPNA y la dinámica del bosque (tasas de crecimiento, mortalidad y reclutamiento) piemontano, para entender la dinámica de fijación del carbono a nivel local.

1.4. Preguntas de investigación

- ¿Cuál es la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA), captura y flujo de carbono de un bosque piemontano andino amazónico del Ecuador?
- ¿Cuál es la relación entre la PPPN de los componentes aéreos de hojarasca (hojas, flores, frutos, ramas) y las variables temperatura, humedad relativa?
- ¿Cómo es la dinámica de crecimiento, mortalidad y reclutamiento (ganancia o pérdida de biomasa) de un bosque piemontano de la RBCC?

1.5. **Hipótesis**

- El bosque piemontano de la RBCC presenta valores de PPNA, captura y flujo de carbono similares a los reportados en otros estudios de bosques piemontanos.
- Existe una correlación significativa de la temperatura y humedad relativa versus la PPNA de hojas y frutos.
- Las tasas de dinámica de crecimiento, mortalidad y reclutamiento presentan valores similares a otros bosques piemontanos amazónicos.

1.6. **Objetivos de investigación**

1.6.1. ***Objetivo general***

- Determinar la dinámica de crecimiento, mortalidad, reclutamiento y la productividad primaria neta aérea (PPNA) de un bosque piemontano de la Reserva Biológica Colonso Chalupas.

1.6.2. ***Objetivos específicos***

- Evaluar la biomasa y la Productividad Primaria Neta Aérea en un bosque piemontano.
- Establecer la relación de las variables meteorológicas: precipitación, temperatura y humedad relativa con los componentes aéreos de hojarasca (hojas, flores, frutos, ramas).
- Determinar las tasas de crecimiento, de mortalidad y reclutamiento de un bosque piemontano.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el bosque piemontano de la cordillera oriental de la Reserva Biológica Colonso Chalupas, en la provincia de Napo (Figura 1). La reserva de 93.246 ha comprende seis ecosistemas que van desde las zonas del bosque piemontano hasta el páramo con un rango altitudinal entre 560 – 4.432 m s.n.m [44]. En la reserva existen varios senderos que recorren desde los 650 o 700 msnm hasta los 2.000 msnm. El bosque siempreverde piemontano se encuentra en relativamente buen estado sobre el sendero denominado “Chuncho 1”. El clima es tropical húmedo y puede alcanzar temperaturas promedio de 23° C, abundantes precipitaciones con medias anuales de 4.841 mm, y humedad relativa del 92% [45].

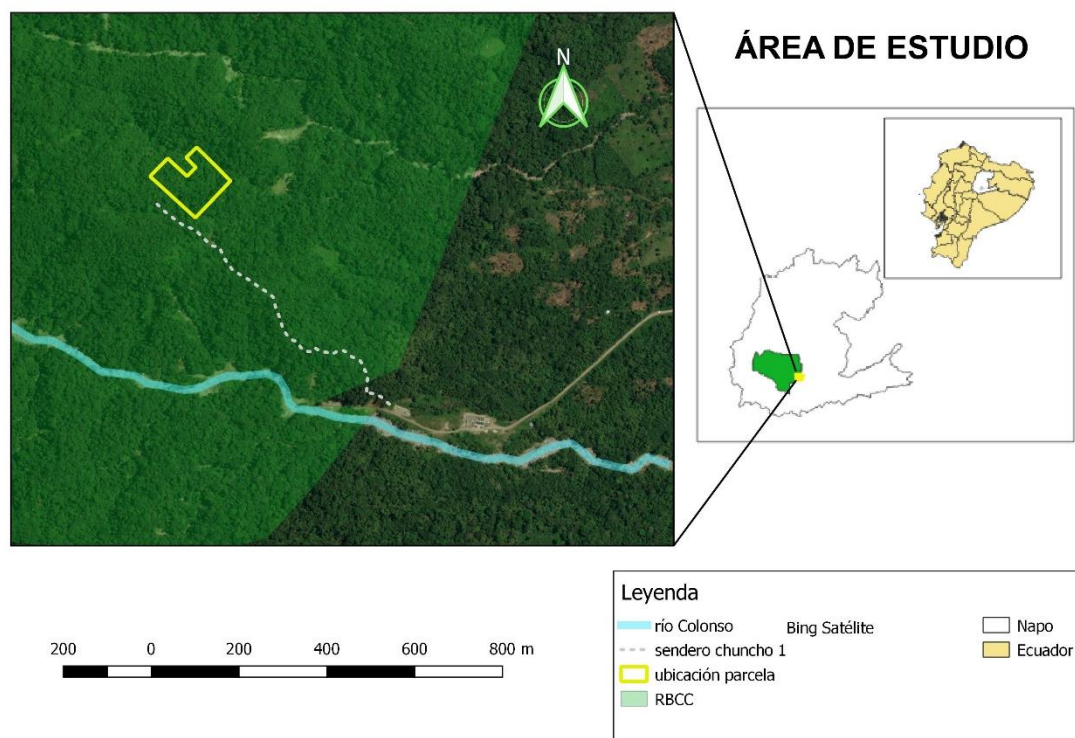


Figura 1-7: Mapa de localización del sitio de estudio, parcela de 0,52 ha en el Bosque piemontano de la Reserva Biológica Colonso Chalupas (RBCC), Napo.

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

2.2. Fase de campo

2.2.1. Establecimiento de la parcela

En el sector de chuncho a 954 msnm, se estableció en mayo 2016 una parcela de muestreo (Figura 1) ($77^{\circ} 53' O$ y $0^{\circ} 56' S$), con una superficie de 5200 m², siguiendo la metodología RAINFOR [2]. La parcela se subdividió en 13 cuadrantes de 20 x 20 m, los cuales fueron delimitados por cuerdas y tubos pvc. Cada uno de los cuadrantes fue dividido en cuatro subcuadrantes (A, B, C, D) de 10 x 10 m (Figura 2), para facilitar la medición y el monitoreo de los individuos.

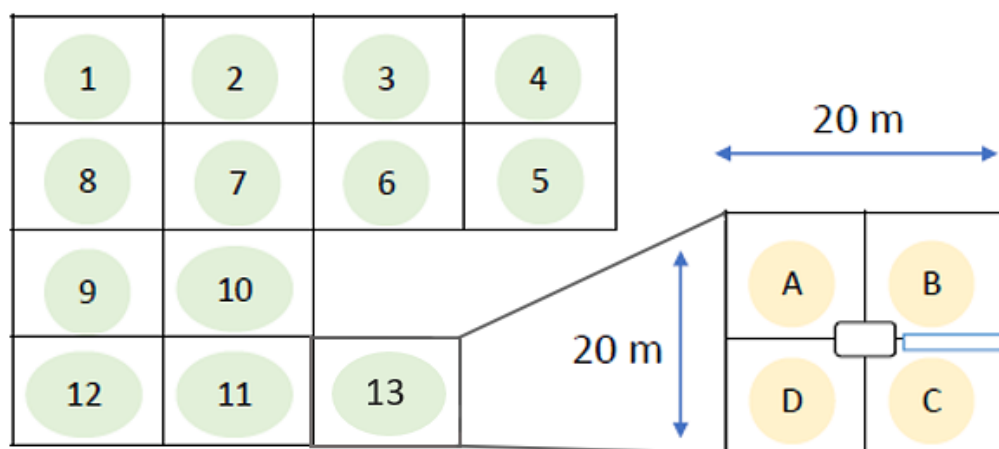


Figura 2-7: Esquema y dimensiones de la parcela de estudio. Los números (1-3) representan los cuadrantes, cada uno con subcuadrantes (A,B,C,D).

