



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

**Contenidos de carbono en áreas de restauración ecológica de la
reserva Numbami, cantón Zamora, provincia de Zamora
Chinchipec**

**Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniero Forestal**

AUTOR:

Brayan David Tigre Naranjo

DIRECTOR:

Ing. Paul Alexander Eguiguren Velepucha, Ph.D.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 30 de marzo de 2023

Ing. Paúl Alexander Eguiguren Velepucha Ph.D.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Contenidos de carbono en áreas de restauración ecológica de la reserva Numbami, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Forestal**, de la autoría del estudiante **Brayan David Tigre Naranjo**, con **cédula de identidad Nro. 1105862864**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



PAUL ALEXANDER
EGUIGUREN VELEPUCHA

Ing. Paúl Alexander Eguiguren Velepucha Ph.D.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Brayan David Tigre Naranjo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1105862864

Fecha: 08 de abril del 2024

Correo electrónico: brayan.tigre@unl.edu.ec

Teléfono: 0989985177

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

Yo, **Brayan David Tigre Naranjo**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Contenidos de carbono en áreas de restauración ecológica de la reserva Numbami, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de abril de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: Brayan David Tigre Naranjo

Cédula de identidad: 1105862864

Dirección: Barrio Colinas de San Jacinto

Correo electrónico: brayan.tigre@unl.edu.ec

Teléfono: 0989985177

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Paul Alexander Eguiguren Velepucha, Ph.D.

Dedicatoria

El presente Trabajo de Integración Curricular lo dedico a toda mi familia, a mi abuela, a mi padre y principalmente a mi madre Wilma Naranjo quien con su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios innumerables ha sido mi inspiración para conseguir este logro, a todos quienes me apoyaron y estuvieron en los momentos buenos y malos, y a todas aquellas personas que me acompañaron a lo largo de mi carrera universitaria.

Brayan David Tigre Naranjo

Agradecimiento

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes, y creer en mí. Mi profundo agradecimiento al Ing. Paul Alexander Eguiguren Velepucha, Ph.D por su guía experta, paciencia interminable y dedicación a mi crecimiento académico. A todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Nacional de Loja, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

Brayan David Tigre Naranjo

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Figuras	lix
Índice de Anexos	x
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	7
4.1. Cambio climático	7
4.2. Causas del cambio climático	8
4.3. Impactos de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas tropicales	9
4.4. Estrategias de mitigación de cambio climático	9
4.5. Restauración ecológica	10
4.5.1. Principios de la restauración ecológica	10
4.5.2. Restauración ecológica activa	11
4.5.3. Restauración ecológica pasiva	11
4.6. El carbono	11
4.7. Ciclo del carbono	12
4.8. Capacidad de almacenamiento de carbono	13

4.9.	Compartimientos de los contenidos de carbono	14
4.9.1.	Carbono en la biomasa aérea.....	14
4.9.2.	Carbono en la madera muerta.....	14
4.9.3.	Carbono en la hojarasca.....	14
4.9.4.	Carbono en el suelo.....	15
4.10.	Métodos para medir carbono	15
5.	Metodología.....	17
5.1.	Área de estudio	17
5.2.	Diseño e instalación de parcelas.....	17
5.3.	Metodología para la estimación del carbono total	18
5.4.	Metodología para determinar el carbono en la biomasa aérea.....	19
5.5.	Metodología para determinar el carbono en la necromasa.....	21
5.5.1.	Madera muerta en pie	21
5.5.2.	Madera muerta caída	21
5.5.3.	Hojarasca.....	22
5.6.	Análisis Estadísticos	23
6.	Resultados.....	24
6.1.	Carbono total almacenado.....	24
6.2.	Especies con mayor aporte de carbono almacenado.....	24
6.3.	Carbono almacenado en biomasa aérea por encima del suelo.....	25
6.4.	Carbono almacenado en necromasa.....	26
7.	Discusión.....	28
8.	Conclusiones.....	31
9.	Recomendaciones.....	32
10.	Bibliografía	33
11.	Anexos	39

Índice de Figuras

Figura 1. Ciclo del carbono. Fuente: Scholes et al., (1996).....	13
Figura 2. Mapa del área de estudio, y ubicación de las parcelas permanentes, en la reserva Numbami, cantón Zamora, provincia Zamora Chinchipe.	17
Figura 3. Diseño de parcelas permanentes para el muestreo de contenidos de carbono en áreas de restauración activa, pasiva y bosque maduro de la reserva Numbami.	18
Figura 4. Medición de alturas. Fuente: Núñez, (2016).....	20
Figura 5. Medición de madera caída.....	22
Figura 6. Diseño de las parcelas de muestreo para la medición de hojarasca	23
Figura 7. Carbono total almacenado en restauración pasiva, activa y bosque maduro en la reserva Numbami.....	24
Figura 8. Especies con mayor cantidad de carbono almacenado en a) restauración activa, b) restauración pasiva y c) bosque maduro en la reserva Numbami.....	25
Figura 9. Carbono almacenado en biomasa aérea por encima del suelo en la reserva Numbami.....	26
Figura 10. a) Carbono almacenado en la hojarasca en la reserva Numbami. b) Carbono almacenado en madera muerta en la reserva Numbami. c) Carbono almacenado en necromasa en la reserva Numbami	27

Índice de Anexos

Anexo 1. Instalación de parcelas de muestreo.....	39
Anexo 2. Medición de DAP de individuos arbóreos	39
Anexo 3. Medición de alturas de individuos arbóreos	39
Anexo 4. Secado e identificación de muestras colectadas.....	40
Anexo 5. Prueba para determinar densidad en madera muerta caída	40
Anexo 6. Recolección de hojarasca en campo.....	41
Anexo 7. Carbono almacenado en la Reserva Numbami o Jamboe	42
Anexo 8. Certificado de traducción	44

1. Título

Contenidos de carbono en áreas de restauración ecológica de la reserva Numbami, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe.