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

2.2.2. Selección y registro de individuos

Tronco: Marcamos con placa de aluminio cada uno de los individuos que tenían un diámetro ≥ 10 cm a 1.30 m del suelo (DAP), los pintamos en el lugar de medición del DAP, para hacer nuevas mediciones a la misma altura de forma consistente. Registramos de cada árbol el diámetro (cm), la altura total (m), la especie o nombre común, el estado reproductivo (floración o fructificación) y la presencia de exudados. Para la estimación de la altura realizamos ensayos previos utilizando un hipsómetro forestal y registramos la altura total. Colectamos muestras de todos los individuos diferentes mediante uso de podadoras aéreas o equipo de escalar. Fueron colectadas tres muestras por cada especie si estaba infértil y cinco si disponía de flores o frutos. Registramos información botánica en campo, como el tipo y color de las

inflorescencias, la presencia de aromas y exudados en la corteza, y los tipos de hojas, información clave para la determinación taxonómica. Las muestras colectadas, posteriormente fueron secadas y preparadas para herbario. Las colectas se realizaron bajo el permiso de investigación con código MAAE-ARSFC-2021-1719.

2.2.3. **Monitoreo**

Los monitoreos se realizaron cada año en el mes de mayo desde el 2018 hasta el 2021. En cada campaña se midió el DAP y se registraron los individuos muertos, caídos o en pie. Esta información fue almacenada en una base de datos para su posterior tratamiento.

2.2.4. **Hojarasca**

Colocamos 12 trampas para caída de hojarasca en el centro de cada cuadrante (Figura 2). Las trampas de 100 cm de largo x 50 cm de ancho x 15 cm de profundidad, se elaboraron con tubos de pvc y malla de anejo con aperturas de 2 x 2 mm (Figura 3). Para determinar la producción de hojarasca a lo largo del año se realizó la colecta cada 15 días, entre mayo del 2018 y octubre del 2021 (41 meses). Debido a que los bosques amazónicos no tienen estaciones de verano e invierno tan marcadas, su influencia no se consideró y se realizaron colectas continuas a lo largo del año. La colecta de cada trampa se realizó en fundas plásticas debidamente etiquetadas, estas fueron trasladadas al laboratorio para su posterior tratamiento.



Figura 3-7: Trampas para caída de hojarasca de 1 x 0.5 m, colocadas en el centro de cada cuadrante.

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

2.3. **Fase de laboratorio de hojarasca**

Las fundas de la hojarasca se llevaron al laboratorio de biología de Ikiam donde se separaron en sus componentes: hojas, ramas, flores y frutos; se pesaron en fresco. Luego, cada componente se colocó en bolsas de papel etiquetadas y fueron puestos en la estufa para secado durante 36-48 horas o hasta tener peso constante para obtener el peso seco. De esta manera calculamos la biomasa y el carbono para cada componente.

2.4. **Procesamiento de datos**

2.4.1. ***Datos meteorológicos***

Los datos se obtuvieron de la estación meteorológica M5147 Ikiam-Universidad del campus universitario, a través del servicio hidrometeorológico Ikiam [45]. Las variables climáticas temperatura del aire, precipitación acumulada y humedad relativa, fueron obtenidas a escala diaria. Debido a las diferencias altitudinales con el sitio de estudio, y dado que la temperatura disminuye con la altitud, dichos valores fueron modificados aplicando una tasa de corrección de 0,005° C/m [46]. Esto produjo que la temperatura disminuyera en 1.8° C.

Posteriormente, para analizar la relación entre las variables climáticas y la productividad de hojarasca, se calcularon promedios quincenales para la temperatura y humedad relativa. Y por su parte, se calcularon acumulados quincenales para la precipitación.

2.4.2. ***Dinámica del bosque***

La tasa de crecimiento o incremento en el diámetro (DAP) fue estimada con el uso de la ecuación de (Valerio, 1997) [28] de la siguiente manera:

$$TCD = DAP(año\ 2) - DAP(año\ 1) \quad (\text{Ecuación 1})$$

La tasa de reclutamiento (TR) y la tasa de mortalidad (TM) se estimaron utilizando los modelos logarítmicos de Phillips & Gentry (1994), que asumen una probabilidad constante de mortalidad y reclutamiento a través de los períodos de monitoreo [10,27].

$$TR = [\ln(N_o - Nm + Nr) - \ln(N_o - Nm)]/\Delta t \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$TM = [\ln(N_o) - \ln(N_o - Nm)]/\Delta t \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde, Nm es el número de individuos muertos, N_o es el número de individuos presentes al comienzo del período, Nr es el número de individuos reclutados durante el período, y Δt es la diferencia entre los dos períodos de medición, un año.

La tasa de recambio o reemplazo fue representada por la media entre la tasa de reclutamiento y la tasa de mortalidad [27].

$$TRE = (TR + TM)/2 \quad (\text{Ecuación 4})$$

2.4.3. **Densidad de la madera**

A partir de la determinación taxonómica realizada en el herbario del INABIO, se procedió a buscar datos sobre densidad específica de la madera, la cual es específica para cada especie. Los datos de densidad se obtendrán de la base de datos de world agroforestry (<http://db.worldagroforestry.org/wd>). Para aquellos individuos que no fue posible identificarlos, ya que no se pudieron coleccionar las muestras florísticas, se consideró el valor de densidad media global para Sudamérica (0.632 g/ m³) [47].

2.4.4. **Cálculos de biomasa, PPNA y carbono**

La selección del modelo alométrico apropiado para calcular la biomasa de árboles se sustentó en un estudio realizado en bosques de Colombia. En este estudio, Álvarez [48] propone modelos alométricos para Colombia, aplicando la metodología y nomenclatura de los modelos pantropicales de Chave [18]. Pero además considera la clasificación del tipo de bosque propuesta por Chave [18] y la clasificación de zonas de vida propuesta por Holdridge [49]. Para nuestro estudio se seleccionó el modelo con el mejor desempeño (baja tendencia y baja incertidumbre de error) para estimaciones de biomasa de árboles individuales. Dicho modelo alométrico (Tabla 3) mostró en promedio una tendencia (media del error relativo) de 2.8 % y una incertidumbre (desviación estándar) de 8.5 %. En este modelo se incluyeron las variables DAP, altura del árbol y densidad de la madera. Para la biomasa de palmas

se utilizaron dos modelos alométricos propuestos para palmas amazónicas (Tabla 3) por Goodman [50].

Tabla 3-8: Modelos alométricos utilizados para la estimación de biomasa aérea.

Fuente: Álvarez et al. (2012), Goodman et al. (2013).

Ecuación	Uso
$AGB = \exp(-2.332 + 0.937 \ln((DAP^2) H \rho))$ (Ecuación 5)	Bosque piemontano
$AGB = \exp(-3.3488 + 2.7483 * \ln(DAP))$ (Ecuación 6)	Palmas
$AGB = \exp(-3.3488 + 0.94371 * \ln((DAP^2) * H))$ (Ecuación 7)	Palmas, género Iriarte

La PPN del tronco se calculó mediante la diferencia entre dos valores de biomasa en un intervalo de tiempo, es decir la biomasa final (año 2) menos la biomasa inicial (año 1). Por su parte, la PPN de hojarasca se evidenció en el peso seco (biomasa) producido durante un intervalo de tiempo (15 días), estos datos también fueron modificados para reflejar una escala mensual y anual. Para la estimación de carbono en las estructuras aéreas se utilizó el coeficiente de conversión sugerido por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) en 2006, que es 0.44 para los componentes de hojarasca y 0.5 para el tronco [51].

2.5. Análisis estadísticos

Se calcularon las tasas de dinámica (crecimiento diamétrico, mortalidad y reclutamiento) para el área muestreada en la parcela.

Los valores obtenidos de las 12 trampas de hojarasca reflejan un área de muestreo de 6 m², por lo que a partir de esta procedimos a realizar una extrapolación al área de la parcela que las contiene (0.5 ha). Esta extrapolación se la realizó debido a que los estudios forestales suelen utilizar 25 trampas distribuidas en parcelas de 1 ha, lo cual permite recoger la variabilidad del área y representarla en la respectiva extrapolación [7,15,52]. En nuestro caso, es consistente utilizar la mitad del número de trampas para

una parcela de 0.5 ha, por lo cual podemos proceder con la extrapolación a dicha área de la parcela.

Se realizó una prueba de normalidad (Prueba de Kolmogorov-Smirnov) para todas las variables climáticas y componentes aéreos (flores, frutos, hojas, ramas) de hojarasca. Luego se procedió a utilizar una prueba de correlación dependiendo si se cumplía el supuesto de normalidad. Se realizó una matriz de correlaciones entre las variables climáticas y los componentes aéreos (flores, frutos, hojas, ramas) de hojarasca, para lo cual se utilizó la Prueba de Pearson o Spearman para hallar las correlaciones y determinar si éstas eran significativas.

CAPÍTULO III

3. PRESENTACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

3.1. Dinámica del bosque

3.1.1. *Tasa de crecimiento diamétrico*

Calculamos la tasa de crecimiento diamétrico para el área muestreada (0.5 ha) utilizando la Ecuación 1. En todos los períodos muchos individuos no presentaron crecimiento diamétrico alguno, además el crecimiento promedio fue de 0.3 cm/año. Para el período 2018-2019 la sumatoria de crecimiento de todos los individuos fue de 118.1 cm/año, además se registró un crecimiento individual máximo de 3.3 cm/año. En el segundo período (2019-2020), crecimiento total de 123 cm/año y un máximo individual de 3.7 cm/año. Finalmente, para el período 2020-2021 la sumatoria del crecimiento de todos los individuos fue de 104.6 cm/año y un máximo individual de 3.2 cm/año. Se presentan los géneros que registraron los máximos y mínimos crecimientos diamétricos dentro de cada uno de los períodos (Tabla 4). Podemos observar que los crecimientos diamétricos más bajos (0 – 1 cm/año) ocurren comúnmente en los géneros *Pouteria*, *Virola*, *Otoba*, *Ocotea*, *Wettinia*, *Licania* y *Ceiba*. Por el contrario los mayores crecimientos diamétricos (1 – 3.3 cm/año) sucedieron en los géneros *Schefflera*, *Symphonia*, *Cecropia*, *Vochysia*, *Inga* y *Virola*. De manera general el género que mostró el crecimiento más alto fue *Schefflera*, entre 1.5 – 3.3 cm/año; y el género que demostró con mayor frecuencia un crecimiento nulo (0 cm/año) fue *Pouteria*.

Tabla 4-8: Géneros con los crecimientos diamétricos máximos y mínimos más representativos registrados durante el período 2018 – 2021.

Crecimiento diamétrico (cm/año)	2018-2019	2019-2020	2020-2021
Mínimo (0 – 0.1 cm)	<i>Pouteria, Virola, Otoba, Ocotea, Wettinia, Licania</i>	<i>Pouteria, Virola, Otoba, Ceiba, Licania, Wettinia</i>	<i>Pouteria, Virola, Ceiba, Ocotea, Otoba, Licania</i>
Máximo (1 – 3. cm)	<i>Schefflera, Cecropia, Symphonia</i>	<i>Schefflera, Vochysia, Symphonia, Cecropia</i>	<i>Schefflera, Vochysia, Inga, Virola</i>
Total	118.1 cm/año	123 cm/año	104.6 cm/año

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

3.1.2. *Tasas de reclutamiento, mortalidad y recambio*

Registramos todos los ingresos y pérdidas dentro del área de muestreo (0.5 ha), luego calculamos las tasas anuales de reclutamiento, mortalidad y recambio, presentadas a continuación:

Tabla 5-8: Tasas anuales de reclutamiento, mortalidad y recambio.

Dinámica	Número de individuos	Tasa anual
Reclutamiento	21	2%
Mortalidad	27	2.53%
Recambio	-	2.27%

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

La tasa de reclutamiento se obtuvo mediante la aplicación de la Ecuación 2. Durante el período de muestreo de tres años. Se registró un total de 21 reclutas con DAP > 10 cm, esto resulta en una tasa de reclutamiento del 2%/año.

Se contabilizaron un total de 27 árboles muertos durante el período de muestreo. Es decir, una tasa de mortalidad del 2.53%/año, la cual se calculó mediante el uso de la Ecuación 3.

Finalmente, para hallar la tasa de recambio se utilizó la Ecuación 4, con la cual se obtuvo una tasa del 2.27%/año.

3.2. Biomasa aérea

La biomasa aérea o biomasa sobre el suelo, está representada por la biomasa del tronco (Figura 4) y la biomasa de la hojarasca (Figura 6).

La biomasa del tronco (Figura 4) fue estimada para cada uno de los años del período de muestreo (2018 – 2021) mediante el uso de la Ecuación 5 para árboles y para palmas las Ecuaciones 6 y 7

Los valores de biomasa total para los años 2018, 2019, 2020 y 2021 fueron de 95.61, 98.73, 104.5 y 114.12 Mg/0.5 ha respectivamente. Se puede apreciar que la biomasa aumentó poco entre el primer y segundo año, pero los siguientes años experimentó crecimientos cada vez mayores. En cuanto a la biomasa individual de árboles y palmas, se registró un promedio de 0.26 Mg, máximo de 8.16 Mg, y mínimo de 0.01 Mg.

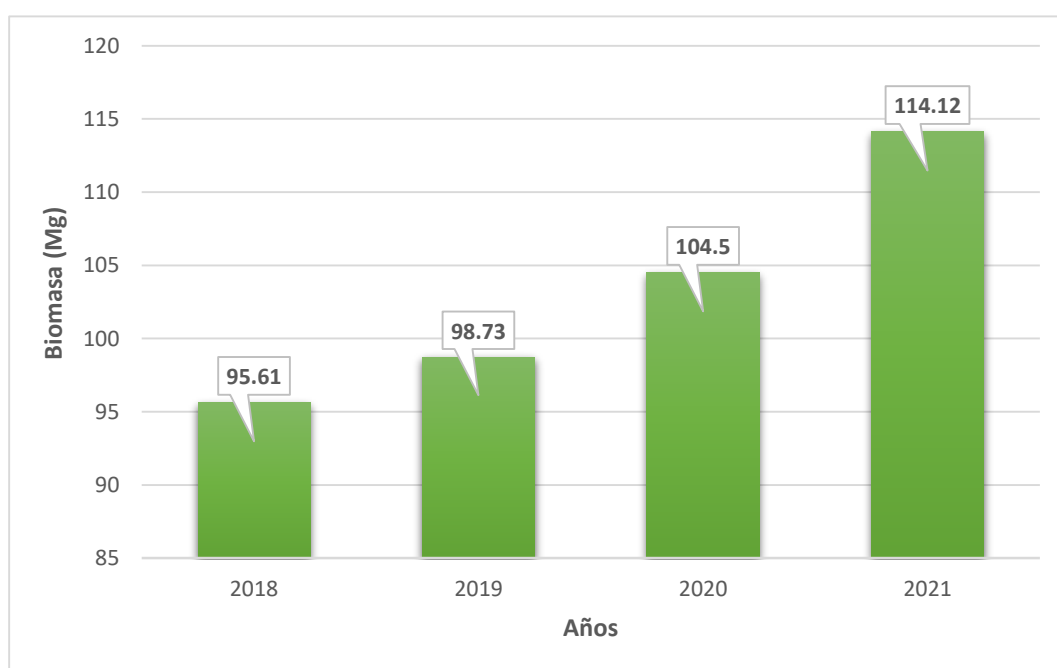


Figura 4-7: Biomasa aérea del tronco estimada para cada uno de los años de muestreo.

En el eje X se muestran los años y en el eje Y la biomasa (Mg).

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

3.3. Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA)

3.3.1. Productividad Primaria Neta del tronco

La PPN del tronco (Figura 5) muestra un incremento anual de 3.12, 5.77 y 9.62 Mg/0.5 ha/año para los períodos 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021. Es evidente que la PPN casi duplica su valor del primer al segundo período. Además, se registra un alto incremento de 9.62 Mg/0.5 ha/año en el tercer período. Los valores de productividad individual para el primer período presentaron un promedio de 0.008 Mg, máximo 0.31 Mg y mínimo -1.20 Mg. En el segundo período, un valor promedio de 0.014 Mg, máximo 0.57 Mg y mínimo -1.22 Mg. Finalmente, el tercer período presentó un promedio de 0.025 Mg, máximo 0.67 Mg y mínimo -0.50 Mg. Los altos valores individuales de productividad negativa (pérdida) condicionan la PPN total del primer y segundo período. Contrario a lo que sucede en el tercer período, que reporta una pérdida individual muy baja en la productividad. Por su parte la productividad individual promedio y máxima tienden a aumentar en cada período anual.