2. Resumen

Los bosques cumplen con un rol importante como fuentes de almacenamiento o sumideros de carbono, ya que fijan CO₂ mediante la fotosíntesis y lo almacenan en su biomasa. Bajo este contexto la reducción de la cobertura forestal puede resultar en la pérdida del CO₂ almacenado, e influencia negativamente en la posibilidad de seguir absorbiendo más carbono. La importancia de implementar estrategias de restauración ecológica para mitigar el cambio climático se ve reflejada en la oportunidad de revertir o detener la degradación a nivel de paisaje, mejorar los servicios ecosistémicos y recuperar la diversidad biológica. Ya sea mediante la intervención humana o que el ecosistema se recupere por sí mismo. La presente investigación tiene el objetivo de cuantificar los contenidos de carbono en la biomasa aérea y necromasa de áreas de restauración pasiva y activa, la cual fue realizada en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Zamora, parroquia Timbara, en la reserva ecológica Numbami, la unidad de muestreo fueron nueve parcelas permanentes de 50 m × 50 m en áreas de restauración activa, restauración pasiva y bosque maduro.

Las áreas de restauración pasiva y activa tienen 10 años de recuperación. En cada una de las parcelas se estimó carbono en biomasa viva por encima del suelo, y carbono en necromasa dividido en madera muerta en pie, muerta en caída y hojarasca. Después de una década de recuperación, las técnicas de restauración pasiva lograron acumular 65,43 toneladas por hectárea de carbono total, en comparación con las 42,49 toneladas por hectárea alcanzadas por la restauración activa. Por otro lado, los niveles de carbono total en el bosque maduro fueron de 138,17 toneladas por hectárea.

Palabras clave: biomasa, necromasa, cambio climático, fijación de carbono.

Abstract

Forests play an important role as sources of carbon storage or sinks, as they fix CO₂ through photosynthesis and store it in their biomass. In this context, the reduction of forest cover can result in the loss of stored CO₂, and negatively influences the possibility of continuing to absorb more carbon. The importance of implementing ecological restoration strategies to mitigate climate change is reflected in the opportunity to reverse or halt degradation at the landscape level, improve ecosystem services and recover biological diversity. Either through human intervention or by the ecosystem recovering itself. The present research has the objective of quantifying the carbon contents in the aerial biomass and necromass of passive and active restoration areas, which was carried out in the province of Zamora Chinchipe, Zamora canton, Timbara parish, in the Numbami ecological reserve, the sampling unit was nine permanent plots of 50 m × 50 m in areas of active restoration, passive restoration and mature forest. The passive and active restoration areas have 10 years of recovery. In each of the plots, carbon was estimated in aboveground live biomass, and carbon in necromass divided into standing dead wood, fallen dead wood and litter. After a decade of recovery, passive restoration techniques were able to accumulate 65.43 tons per hectare of total carbon, compared to 42.49 tons per hectare achieved by active restoration. On the other hand, total carbon levels in the mature forest were 138.17 tons per hectare.

Keywords: biomass, necromass, climate change, carbon sequestration.

3. Introducción

El cambio climático tiene una influencia negativa sobre los ecosistemas y los seres humanos a nivel global y local, y en la actualidad, se ha constituido en uno de los desafíos ambientales más importantes. El cambio climático puede provocar variaciones en los patrones de precipitaciones y aumento de la temperatura, resultando en la pérdida y deterioro de los hábitats, pérdida de biodiversidad, e incluso influenciando en la dinámica de los ecosistemas tropicales (Moya et al., 2005). Diversos estudios sugieren que el cambio climático puede provocar la reducción significativa del crecimiento de los árboles y el aumento en las tasas de mortalidad de las especies de árboles más sensibles a la temperatura o la sequía (Arribas et al., 2012).

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en las últimas décadas se ha registrado un incremento considerable en los niveles de los gases de efecto invernadero que atrapan el calor en la atmósfera. Desde 1990 ha habido un incremento del 43% del forzamiento radiactivo total que tiene un efecto de calentamiento del clima provocado por los gases de efecto invernadero de larga duración. Según las cifras proporcionadas por la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) de los Estados Unidos de América, el CO₂ contribuyó en casi un 80% a ese incremento (OMM, 2019).

Dentro de los gases de efecto invernadero uno de los más influyentes dentro de cambio climático es el CO₂, este gas permanece en la atmósfera durante siglos y aún más tiempo en los océanos. Según el Boletín de la OMM sobre los Gases de Efecto Invernadero, en 2021 la concentración promedio mundial de CO₂, llegó a 415,7 partes por millón (ppm). El incremento de CO₂ de 2020 a 2021 fue equivalente al registrado de 2019 a 2020, pero excedió la tasa de aumento anual promedio del último decenio (OMM, 2023).

Al cambio climático se suma la deforestación y degradación de los bosques que se consideran unas de las principales causas de la pérdida de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos. Donde el 96% es ocasionada por la eliminación permanente de la cubierta forestal causada por el ser humano (Global Forest Review, 2022). La deforestación es considerada una fuente importante de liberación de carbono, pues al retirar la cobertura vegetal el carbono retenido se pierde. En el 2021 los trópicos perdieron 11,1 millones de hectáreas de cubierta arbórea de las cuales 3,75 millones de hectáreas de pérdida se produjeron dentro de las selvas tropicales primarias, que son áreas de importancia clave para el almacenamiento de carbono y la biodiversidad. La pérdida de bosques primarios tropicales en 2021 resultó en 2,5

Gt de emisiones de dióxido de carbono. Según datos de Global Forest Watch, desde 2002 hasta 2021, se ha producido una pérdida de 58,8 millones de hectáreas de cubierta arbórea en los bosques tropicales (Kissinger et al., 2012).

El Ecuador muestra una tendencia de pérdida de bosques similar a los trópicos, presentando una tasa de deforestación bruta de 94 mil hectáreas por año y una tasa de deforestación neta de 61 mil hectáreas por año durante el periodo 2014 - 2016, siendo las provincias con mayores tasas de desforestación Esmeraldas, Manabí, Morona Santiago, Sucumbíos y Zamora Chinchipe (MAATE, 2017).

A nivel global y en el Ecuador se han planteado diferentes estrategias para contrarrestar los efectos de la deforestación, la degradación y el cambio climático. Una alternativa de contrarrestar el efecto del cambio climático y la deforestación es proteger los sumideros de carbono existentes. En la actualidad existen diversas estrategias para la conservación de los ecosistemas como por ejemplo el establecimiento de áreas protegidas o en el caso de Ecuador el programa Socio Bosque, orientados a la conservación de los ecosistemas y que contribuyan al desarrollo sustentable del paisaje donde se encuentran (Sierra, 2013).