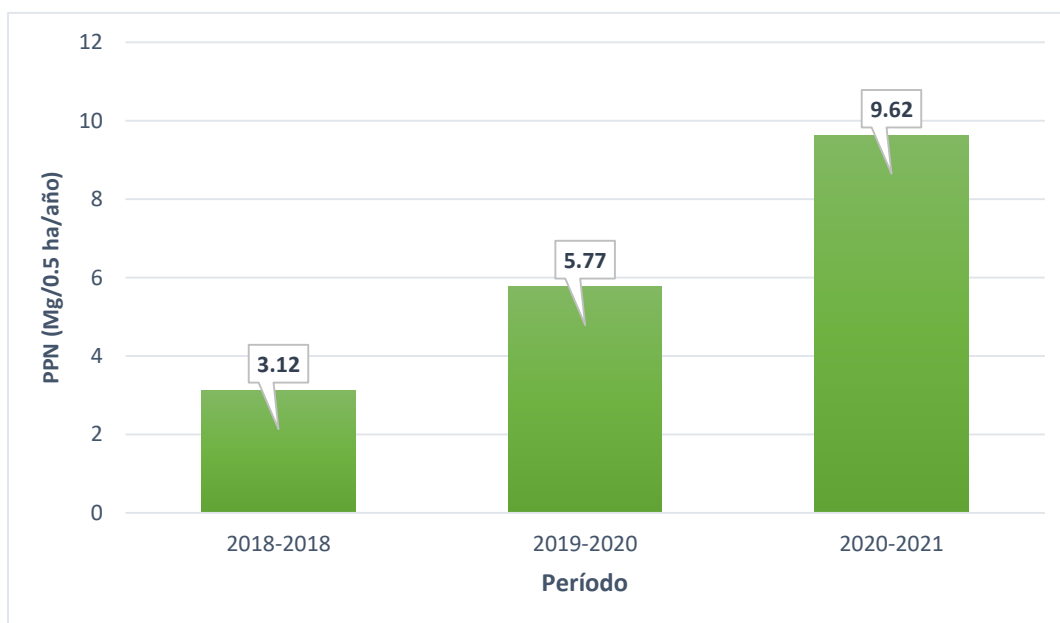


Figura 5-7: Valores de PPN aérea del tronco para el período 2018 - 2019. En el eje X se muestra el período anual y en el eje Y la PPN.

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

3.3.2. *Productividad Primaria Neta de la hojarasca*

Los valores de productividad de hojarasca (Figura 6) se contabilizaron en acumulados mensuales y anuales para cada año del período de muestreo (2018 – 2021). Dichos valores fueron registrados dentro de un área de muestreo de 6 m² (12 trampas de 0.5 m²), y posteriormente fueron extrapolados al área de la parcela (0.5 ha).

La productividad de hojarasca total en el primer y segundo año fue 5.99, y 5.74 Mg/0.5 ha/año y sus medias mensuales 0.46 y 0.44 Mg/0.5 ha. En el tercer año de muestreo se registró una productividad inferior a las anteriores y esta fue de 3.92 Mg/0.5 ha/año, con una media mensual de 0.30 Mg/0.5 ha. En el gráfico de cajas y bigotes (Figura 8), es evidente que los altos valores de PPN del primer y segundo año están influenciados por sus valores extremos mensuales, cuyos máximos se ubican por encima de 0.5 Mg. El segundo año concentra los valores más altos de productividad mensual en comparación con los otros años. Por su parte, el tercer año muestra la productividad más baja, debido principalmente a que no presenta valores mensuales superiores a 0.4 Mg. Finalmente, en cuanto a los componentes aéreos, la mayor aportación en promedio a la productividad total fue por parte de las hojas con el 64 %, le siguieron las ramas con el 24 %, luego los frutos con el 7 % y las flores con el 5. %.

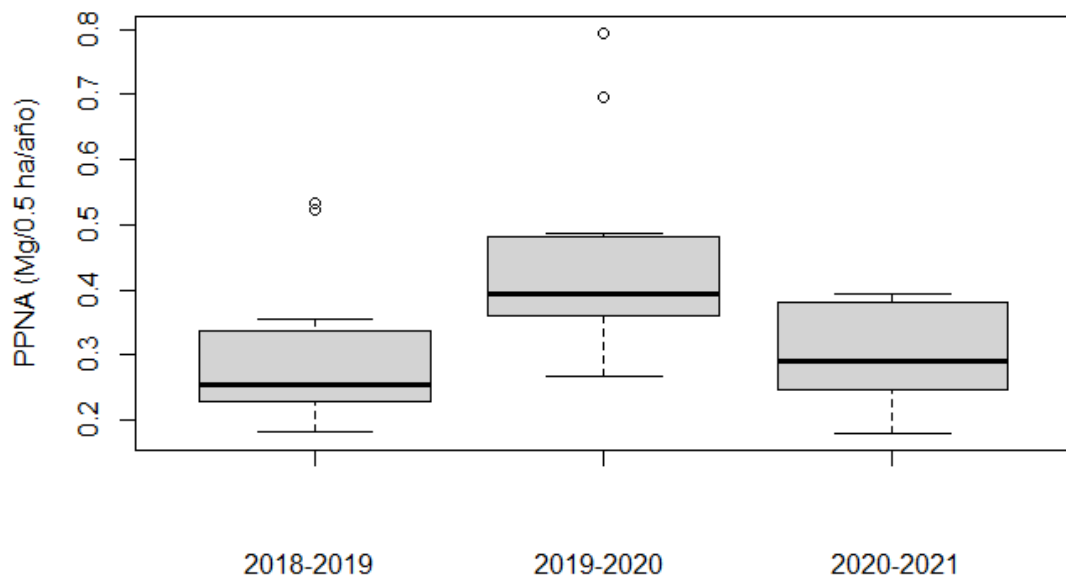


Figura 6-7: Gráfico de barras y bigotes de la PPN de hojarasca en el período 2018-2021. En el eje X se muestran los períodos y en el eje Y la PPN.

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

3.4. Relación de variables climáticas y componentes aéreos de hojarasca

Se utilizó la PPN promedio de las 12 trampas (6 m²) de caída de hojarasca medidas cada 15 días. Las variables climáticas temperatura y humedad relativa se expresaron en promedios quincenales, y la precipitación en valores acumulados cada 15 días. La escala temporal de 15 días fue utilizada para considerar la mayor cantidad de datos e interacciones entre variables. Mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov se evidenció que ninguna de las variables cumplió con el supuesto de normalidad, por lo que se procedió a utilizar una prueba no paramétrica. Para evaluar la relación entre variables se utilizó la Prueba de correlación de Spearman. La matriz de correlación (Tabla 6) refleja los valores de correlación entre las variables climáticas y los componentes aéreos de PPN. Se puede apreciar una correlación negativa (-0.32) y significativa ($p < 0.01$) de la PPN de hojas versus la humedad relativa. Los demás componentes aéreos (flores, frutos, ramas) y variables climáticas (temperatura, precipitación) no presentaron correlaciones significativas.

Tabla 6-8: Matriz de correlación de Spearman entre los componentes aéreos de hojarasca y las variables climáticas. Correlaciones significativas (*).

Variables	Flores	Frutos	Hojas	Ramas
Precipitación	-0.13	-0.19	-0.21	0.11
Temperatura	-0.2	0.04	0.15	0.16
Humedad Relativa	0.05	0.05	-0.32*	0.02

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

Para analizar la influencia entre las variables que demostraron una correlación significativa, se realizó un gráfico que relaciona la producción mensual de hojas en el área de muestreo (6 m²) y el promedio mensual de humedad relativa (Figura 7). Se utilizaron valores mensuales para facilitar la apreciación de los datos durante todo el período de muestreo (2018-2021). Se puede observar que la humedad relativa tiene una influencia inversa sobre la producción de hojas, dicha tendencia se observa en la mayoría de meses. Los picos más altos de producción se dieron durante los meses (agosto – noviembre) que registraron los valores más bajos de humedad relativa, por debajo del 92%. Por el contrario, cuando la humedad relativa es mayor se observa una disminución marcada en la producción de hojas.