Los esfuerzos para mantener la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, mediante las estrategias de conservación implementadas no son suficientes. En ese sentido los procesos de deforestación y de degradación de los recursos naturales generan la necesidad de recuperar los servicios ecosistémicos mediante estrategias de restauración ecológica. Debido a esto en las últimas décadas diferentes estrategias de restauración ecológica se han desarrollado a nivel global (Desafío de Bonn, La iniciativa 20 × 20) y Ecuador (Plan Nacional de Restauración del Paisaje), contribuyendo a la reducción en las tasas de deforestación y la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂ (Sánchez et al., 2019).

Pese a esto, todavía la degradación de los bosques por efecto de la sobre explotación forestal, los incendios forestales; y la deforestación sigue siendo una problemática ambiental importante (Budiharta et al., 2014; Kissinger et al., 2012). En este sentido se considera que la restauración ecológica es una alternativa de asistencia del ser humano a la naturaleza para contrarrestar de alguna manera los efectos negativos que se han ido acumulando a través del tiempo (Linding, 2011).

Bajo este contexto, la estimación de los contenidos de carbono en áreas de restauración pasiva y activa es una acción relevante para generar insumos científicos sobre los procesos de mitigación del cambio climático. A nivel global, se han puesto en marcha iniciativas para

contrarrestar el calentamiento global, como las negociaciones sobre créditos de carbono. Para implementar estas estrategias en proyectos forestales, es esencial llevar a cabo mediciones y seguimientos a largo plazo del carbono almacenado tanto en la biomasa aérea como en la necromasa. (Pardos, 2010).

Esta investigación tiene como objetivo el contribuir con conocimiento científico sobre la cantidad de carbono almacenado en la reserva Numbami y de las estrategias de restauración activa y pasiva. Los objetivos planteados en la presente investigación fueron:

Objetivo General:

- Contribuir al conocimiento científico sobre la cuantificación de contenidos de carbono en áreas de restauración ecológica del bosque siempreverde piemontano del sur de la cordillera oriental de los andes como una alternativa para la mitigación del cambio climático.

Objetivos Específicos:

- Cuantificar los contenidos de carbono en la biomasa aérea de áreas de restauración pasiva y activa del bosque siempreverde piemontano del sur de la cordillera oriental de los andes.
- Estimar los contenidos de carbono en la necromasa de áreas de restauración pasiva y activa del bosque siempreverde piemontano del sur de la cordillera oriental de los andes.

4. Marco Teórico

4.1. Cambio climático

El termino cambio climático se define como una modificación a largo plazo (generalmente medida en décadas o periodos más extensos) de las temperaturas y otras características climáticas, así como del estado general del clima, derivado de alteraciones en el valor promedio y en la variabilidad de sus propiedades, como la temperatura, humedad y precipitaciones. Este cambio climático se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana, que modifica la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante intervalos de tiempo comparables (Sarmad, 2018).

Desde 1800 las actividades antrópicas son el principal impulsor del cambio climático, estas acciones están principalmente relacionadas al aprovechamiento de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural. El cambio climático puede influenciar el desarrollo humano, ya que los modelos climáticos actuales predicen un calentamiento mundial de cerca de 1,4 a 5,8 °C entre 1990 y 2100. Estas proyecciones que se basan en un conjunto de hipótesis acerca de las principales fuerzas que dirigen las emisiones futuras; tales como el crecimiento poblacional y el cambio tecnológico, pero no parten de la base de que hay que aplicar políticas sobre cambio climático para reducir las emisiones (IPCC, 2014).

El cambio climático constituye la principal preocupación para la salud global en el siglo XXI, afectando a la población a través de impactos directos, como olas de calor, sequías, tormentas intensas y elevación del nivel del mar, así como impactos indirectos, como enfermedades respiratorias y transmitidas por vectores, inseguridad alimentaria y hídrica, desnutrición y desplazamientos forzados (OPS, 2017).

El cambio climático genera impactos sobre la biodiversidad de forma directa, a través del aumento en la temperatura que alarga el periodo de actividad en las plantas, incrementando su productividad, pero que en exceso provoca la reducción de las disponibilidades hídricas. De forma indirecta el calentamiento global produce cambios edáficos que afectan la capacidad de distribución de las especies, la acumulación de necromasa vegetal combustible producto de la disminución potencial de agua en el suelo, fomenta la incidencia y propagación de incendios, incrementando las emisiones de CO₂ en la atmósfera. El cambio de uso de la tierra, que suele ser motivado por el abandono rural y por la intensificación en las explotaciones, provoca una disminución o pérdida de la cobertura vegetal que a su vez limita el almacenamiento de contenidos de carbono (Fernández, 2005; Gutiérrez, 2016).

Los ecosistemas naturales proveen una serie de servicios ecosistémicos vitales para la supervivencia del mismo ecosistema, pero también para las comunidades locales, regionales, nacionales e internacionales. Los servicios ecosistémicos se clasifican en cuatro grandes grupos: servicios de soporte, de provisión, de regulación y culturales. El cambio climático que genera variación en los patrones de precipitación, temperatura y aridez que a su vez influyen sobre los servicios ecosistémicos, que generan bienestar e ingresos, y se ven afectados por las externalidades ambientales, que limitan su rendimiento (Moreno et al., 2019).

4.2. Causas del cambio climático

Los factores que exacerbaban el cambio climático son los cambios de temperatura media de la tierra, la quema de combustibles fósiles y el cambio del uso del suelo, que resulta en la liberación del carbono almacenado en los árboles agravando el efecto invernadero. A esto se suma la ganadería, donde los ovinos y bovinos producen una gran cantidad de metano durante la digestión. Los fertilizantes que incluyen nitrógeno generan emisiones de óxido nitroso, asimismo, los gases fluorados liberados por los dispositivos y productos que emplean estos compuestos tienen un impacto de calentamiento considerable, llegando a ser hasta 23 000 veces más potente que el generado por el CO₂. (IPCC, 2013).

Las principales emisiones de gases de efecto invernadero GEI provenientes de las actividades humanas a nivel mundial incluyen dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). A nivel global, el principal factor que contribuye al aumento de estas emisiones son las actividades relacionadas con el sector energético, representando el 26% del total de emisiones, seguido por el sector industrial (19%), forestal (17%), agrícola (14%), residencial y comercial (8%), y gestión de residuos (3%) (IPCC, 2013).

El análisis de las razones detrás del cambio climático considera que los gases de efecto invernadero GEI como causantes de una secuencia de eventos que se inicia con su emisión, seguido por el aumento de su concentración en la atmósfera, generando un forzamiento radiativo, y culminando en consecuencias observables en forma de respuestas climáticas, afectando tanto a diversos ecosistemas naturales como gestionados, así como a la salud humana. Las actividades humanas son responsables de la emisión de cuatro GEI de larga duración: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y halocarbonos, los modelos indican que el dióxido de carbono representa el 56,5% de estas emisiones (Diaz, 2012).

4.3. Impactos de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas tropicales

Una actividad antrópica es cualquier tipo intervención humana sobre la naturaleza que beneficia o afecta los ecosistemas. En cuanto a las afectaciones de las actividades antrópicas en los ecosistemas tropicales, se identifican, entre otras, el cambio del uso del suelo a sistemas agrícolas y ganaderos, la explotación incontrolada en zonas mineras, el crecimiento urbanístico, vertimiento de aguas residuales, contaminación hídrica, este tipo de afectaciones antrópicas han contribuido notablemente en la pérdida de ecosistemas (Ojeda, et al. 2017).

La deforestación tropical y el cambio climático son problemas intrincadamente conectados, la deforestación acelera el cambio climático y reduce su capacidad para eliminar el carbono de la atmósfera. Reducir las emisiones de la deforestación tropical es esencial en cualquier estrategia para frenar el cambio climático. Es crucial disminuir las emisiones provenientes de la deforestación tropical como parte integral de cualquier estrategia destinada a mitigar el cambio climático. La devastación de los bosques no solo los vuelve más propensos a los incendios naturales, sino que también los hace más vulnerables al exponerlos a condiciones que facilitan la iniciación de incendios, como la disminución de la humedad debido a la pérdida de cobertura vegetal, la mayor exposición a los rayos solares, vientos y concentraciones lumínicas (Godar, et al. 2012).

La agricultura y la ganadería alteran la estructura y el funcionamiento de los bosques; los campos de cultivo y los pastizales destinados al ganado son ecosistemas caracterizados por una baja diversidad y abundancia de plantas. Además, presentan una vegetación sencilla que contribuye al aumento de la temperatura del suelo y del aire, al mismo tiempo que reduce la humedad del suelo. Estos cambios afectan la capacidad del suelo para retener agua, aumentan la pérdida de nutrientes debido a la erosión y en general disminuyen la capacidad de regeneración y recuperación de los bosques, todos ellos provocados por las actividades agrícolas y ganaderas (Arriaga, 2006).

4.4. Estrategias de mitigación de cambio climático

Existen dos estrategias para hacer frente al cambio climático, i) la mitigación que tiene por objetivo remover o minimizar las emisiones generadas a la atmósfera, ii) la adaptación que consiste en acciones que contribuyen a mejorar las capacidades humanas, técnicas y tecnológicas para enfrentar, ajustarse y estar preparados ante los cambios generados en el clima (Pramova et al., 2015).

El cambio climático afecta no sólo al medioambiente sino también a nuestro bienestar, por lo cual, es importante establecer estrategias de mitigación del cambio climático para garantizar el bienestar a largo plazo de la humanidad y la biosfera. Las estrategias de mitigación del cambio climático contribuyen a los procesos para hacer frente al cambio climático y la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, al mismo tiempo, mantener un alto ritmo de crecimiento económico que sea consistente con un desarrollo sostenible (CEPAL, 2017).

4.5. Restauración ecológica

La restauración ecológica implica la aplicación organizada de técnicas y estrategias diseñadas para iniciar o acelerar, de manera asistida, la recuperación o sucesión natural de un ecosistema que haya sufrido degradación, daño, transformación o destrucción parcial o total debido a causas naturales o humanas. Este proceso requiere una evaluación de los factores ecológicos y físicos que definen los límites de la composición, estructura y función del ecosistema degradado. Con base en esta evaluación, las estrategias de restauración deben centrarse en la recuperación de los elementos fundamentales de la estructura, función y composición de especies del ecosistema (SER, 2014).

La importancia de implementar estrategias de restauración ecológica para mitigar el cambio climático se ve reflejada en la oportunidad de revertir o detener la degradación a nivel de paisaje, mejorar los servicios ecosistémicos y recuperar la diversidad biológica. A medida que se degradan los ecosistemas y especies, se pierden los beneficios generados para los seres humanos y la naturaleza que incluso afectan desde una perspectiva económica (Vargas, 2011).

4.5.1. Principios de la restauración ecológica

Para lograr éxito en la implementación de la restauración ecológica, debe ser eficaz, asegurando el establecimiento y mantenimiento de los recursos del ecosistema, tanto naturales como culturales, vinculados a las áreas de interés ecológico y relacionados con la estructura y función de los ecosistemas. Asimismo, la restauración ecológica debe ser eficiente, buscando maximizar los beneficios positivos mientras minimiza el tiempo y los recursos humanos y económicos requeridos. Es crucial aplicar la restauración ecológica de manera temprana para prevenir o reducir la degradación del paisaje antes de que alcance niveles severos, lo que conlleva costos y tiempos mayores.

Además, la restauración ecológica debe promover la colaboración con actores claves y partes interesadas que promueven la participación y mejoran dichos procesos de restauración.

El apoyo y la colaboración de los grupos interesados constituyen una base sólida para una restauración ecológica exitosa, especialmente cuando en las áreas de interés se encuentran pueblos y comunidades residentes de la localidad. La restauración ecológica genera múltiples beneficios, por ejemplo, con la adaptación y mitigación del cambio climático, la renovación y sobrevivencia cultural y el bienestar socioeconómico. (Keenleyside et. al. 2012; SER, 2016).

4.5.2. Restauración ecológica activa

La restauración activa implica la intervención directa del ser humano en la estructura y características de un ecosistema degradado, con el propósito de reemplazarlo, rehabilitarlo o restaurarlo, asegurando la presencia de un ecosistema organizado y funcional. Esto se logra mediante la introducción de especies vegetales nativas utilizando material vegetativo procedente del bosque natural. Este enfoque se emplea comúnmente en áreas que han experimentado explotación forestal, en zonas secas y en ecosistemas alterados, como pastizales abandonados o áreas con baja resiliencia, donde la intervención humana es necesaria para restaurar el paisaje y fomentar la conectividad entre distintos parches de vegetación natural (Almeida et al., 2013).