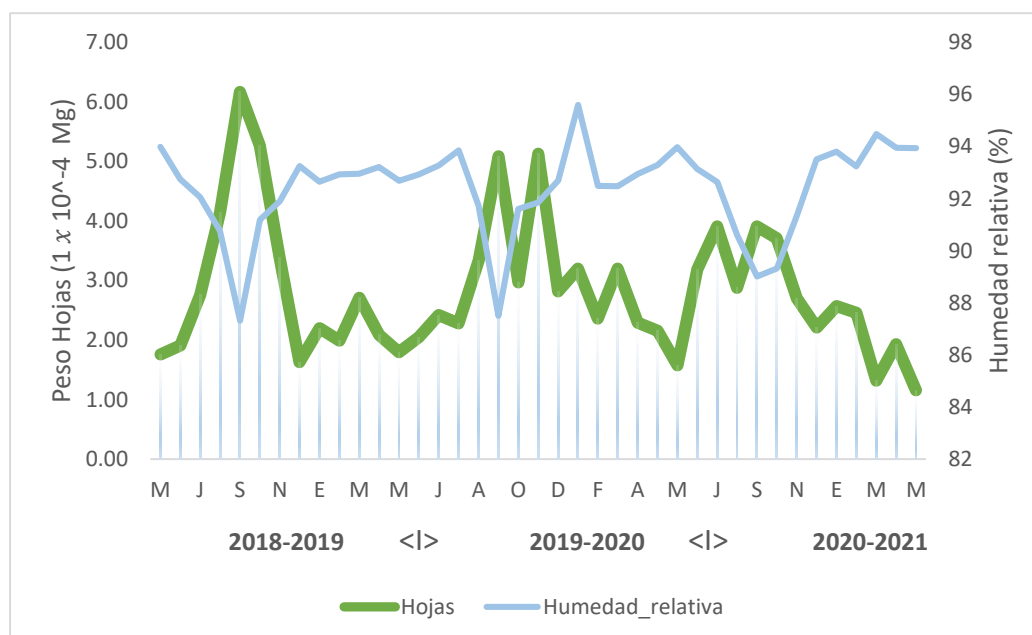


Figura 7-7: Relación entre la producción mensual de hojas (1×10^{-4} Mg) y la humedad relativa (%) durante el período de muestreo 2018 - 2021.

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

3.5. Reserva y flujo de carbono

3.5.1. *Carbono en el tronco*

El carbono contenido en el tronco a manera de reserva fue calculado a partir de la multiplicación de los valores de biomasa por el coeficiente de conversión de carbono (0.5) propuesto por el IPCC. Se muestran las reservas y flujos de carbono estimados para la unidad de muestreo (Tabla 7). Las reservas de carbono fueron de 47.80, 49.37, 52.25 y 57.06 Mg C/0.5 ha para los años 2018, 2019, 2020 y 2021. Se puede apreciar que dichas reservas de carbono presentaron valores que aumentaron cada año mucho más que el anterior, es decir no se observan crecimientos similares entre cada una de las reservas. En cuanto al flujo de carbono, éste fue de 1.56, 2.89, 4.81 Mg C/0.5 ha/año para los períodos 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021. Es evidente que los flujos de carbono mostraron un aumento progresivo en el tiempo para cada uno de los períodos de muestreo. Dicho aumento se dio en una magnitud de casi el doble del valor de un período dado con respecto a su período previo.

Tabla 7-8: Reserva y flujo de carbono (Mg/0.5 ha) total estimado para el período de muestreo (2018-2021).

Año	Reserva	Período	Flujo
2018	47.80	2018 – 2019	1.56
2019	49.37		
2020	52.25	2019 – 2020	2.89
2021	57.06	2020 - 2021	4.81

Realizado por: Crespo, Angel, 2022.

3.5.2. *Carbono en la hojarasca*

Los valores de carbono fueron obtenidos a partir de la PPN, para cuya transformación se utilizó el factor de conversión de carbono (0.44) para estudios forestales recomendado por el IPCC. El flujo de carbono total en la hojarasca fue de 2.64 y 2.53 Mg C/0.5 ha/año para el primer y segundo período de muestreo. El tercer período presentó un flujo de 1.72 Mg C/0.5 ha/año, este último período fue el que registró el menor flujo de carbono con respecto a los períodos iniciales. De igual manera que ocurre en la PPN, se observa una mayor aportación de carbono en las hojas, y así sucesivamente en ramas, frutos y flores.

CAPÍTULO IV

4. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

4.1. Tasas de dinámica

Tabla 8-8: Comparación de las tasas de mortalidad, reclutamiento y crecimiento entre distintos sitios de estudio en la cuenca amazónica.

Fuente: Hunger et al. (2012), Baker et al. (2004), Susan et al. (2009).

Sitio	Altitud (m s. n. m.)	Tiempo de medición (años)	Tasa de mortalidad (%)	Tasa de reclutamiento (%)	Tasa de crecimiento (cm/año)
Manaos	92	23	1 – 1,7	1, - 1,9	0,12 – 0,19
Cuyabeno	265	2,5	1,03	3,05	-----
Añangu	370	4,9	1,9	1,8	-----
Jatun Sacha	450	5 - 14	1,2 – 2,1	1,9 – 3	0,1 – 0,25
RBCC	954	3	2,5	2	0,3
Hakuna Matata	1000	5	-----	-----	0,13 – 0,38

Las tasas de mortalidad en los diversos sitios de estudio se relacionan positivamente con la altitud, es decir, a medida que ésta aumenta también se producen mayores pérdidas de biomasa (muerte de individuos). Sin embargo, la altitud no parece tener influencia sobre las tasas de reclutamiento, las cuales se muestran similares o superiores a las tasas de mortalidad en todos los sitios a excepción de nuestro estudio. Por lo tanto las tasas de recambio en la mayoría de estudios serán mayores a las tasas de mortalidad, con lo cual dichos bosques estarían en principio compensando sus pérdidas de biomasa derivadas de la mortalidad de individuos. En cambio, nuestro estudio muestra una tasa de recambio (2,27 %) inferior a la tasa de mortalidad (2,5 %), lo cual demuestra una menor compensación de las pérdidas de biomasa, y al mismo tiempo un mayor dinamismo del bosque piemontano en la RBCC. Las mayores tasas de mortalidad podría deberse a la variabilidad topográfica en cada uno de los sitios, ya que los sitios a mayor altitud también presentan una mayor pendiente de inclinación. Asimismo, se conoce que los bosques del oeste tienen tasas más altas de mortalidad que los del este, lo cual se explica por la variación en la fertilidad del suelo, dada por

la disponibilidad de fósforo [17], misma que es mayor en el oeste amazónico en comparación con el este amazónico.

En cuanto a la tasa de crecimiento diamétrico individual, ésta presenta también un comportamiento creciente con respecto a la altitud, ya que los mayores crecimientos se registran aproximadamente a los 1000 m s. n. m. Tanto la tasa de crecimiento como la de mortalidad demuestran que los bosques piemontanos son más dinámicos que los de tierras bajas. Esta condición puede estar influenciada por las características de fertilidad del suelo, pero además por la topografía del terreno, ya que una mayor inclinación de la pendiente propicia un mayor número de individuos muertos [55]. Especialmente, esto es evidente ya que en la RBCC se presentó un mayor número de muertes por caída versus muertes en pie, es decir la inclinación del terreno no permite que se establezca un adecuado sostén de las raíces al suelo, y es por ello que los vientos y tormentas podrían generar caída de individuos con mayor facilidad.