4.5.3. Restauración ecológica pasiva

La restauración ecológica pasiva tiene como objetivo mejorar los servicios ecosistémicos al proteger los procesos naturales de sucesión ecológica en áreas como pastizales abandonados, bosques secundarios y bosques en recuperación. Su enfoque se centra en reducir o eliminar las perturbaciones que causan la degradación, permitiendo que el propio ecosistema degradado recupere por sí mismo su estructura, composición y funcionalidad. La restauración pasiva debería considerarse como la primera opción, ya que sus resultados pueden ser equiparables o incluso superiores a los de la restauración activa (Mola et al., 2018).

4.6. El carbono

El carbono está en constante circulación entre la materia muerta y la viva; las plantas verdes fijan el carbono de la atmósfera que pasa a formar parte de su biomasa. Aunque el ciclo del carbono es complejo, en esencia consiste en la captura del carbono atmosférico por medio de la fotosíntesis de las plantas y su posterior emisión durante la respiración. El carbono se encuentra en un flujo continuo entre la materia orgánica en descomposición y la que está viva; las plantas verdes absorben el carbono atmosférico para incorporarlo a su biomasa (Montero et al., 2005).

El dióxido de carbono existe en gran porcentaje en la atmósfera, los océanos y los combustibles fósiles (carbón, petróleo y otros hidrocarburos). El carbono está en constante circulación entre la materia muerta y viva. Su tiempo de permanencia se reduce cuando es menor cuanto menor es el depósito de carbono y cuanto mayor es el flujo de intercambio entre los distintos depósitos. No obstante, el período de retención en flores, frutos y raíces varía de menos de un año, aproximadamente cincuenta años en la madera, y puede llegar hasta miles de años en la materia orgánica del suelo. En los árboles se encuentra en grandes cantidades de carbono en las hojas, ramas ramos y raíces, además la biomasa de un árbol vivo contiene aproximadamente 25 % de carbono (Lapeyre, 2004).

4.7. Ciclo del carbono

El ciclo del carbono constituye una parte esencial del sistema climático, regulando la acumulación de dióxido de carbono (CO₂) en respuesta a las emisiones generadas por actividades humanas. Es crucial simular de manera precisa procesos clave como la fotosíntesis y la respiración en la tierra, así como el intercambio neto de CO₂ entre el océano y la atmósfera. Dado que el CO₂ es químicamente inerte en la atmósfera y su concentración es relativamente constante, las variaciones naturales en la concentración de CO₂ atmosférico dependen principalmente de la suma de la fotosíntesis, la respiración y los flujos de aire y mar (IPCC, 2014).

El ciclo del carbono es la secuencia de cambios que experimenta el carbono a lo largo de un período de tiempo. (Figura 1). Se trata de un ciclo biogeoquímico crucial para la regulación del clima terrestre y está relacionado con actividades fundamentales para el mantenimiento de la vida. Este proceso comienza con la absorción de carbono orgánico por parte de las plantas a través de la fotosíntesis, incorporando el carbono generado por emisiones industriales, residuos orgánicos y la respiración de los animales. Posteriormente, se descompone y retorna al ciclo (Rügnitz et al., 2009).

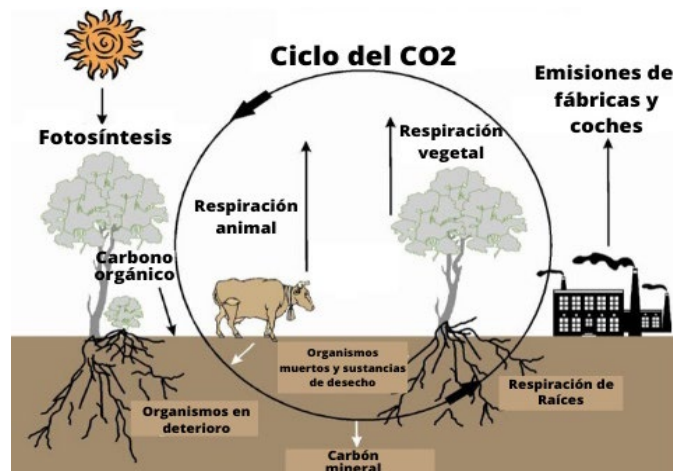


Figura 1. Ciclo del carbono. Fuente: Scholes et al., (1996).

4.8. Capacidad de almacenamiento de carbono

La capacidad de retención de carbono difiere entre distintos bosques, principalmente debido a la influencia de factores como temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índices de crecimiento y edad. Por esta razón, se considera como una opción para mitigar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por actividades humanas. La habilidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía según la composición florística, la edad y la densidad de la población en cada estrato de la comunidad vegetal (Apolinario y Cárdenas, 2015).

Los bosques actúan como sumideros de carbono al absorber el carbono atmosférico a través de la fotosíntesis y lo incorporan a su estructura. De esta manera, se logra almacenar carbono que, de lo contrario, permanecería en forma libre en la atmósfera. Además, el carbono orgánico presente en las plantas es más estable en comparación con el carbono que se encuentra en estado gaseoso (Sperow, 2016).

La cantidad de carbono presente en un ecosistema forestal, acumulado en su suelo y vegetación, difiere según el tipo de bosque y el ecosistema en cuestión. En regiones con latitudes elevadas y climas fríos, la descomposición de la materia orgánica es más lenta. Por ejemplo, en bosques boreales, alrededor del 80 al 90% del carbono se encuentra en el suelo. En contraste, en bosques tropicales, donde las temperaturas aceleran la descomposición, el carbono se distribuye de manera equitativa entre el suelo y la vegetación (Pardos, 2010).

4.9. Compartimientos de los contenidos de carbono

4.9.1. Carbono en la biomasa aérea

La biomasa sobre el suelo representa la reserva de carbono más importante y visible, y la reserva de carbono dominante en bosques y plantaciones, también es el compartimento más desarrollado en comparación con otras reservas de carbono. Consiste en toda la biomasa de la vegetación viva, tanto leñosa como herbácea, por encima del suelo, incluyendo tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje (Montero et al., 2005).

También, se contempla la biomasa subterránea, que abarca las raíces vivas, especialmente las finas con un diámetro mínimo de menos de 2 mm, a veces se excluyen debido a que no se pueden distinguir de manera clara de la materia orgánica presente en el suelo. Las raíces desempeñan una función fundamental en el ciclo del carbono al transferir cantidades significativas de carbono al suelo, donde puede ser almacenado por períodos relativamente extensos (Manson, 2008).

4.9.2. Carbono en la madera muerta

Se refiere a la biomasa leñosa no viva que no se encuentra en la capa de hojarasca. La madera muerta abarca aquella que está en la superficie, las raíces fallecidas y los tocones con un diámetro igual o superior a 10 cm. A pesar de no constituir una reserva principal de carbono, ya que representa aproximadamente el 6% del total en bosques y otras áreas arboladas, engloba árboles muertos naturalmente, tanto en posición vertical como caídos, así como aquellos que perecen debido a plagas, daños causados por el viento y acciones humanas, excluyendo la hojarasca (Manson, 2008).

4.9.3. Carbono en la hojarasca

Comprende la capa de restos orgánicos, el material vegetal muerto caído o retirado y las partes de plantas que no están unidas a las mismas se considera como hojarasca, la acumulación de hojarasca es un proceso natural en el que las partes leñosas y no leñosas de los árboles y arbustos se secan y caen al suelo, el proceso también forma parte del proceso general de renovación de la biomasa forestal. La hojarasca no es una reserva importante de carbono porque suele representar entre el 6 al 8 % de la biomasa vegetal (Dicken, 1997).

Se establece un tamaño superior al límite de la materia orgánica del suelo que suele ser de 2 mm y menor que el diámetro mínimo elegido para la madera muerta y en varios estados de descomposición por encima o dentro del suelo orgánico. Esto incluye la capa de hojarasca tal y como se define habitualmente en las tipologías de suelo, las raíces finas vivas y muertas por

encima del suelo se incluyen siempre que no puedan distinguirse empíricamente de la hojarasca (Manson, 2008).

4.9.4. *Carbono en el suelo*

El carbono orgánico en los suelos minerales se define como la materia orgánica del suelo hasta una profundidad especificada, comprende partículas que no son raíces o fragmentos de plantas vivos, a medida que la materia orgánica muerta se fragmenta y descompone se transforma en materia orgánica del suelo, las raíces finas vivas y muertas dentro del suelo de menos del mínimo sugerido para la biomasa subterránea se incluyen siempre que no puedan distinguirse de la materia orgánica del suelo (Dicken,1997).

Incluye una amplia variedad de materiales que difieren mucho en su tiempo de permanencia en el suelo, algunos de ellos son fácilmente descompuestos por los organismos microbianos que devuelven el carbono a la atmósfera, pero parte del carbono orgánico del suelo y se convierte en compuestos recalcitrantes que se descomponen lentamente y pueden permanecer en el suelo durante décadas o incluso siglos (Dicken,1997).

4.10. *Métodos para medir carbono*

Existen dos tipos de métodos a emplear el método directo e indirecto. El método directo o destructivo consiste en cosechar la biomasa de todos los árboles en un área conocida, secarla y pesarla, para lo cual se debe de cortar el árbol, posteriormente se separan cada una de las partes (fuste, ramas vivas, ramas muertas, hojas, raíz) y cada uno de estos componentes son pesados en el propio campo (Montero et al., 2005).

Con respecto al método indirecto los árboles no deberán ser cortados, pero sin embargo se requiere de la medición de ciertas variables como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la densidad de madera y/o la altura total de toda la vegetación leñosa, esta metodología nos permite hacer estimaciones indirectas de la biomasa usando ecuaciones alométricas, que describen en una línea curva la relación entre la biomasa y el diámetro o la altura de la planta (Honorio y Baker 2010).

Medir el diámetro de los árboles es una tarea relativamente sencilla en el campo y proporciona una buena estimación de la biomasa. Sin embargo, al comparar el almacenamiento de carbono entre distintos lugares o tipos de bosques, es imprescindible tener en cuenta otras variables como la altura de los árboles y la densidad de la madera. Es importante destacar que la variable que mejor estima la biomasa en los individuos arbóreos no siempre es la misma (Honorio y Baker 2010).

En el contexto de investigaciones sobre el ciclo del carbono, se recomienda crear, como mínimo, una ecuación para cada tipo de bosque que establezca una relación entre la altura y el diámetro de los árboles. Para construir dicha ecuación, es necesario representar de manera justa la variabilidad en el tamaño de los individuos que componen el bosque (Honorio y Baker 2010).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en la Reserva Numbami o Jamboe, perteneciente a la parroquia Timbara, ubicada en el cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe. La Reserva Numbami tiene una superficie de 1 000 ha, y una elevación promedio de 1 300 m.s.n.m. Mantiene un clima perhúmedo casi todo el año, con 2 200 mm anuales y una corta temporada seca entre octubre y noviembre (NCI, 2011).