4.2. Biomasa, PPNA y carbono en el tronco

Los resultados reflejan la biomasa contenida en una área de muestreo de 0.5 ha. Por lo que para realizar comparaciones, ajustamos la escala de muestreo de los valores reportados en otros estudios, es decir los valores usualmente reportados como Mg/ha fueron multiplicados por 0.5 para expresarlos como Mg/0.5 ha. Nuestros valores de biomasa del tronco oscilaron entre 95.61 y 114.12 Mg/0.5 ha. Podemos asegurar que nuestras estimaciones de biomasa se encuentran dentro del rango de otros estudios para bosques piemontanos amazónicos, 80.5 – 169.5 Mg/0.5 ha en un estudio en Mera, Pastaza, reportado por Torres, 2020 [56]; 90 - 250 Mg/0.5 ha en Hakuna Matata, Tena, Napo, reportado por Unger, 2012 [16]; 99.7 Mg/0.5 ha en Zamora, reportado por Jadán, 2017 [57].

Sin embargo, nuestros valores son inferiores a 115.5 – 159 Mg/0.5 ha en Jatun sacha, Napo, reportado por Baker, 2004 [12], y 123.4 – 160.4 Mg/0.5 ha, en Napo, reportado por Torres, 2020 [56], para el Centro de Investigación, Postgrado y Conservación Amazónica (CIPCA). Con respecto a los valores presentados en el INF 2015 (61.4 Mg/0.5 ha) [51], los cuales son muy bajos con respecto a los que hemos hallado en nuestro estudio. Posiblemente esto se deba a que el INF reporta el mismo valor de biomasa tanto para el bosque piemontano oriental como para el occidental, a pesar de que se trata de dos tipos de ecosistemas diferentes.

La PPNA del tronco presentó tasas crecientes de 3.12, 5.77 y 9.62 Mg/0.5 ha/año para el período de muestreo (2018-2021). La PPNA del primer período (2018-2019) está entre los valores 1.5 – 3.5 Mg/0.5 ha/año de un estudio en Hakuna Matata, Napo [16], pero es superior a 2.5 Mg/0.5 ha/año en Jatun Sacha, Napo [12], y 1.41 Mg/0.5 ha/año en Zamora [43]. En cambio, la PPN del segundo y tercer período son muy superiores, este último en más del triple que los valores reportados en Jatun Sacha, Hakuna Matata y Zamora. Estas diferencias podrían verse explicadas por el efecto de variables climáticas como la precipitación o efecto de la composición química de los suelos. Por ejemplo, para nuestro caso de estudio, la diferencia muy notoria entre la PPN de cada uno de los períodos puede deberse a la influencia de la precipitación, la cual fue de 4060, 4439 y 4840 mm anuales para el primer, segundo y tercer período. La precipitación puede influir positivamente en la PPN, es decir, altos niveles de precipitación pueden conducir a un aumento en las tasas de crecimiento y PPN [15,46]

En cuanto a las reservas y flujos de carbono, éstas fueron de 47.80 a 57.06 Mg C/0.5 ha y 1.56 a 4.81 Mg C/0.5 ha/año respectivamente. Debido a que se observaron valores similares de biomasa entre nuestro estudio y los realizados por Torres, 2020 [56], Unger, 2012 [16] y Jadán, 2017 [57]; podríamos sostener que las reservas de carbono presentarán la misma similitud. En cuanto a los flujos de carbono, éstos valores se presenta muy superiores a 0.68 Mg C/0.5 ha/año en un estudio en Zamora, reportado por Moser, 2017 [43]. Además, se esperaría que los flujos de carbono sean superiores a los que teóricamente procederían de los estudios de Baker, 2004 [12] y Unger, 2012 [16], como ocurre con la PPNA.

4.3. PPNA y carbono en la hojarasca

La PPNA de la hojarasca se expresa en Mg/0.5 ha/año con el fin de realizar comparaciones con otros estudios. Ésta presenta valores superiores y similares en los dos primeros períodos, 5.99 y 5.74 Mg/0.5 ha/año, y 3.92 Mg/0.5 ha/año en el tercer período. Nuestros datos, sobre todo en los dos primeros períodos, son superiores a la PPNA hallada en un bosque piemontano en Zamora (3.85Mg/m²/año), reportado por Moser, 2017 [43], y la de un estudio en Manaos, Brasil (2.9 y 5.0 Mg/0.5 ha/año), reportado por Nascimento, 2002 [58].

El flujo de carbono 2.64, 2.53 y 1.72 Mg/0.5 ha/año para los tres períodos de muestreo. Se muestra superior el primer y segundo período con respecto al flujo hallado en Zamora (1.94Mg/0.5 ha/año), pero éste es similar al valor del primer período. El flujo en cada período también se mostró superior al valor de un bosque piemontano en Perú, 1.24 Mg/0.5 ha/año, reportado por Girardin, 2010 [15]. Ambos sitios de estudio se encuentran en bosques piemontanos a una altitud similar al nuestro (1000 m s.n.m.). Por lo tanto nuestros valores demuestran que el bosque piemontano de la RBCC puede capturar más carbono en la hojarasca que los bosques piemontanos reportados anteriormente.

Los estudios de carbono en la hojarasca, entre ellos el INF [51], realizan el monitoreo del carbono contenido en detritos y hojarasca sobre el suelo en un momento puntual, pero se desconoce realmente qué tiempo lleva la hojarasca caída allí, ya que las tasas de descomposición de la misma pueden ser variables. Por ello es complicado llevar a cabo comparaciones entre flujos de carbono en diferentes sitios, ya que hay pocos estudios de este tipo, por lo que no se puede tener un conocimiento real de los bosques amazónicos. Es importante incluir la variable temporal en este tipo de monitoreos de carbono, para conocer la estacionalidad de la caída de hojarasca y poder analizar cuáles son las variables que motivan o influyen en su productividad.

4.4. Relación entre clima y PPNA de hojarasca

Se presentó una correlación media negativa (-0.32) entre la humedad relativa y la PPNA de hojas. Esta fue la única relación estadísticamente significativa ($p < 0.01$). Esta relación puede explicarse por efecto del estrés por déficit hídrico, es decir bajos niveles de agua en el suelo o humedad ambiental. Como respuesta al estrés por déficit hídrico, las plantas tienen estrategias para reducir la pérdida de agua, la cual generalmente se da por evapotranspiración. La evapotranspiración está determinada por el área foliar, es decir que si las plantas pierden hojas por senescencia o abscisión (caída), estarán reduciendo su área foliar, y por consiguiente la pérdida de agua [59]. Dicha relación entre las variables climáticas y la PPNA de hojarasca ha sido poco estudiada a nivel local y nacional. Sin embargo, en un estudio que analizó datos de varios sitios en Sudamérica tropical, entre ellos el Parque Nacional Podocarpus, se encontró una correlación positiva débil pero significativa ($p = 0.02$) entre la estacionalidad mensual de precipitación y la PPNA de hojarasca total [52].

Aunque no se trata de las mismas variables analizadas, en nuestro estudio encontramos que la precipitación y la humedad relativa están muy relacionadas, con una correlación (0.44) muy significativa ($p < 0.0001$). Por lo que podemos afirmar que ambos estudios difieren en la relación (negativa y positiva) que guarda la precipitación o humedad relativa frente a la PPNA de hojarasca. Estas diferencias podrían deberse a que el estudio a nivel de Sudamérica analizó datos de varios ecosistemas de la amazonia pero no del bosque piemontano en concreto. Por otro lado, en un bosque del Chocó (bosque muy húmedo tropical) se encontró una correlación negativa entre la precipitación y la PPNA de hojarasca, lo cual si se corresponde con la relación hallada en nuestro estudio, partiendo de que la precipitación y humedad relativa cambian al mismo tiempo y en la misma dirección.

CONCLUSIONES

El bosque piemontano de la RBCC demostró tener más dinamismo que otros bosques regionales de este ecosistema, ya que se determinaron mayores tasas de crecimiento y mortalidad. Aunque por otro lado, la tasa de reclutamiento es una de las más bajas y sobretodo la tasa de recambio puede estar sugiriendo que el bosque no está precisamente compensando las pérdidas de biomasa derivadas de la mortalidad de individuos.

Debido a que una mayor parte de las muertes se presentó por la caída de individuos, esto permite la generación de pequeños claros en el bosque, condición que a su vez podría beneficiar a la aparición de géneros arbóreos pioneros como *Cecropia* y *Schefflera*. Dichos géneros son justamente los que registraron los mayores crecimientos diamétricos, y especialmente los responsables de las altas tasas de crecimiento.