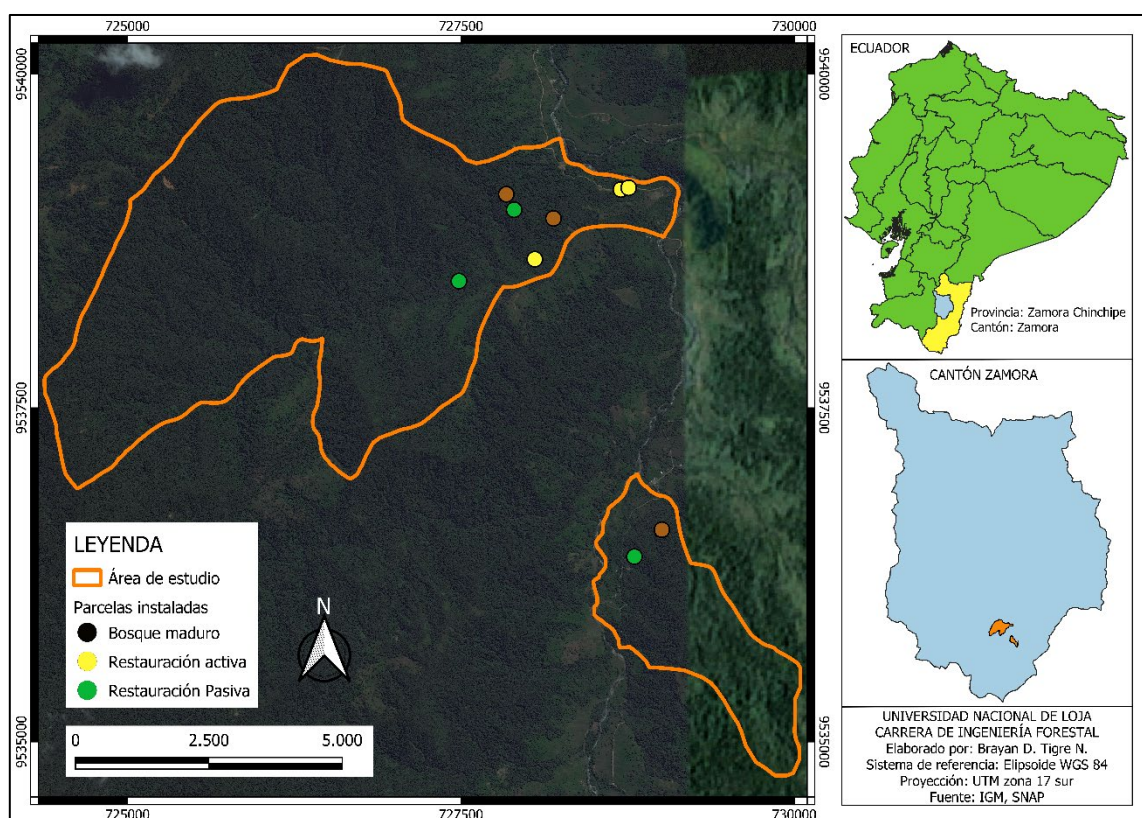


Figura 2. Mapa del área de estudio, y ubicación de las parcelas permanentes, en la reserva Numbami, cantón Zamora, provincia Zamora Chinchipe.

5.2. Diseño e instalación de parcelas

Se realizó la instalación de nueve parcelas permanentes de 50×50 m, para la estimación de contenidos de carbono, en áreas de restauración activa (tres parcelas), restauración pasiva (tres parcelas) y bosque maduro (referencia) que no ha presentado intervención conocida por más 20 años (tres parcelas) con disturbios naturales que han influenciado en su dinámica en los últimos 5 años.

Las parcelas permanentes (50 × 50 m) fueron instaladas al azar dentro de las áreas de restauración activa, pasiva y bosque maduro, y fueron subdivididas en subparcelas de 25 × 25 m (Figura 3). Las parcelas se delimitaron con tubos de PVC en los vértices y en el centro de la parcela, con el objetivo de facilitar la medición de individuos arbóreos, además fueron enumeradas en sentido de las manecillas del reloj.

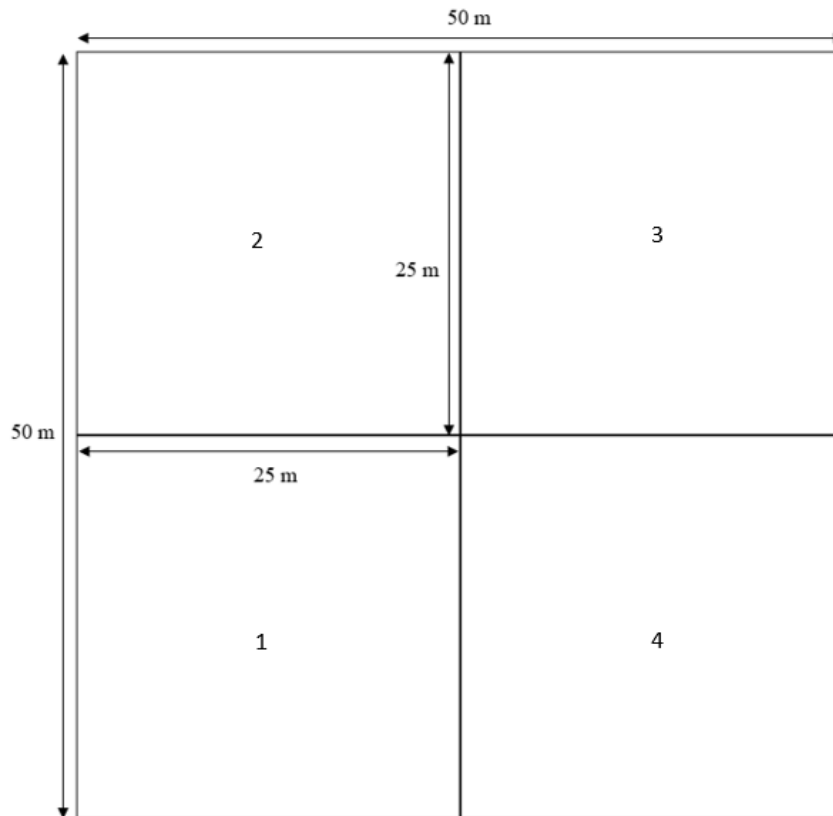


Figura 3. Diseño de parcelas permanentes para el muestreo de contenidos de carbono en áreas de restauración activa, pasiva y bosque maduro de la reserva Numbami.

5.3. Metodología para la estimación del carbono total

Para determinar el contenido de carbono total, se estimó el carbono almacenado en la biomasa aérea por encima del suelo, madera muerta en pie, madera muerta caída y contenido de carbono en hojarasca.

$$CT = CBA + CMMP + CMMC + CH$$

Donde:

CT: Carbono total

CBA: Carbono en la biomasa aérea

CMMP: Carbono en la madera muerta en pie

CMMC: Carbono en la madera muerta en caída

CH: Carbono en la hojarasca

5.4. Metodología para determinar el carbono en la biomasa aérea

Para la estimación de contenidos de carbono, primero se estimó la biomasa de cada uno de los individuos. Para esto se utilizó la ecuación de Chave et al. (2014) (Ec. 1) considerando el DAP, la altura de los árboles y la densidad de madera. Para reconocer los contenidos de carbono de la biomasa viva por encima del suelo, la biomasa de cada individuo fue multiplicada por un factor de conversión de 0,47 sugerido por la IPCC (2013).