La relación positiva entre las tasas de mortalidad y crecimiento con respecto a la altitud pueden deberse a las propiedades topográficas, ya que los bosques piemontanos presentan una alta inclinación de la pendiente. Pero por otro lado, la influencia de la altitud sobre la temperatura, nos permite asociar ésta última tanto a la muerte de individuos como al crecimiento de los mismos.

Aunque en general la biomasa y carbono contenido en el tronco fueron similares a los de otros sitios, difieren mucho de lo reportado en el INF, cuyos datos podrían estar subestimando las reservas de carbono a nivel de ecosistema. Ya que el INF reporta un único valor tanto para el bosque piemontano occidental y oriental, mientras nuestro estudio presenta un valor más aproximado a la realidad del bosque piemontano oriental. En cambio, la PPNA tanto del tronco como de la hojarasca se mostraron superiores a otros estudios realizados en la cuenca amazónica, por lo que se evidencia que son muy importantes fijando grandes cantidades de carbono en los tejidos vegetales de la RBCC.

La PPNA de hojarasca presentó una mayor aportación de hojas (70 %) en relación a los demás componentes aéreos (ramas, flores, frutos), dicha aportación fue incrementándose cada vez más en el tiempo. Lo cual sugiere que en cada período la producción de hojas fue aumentando y al mismo tiempo la producción de flores y frutos

fue disminuyendo, un aspecto preocupante si consideramos que se compromete la oferta de alimento para la fauna silvestre.

A pesar de que son escasos los estudios a nivel de bosques amazónicos, esta investigación nos permite entender cómo está siendo condicionada la PPNA de hojarasca del bosque piemontano, para el cual no hay estudios de su relación con las variables climáticas. En la RBCC pudimos encontrar que la PPNA de hojas fue influenciada únicamente por la humedad relativa, lo cual demuestra que dicha variable climática puede condicionar los flujos de carbono en la hojarasca. Sin embargo, se recomienda tener mediciones in situ de las variables climáticas, ya que podrían darnos una mejor apreciación de su relación con la PPNA de los demás componentes de hojarasca.

RECOMENDACIONES

Es importante que se realicen más estudios de PPNA en este tipo de ecosistemas, ya que representan zonas vulnerables a la fragmentación que merecen ser conservadas por su importante papel en la captura de carbono y otros servicios ecosistémicos y particularmente en la lucha contra el cambio climático. Además, el bosque piemontano es el hábitat de especies endémicas o de distribución restringida como es el caso de *Wettinia maynensis*; así como de múltiples especies claves como osos de anteojos, jaguares y otros depredadores, también denominadas especies paraguas, que garantizan el buen estado de salud de un ecosistema.

REFERENCIAS

1. Balvanera P. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*. 2012;21: 136–147.
2. Phillips O, Baker T, Feldpausch T, Brien R. Field manual for establishment and remeasurement (RAINFOR). ... Amaz For Invent 2006; 1–27. Available: http://amazonpire.org/PDF/fc2009/readings/1m_1_RAINFOR_tree_inventory.pdf
3. Rodríguez Quiñón D. El desarrollo sustentable de la Cuenca Amazónica en la Agenda Ambiental de la Comunidad Andina. *Rev del Cent Andin Estud Int*. 2012; 73–112. Available: <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/3693/1/07-TC-Rodriguez.pdf>
4. Ron S. Regiones naturales del Ecuador. In: BOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2020.
5. Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. Ecuador alberga 12.5 millones de hectáreas de bosques. 2022. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-alberga-12-5-millones-de-hectareas-de-bosques/>
6. Varela L, Ron S. Geografía y clima del Ecuador. BOWEB Pontif Univ Católica del Ecuador. 2018. Available: <https://bioweb.bio/geografiaClima.html>
7. Honorio EN, Baker TR. Manual Del Monitoreo Del Ciclo Del Carbomo En Bosques Amazonicos. Inst Investig la Amaz Peru / Univ Leeds. 2010; 54. Available: <http://repositorio.iiap.gob.pe/handle/IIAP/290>
8. García Quintana Y, Arteaga-Crespo Y, Torres-Navarrete B, Bravo-Medina C, Robles-Murillo M. Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colomb For*. 2021;24: 45–59. doi:10.14483/2256201x.15939
9. Garófalo B. BIOMASA AÉREA DE FAMILIAS BOTÁNICAS DEL BOSQUE SIEMPREVERDE PIEMONTANO DE LA MICROCUENCA RÍO PUYO COMO CONTRIBUCIÓN A LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. 2018.
10. Phillips OL, Gentry AH. Increasing Turnover Through Time in Tropical Forests. *Science* (80-). 1994;263: 954–958. doi:10.1126/science.263.5149.954
11. Lewis SL, Lopez-Gonzalez G, Sonké B, Affum-Baffoe K, Baker TR, Ojo LO, et al. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature*. 2009;457: 1003–1006. doi:10.1038/nature07771
12. Baker TR, Phillips OL, Malhi Y, Almeida S, Arroyo L, Di Fiore A, et al. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2004;359: 353–365. doi:10.1098/rstb.2003.1422
13. Etter A, Mc Alpine C, Phinn S, Pullar D, Possingham H. Characterizing a tropical deforestation wave: a dynamic spatial analysis of a deforestation hotspot in the Colombian Amazon. *Glob Chang Biol*. 2006;12: 1409–1420. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01168.x>
14. Guevara J, Mogollón H, Cerón C, Josse C. Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2013. Available: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf
15. Girardin C, Malhi Y, Aragao L, Mamani M, Huaraca W, Durand L, et al. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. *Glob Chang Biol*. 2010;16: 3176–3192. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02235.x>
16. Unger M, Homeier J, Leuschner C. Effects of soil chemistry on tropical forest biomass and productivity at different elevations in the equatorial Andes. *Oecologia*. 2012;170: 263–274. doi:10.1007/s00442-012-2295-y
17. Aragão LEOC, Malhi Y, Metcalfe DB, Silva-Espejo JE, Jiménez E, Navarrete D, et al. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences*. 2009;6: 2759–2778. doi:10.5194/bg-6-2759-2009
18. Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 2005;145: 87–99. doi:10.1007/s00442-005-0100-x

19. Álvarez E, Saldarriaga JG, Duque AJ, Cabrera KR, Yepes AP, Navarrete DA, et al. Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia. *Inst Hidrol Metereologia y Estud Ambient - IDEAM*. 2011; 26.
20. Brown S, Gillespie AJR, Lugo AE. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *For Sci*. 1989;35: 881–902. doi:10.1093/forestscience/35.4.881
21. Yang X, Wu J, Chen X, Ciais P, Maignan F, Yuan W, et al. A comprehensive framework for seasonal controls of leaf abscission and productivity in evergreen broadleaved tropical and subtropical forests. *Innov*. 2021;2: 100154. doi:10.1016/j.xinn.2021.100154
22. Mosquera H, Ramos Y, Abadía D. Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. *Rev Inst Univ Tecnológica del Chocó*. 2007;26: 28–41. doi:10.18636/biodesarrollo.v26i1.464.g476
23. Dauber H, Teran J, Guzman R. Estimaciones de biomasa y carbono almacenado en bosques naturales de cuatro ecoregiones de Bolivia. *Rev For Iberoam*. 2000;1: 32–43. Available: 0666169857biomasa y carbono.pdf
24. Álvarez-Dávila E, Cayuela L, González-Caro S, Aldana AM, Stevenson PR, Phillips O, et al. Forest biomass density across large climate gradients in northern South America is related to water availability but not with temperature. *PLoS One*. 2017;12: 1–16. doi:10.1371/journal.pone.0171072
25. Pallqui NC, Monteagudo A, Phillips OL, Lopez-Gonzalez G, Cruz L, Galiano W, et al. Dinámica, biomasa aérea y composición florística en parcelas permanentes Reserva Nacional Tambopata, Madre de Dios, Perú. *Rev Peru Biol*. 2014;21: 235–242. doi:10.15381/rpb.v21i3.10897
26. Esquivel-Muelbert A, Phillips OL, Brien R, Fauset S, Sullivan MJP, Baker TR, et al. Tree mode of death and mortality risk factors across Amazon forests. *Nat Commun*. 2020;11. doi:10.1038/s41467-020-18996-3
27. Pallqui NC, Monteagudo A, Phillips OL, Lopez-Gonzalez G, Cruz L, Galiano W, et al. Dinámica, biomasa aérea y composición florística en parcelas permanentes Reserva Nacional Tambopata, Madre de Dios, Perú. *Rev Peru Biol*. 2014;21: 235–242. Available: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332014000300006&nrm=iso
28. Marín GC, Nygård R, Rivas BG, Oden PC. Stand dynamics and basal area change in a tropical dry forest reserve in Nicaragua. *For Ecol Manage*. 2005;208: 63–75. doi:10.1016/j.foreco.2004.10.072
29. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo., Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. REDD+ ECUADOR. Available: http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/?page_id=378
30. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). REDD+ Reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques. 2021. Available: <https://www.fao.org/redd/es/>
31. Sánchez L, Reyes O. Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. *Econ Comm Lat Am Caribb*. 2015; 75. Available: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf?sequence=1
32. Organización de las Naciones Unidas. La función de las Naciones Unidas en la acción contra el cambio climático: Asumiendo el liderazgo para una respuesta global. 2021. Available: <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-funcion-de-las-naciones-unidas-en-la-accion-contra-el-cambio-climatico-asumiendo-el-liderazgo>
33. Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ecuador acepta la Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto. 2015. Available: <https://unfccc.int/es/news/ecuador-acepta-la-enmienda-de-doha-al-protocolo-de-kyoto>
34. República del Ecuador, Ministerio del Ambiente. Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025. 2012. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/ESTRATEGIA-NACIONAL-DE-CAMBIO-CLIMATICO-DEL-ECUADOR.pdf>
35. Samaniego E, García Y, Neill D, Arteaga Y, Vargas JC, Rojas L. Diversidad florística de tres sitios de un bosque siempreverde piemontano de la región oriental amazónica del Ecuador Floristic

Diversity of three Locations of a Piemontano Evergreen Forest in the Ecuadorian Eastern Amazon Region. *Rev Amaz Cienc y Tecnol* Vol. 2015;4: 1–32.

36. Abata G. Deforestación en la Amazonia ecuatoriana. *Green World J.* 2018;1. Available: <https://doi.org/https://www.greenworldjournal.com/doi-005-ga-2018>
37. INABIO. Tasas de pérdida de hábitats reducida al menos a la mitad. In: METAS AICHI [Internet]. 2019. Available: <http://inabio.biodiversidad.gob.ec/2019/01/30/5-tasa-de-perdida-de-habitats-reducida-al-menos-a-la-mitad/>
38. Pardo-Rozo Y-Y, Andrade-Castañeda H-J, Muñoz-Ramos J, Velásquez-Restrepo J-E. Carbon capture in three land use systems in the Colombian Amazonia. *Rev Ciencias Agrícolas.* 2021;38: 111–123. doi:10.22267/rcia.213802.160
39. FAO. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Informe principal. Roma; 2021. Available: <http://documents.worldbank.org/curated/en/512501471594373158/Informe-principal>
40. EFEVERDE. Amazonia pierde millones de toneladas de carbono debido a la deforestación. In: Ciencia Amazonia [Internet]. Available: <https://www.efeverde.com/noticias/amazonia-pierde-millones-toneladas-carbono-debido-deforestacion/>
41. Sierra R, Calva O, Guevara A. La Deforestación en el Ecuador, 1990 – 2018: Factores, Promotores y Tendencias Recientes. Minist Ambient y Agua del Ecuador, Minist Agric del Ecuador, en el marco la implementación del Programa Integr Amaz Conserv Bosques y Prod Sostenible Quito, Ecuador. 2021; 216. Available: https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/06/Deforestación_Ecuador_com2.pdf
42. Noh JK, Echeverria C, Gaona G, Kleemann J, Koo H, Fürst C, et al. Forest Ecosystem Fragmentation in Ecuador: Challenges for Sustainable Land Use in the Tropical Andean. *Land.* 2022;11. doi:10.3390/land11020287
43. Moser G, Leuschner C, Hertel D, Graefe S, Soethe N, Iost S. Elevation effects on the carbon budget of tropical mountain forests (S Ecuador): The role of the belowground compartment. *Glob Chang Biol.* 2011;17: 2211–2226. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02367.x
44. Solas SÁ, Ramis L, Cristina M, Mora P, Torres TC. Guía de campo de los mamíferos del piedemonte de la Reserva Biológica Colonso Chalupas. Primera ed. Tena: Universidad Regional Amazónica Ikiam; 2018.
45. Servicio Hidrometeorológico Ikiam. Red de estaciones Meteorológicas e Hidrológicas: Meteoviewer, versión 3.4. In: Universidad Regional Amazónica Ikiam [Internet]. 2020 [cited 25 Oct 2021]. Available: <http://hidrometeorologia.ikiam.edu.ec/meteoviewer/>
46. Malhi Y, Baker TR, Phillips OL, Almeida S, Alvarez E, Arroyo L, et al. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. *Glob Chang Biol.* 2004;10: 563–591. doi:10.1111/j.1529-8817.2003.00778.x
47. Chave J, Olivier J, Bongers F, Châtelet P, Forget P-M, van der Meer P, et al. Above-Ground Biomass and Productivity in a Rain Forest of Eastern South American. *J Trop Ecol.* 2008;24: 355–366. doi:https://doi.org/10.1017/S0266467408005075
48. Alvarez E, Duque A, Saldarriaga J, Cabrera K, de las Salas G, del Valle I, et al. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *For Ecol Manage.* 2012;267: 297–308. doi:10.1016/j.foreco.2011.12.013
49. Holdridge L, Grenke W, Hatheway W, Liang T, Tosi J. Forest Environments in Tropical Life Zones: A Plot Study. Pergamon Press Oxford. 1971.
50. Goodman RC, Phillips OL, del Castillo Torres D, Freitas L, Cortese ST, Monteagudo A, et al. Amazon palm biomass and allometry. *For Ecol Manage.* 2013;310: 994–1004. doi:https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.045
51. Ministerio del Ambiente. Evaluación Nacional Forestal. Ecuador. 2014;1: 184. Available: http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluación+Nacional+Forestal_NREFD+1.pdf/955aaa38-34b6-4b4d-9278-8fe915df893f
52. Chave J, Navarrete D, Almeida S, Álvarez E, Aragão LEOC, Bonal D, et al. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences.* 2010;7: 43–55. doi:10.5194/bg-7-43-2010

53. Phillips OL, Baker TR, Arroyo L, Higuchi N, Killeen TJ, Laurance WF, et al. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 2004;359: 381–407. doi:10.1098/rstb.2003.1438
54. Susan GW, William F, Henrique EM, Phillip M, Expedito RG, W SG, et al. Long-term variation in Amazon forest dynamics. *J Veg Sci.* 2009; 323–333.
55. De Toledo JJ, Magnusson WE, Castilho C V., Nascimento HEM. How much variation in tree mortality is predicted by soil and topography in Central Amazonia? *For Ecol Manage.* 2011;262: 331–338. doi:10.1016/j.foreco.2011.03.039
56. Torres B, Vasseur L, López R, Lozano P, García Y, Arteaga Y, et al. Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. *Agrofor Syst.* 2020;94: 1235–1245. doi:https://doi.org/10.1007/s10457-018-00342-8
57. Jadán O, Quizhpe W, Pacheco E, González M, Ponce E, Aguirre Z, et al. Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Bosques Latid Cero.* 2017;7: 1–16.
58. Nascimento HEM, Laurance WF. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: A landscape-scale study. *For Ecol Manage.* 2002;168: 311–321. doi:10.1016/S0378-1127(01)00749-6
59. Fernando Valladares Josep Peñuelas, Romá Ogaya, Jesús Julio Camarero, Leyre Corcuera, Sergio Sisó y Eustaquio Gil-Pelegrín AV. _Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía_. *Ecol del bosque mediterráneo en un mundo cambiante.* 2004; 163–190.