Ec. 1

$$AGB_{est} = 0,0673 \times (pD^2H)^{0.976}$$

Donde:

D: DAP está en cm

H: Altura está en m

p: Densidad está en g/cm³

En las parcelas de restauración pasiva y activa se midió todos los individuos superiores a 5 cm de DAP, en las parcelas de bosque maduro se midió todos los individuos superiores a 10 cm de DAP, en estos bosques también se instalaron subparcelas de 10 × 10 m para donde se midieron los individuos de 5 a 10 cm de DAP. Cada uno de estos individuos fue etiquetado para facilitar su identificación en futuros monitoreos. Las variables medidas en cada parcela y para cada árbol fueron DAP y altura total. Se identificaron las especies in situ, en el caso de aquellas especies que no se pudieron identificar en campo, se colectaron muestra fértiles, que fueron llevadas para su respectiva identificación al Herbario “Reinaldo Espinosa” – LOJA, de la Universidad Nacional de Loja (Anexo 1).

Para determinar la densidad de madera de cada una de las especies identificadas en el área de muestreo, se utilizó información secundaria de la base de datos global de Zanne et al., (2009). En el caso de no encontrar la densidad de madera para una especie dentro de la base de datos, se calculó un promedio del género de la especie, mientras que si no existía información de densidad de madera a nivel de género se utilizó la familia, o promedio a nivel de parcela.

Finalmente, para estimar las alturas de los individuos dentro de cada parcela, se utilizó un hipsómetro Vertex, con el cual se midieron 2944 árboles anteriormente identificados (Figura 4), Anexo 2. Para aquellos árboles que no se pudo medir su altura, se generaron tres ecuaciones

alométricas para la restauración activa (Ec. 2), restauración pasiva (Ec. 3) y bosque maduro (Ec. 4), con ellas se reconstruyeron los datos de los árboles faltantes.

$$\text{Ec. 2} \quad R^2 = 0,56$$
$$H = -1,10 + (4,91 \times \ln \text{DAP})$$

Donde:

D: DAP

H: Altura

ln: Logaritmo natural

$$\text{Ec. 3} \quad R^2 = 0,68$$
$$H = -0,75 + (4,41 \times \ln \text{DAP})$$

Donde:

D: DAP

H: Altura

ln: Logaritmo natural

$$\text{Ec. 4} \quad R^2 = 0,68$$
$$H = \exp 0,98 + (4,49 \times \ln \text{DAP})$$

Donde:

D: DAP

H: Altura

ln: Logaritmo natural

exp: Valor exponencial

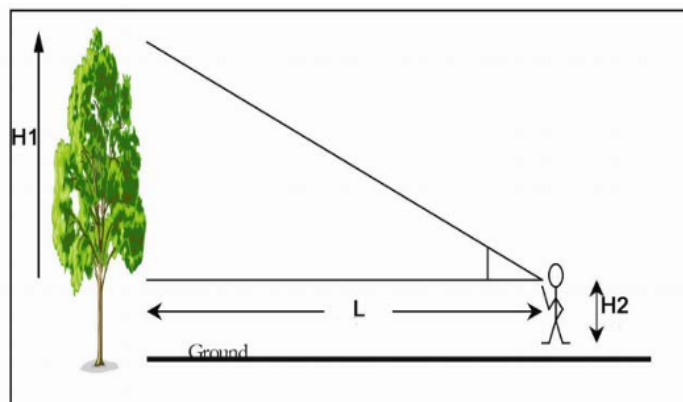


Figura 4. Medición de alturas. Fuente: Núñez, (2016)

5.5. Metodología para determinar el carbono en la necromasa

5.5.1. Madera muerta en pie

La madera muerta en pie incluyó los árboles a partir de 5 cm de DAP en las parcelas de restauración activa y pasiva y bosque maduro, que se encuentran muertos, pero que aún no han caído al suelo y, por tanto, forman parte de la vegetación. Se midió el DAP y la altura de cada individuo muerto en pie dentro de cada parcela permanente, para estimar el volumen primero se estimó el diámetro menor mediante la ecuación de Chamber et al. (2000) (Ec. 5), luego se calculó el volumen con la ecuación que sugiere la FAO, (1981) (Ec. 6), por último, se estimó la biomasa de la madera muerta en pie con la ecuación de Pearson et al., (2005), Ravindranath y Ostwald (2008) (Ec. 7), la densidad de madera usada en este caso fue de 0,5 g/cm³. Obtenida la biomasa de cada individuo, se usó el factor de conversión de 0,47 sugerido por la IPCC (2013).

Ec. 5

$$d_h = 1,59 \times D \times h^{-0.091}$$

Donde:

D: DAP está en m

H: Altura está en m

Ec. 6

$$V = \frac{\pi}{4} \times \frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \times l$$

Donde:

D: DAP está en m

Ec. 7

$$DW_{biomass} = V \times p$$

V: Volumen está en m³

p: Densidad está en kg/m³

5.5.2. Madera muerta caída

Se midieron todos los árboles caídos dentro de la parcela de 50 × 50m, para cada uno de los árboles a partir de un diámetro mayor a 10 cm. Se midió su diámetro mayor, diámetro menor

y su longitud (Figura 5), un trozo de madera muerta sólo se midió si, más del 50 % del tronco está por encima del suelo, si el tronco estaba hueco en el punto de intersección, se midió el diámetro del hueco y se excluyó la parte hueca en las estimaciones de volumen (Pearson et al., 2005; Ravindranath y Ostwald, 2008).

Para conocer el estado de descomposición, se utilizó el método del machete, asignando a cada pieza de madera muerta a una de tres clases de densidad: sólida, intermedia o podrida. Cada pieza medida del árbol caído debe ser golpeada en el centro del tronco con la parte posterior del machete, si la hoja no se hunde en la pieza, es decir, rebota se clasifica como sana, y se la considera como densidad sólida otorgándole un valor de $0,45 \text{ g/cm}^3$. En el caso que, con la prueba del machete, se hunde parcialmente en la pieza y ha habido alguna pérdida de madera, se clasifica como intermedia dándole un valor de $0,34 \text{ g/cm}^3$. Mientras que, si la hoja se hunde en la pieza, hay una pérdida de madera más extensa y la pieza está desmenuzada, se clasifica como podrida y se le asigna un valor de $0,25 \text{ g/cm}^3$ (Pearson et al., 2005; Ravindranath y Ostwald, 2008; Eguiguren et al., 2019).

En la fase de oficina se determinó el volumen con la ecuación que sugiere la FAO, (1981) (Ec. 6). Para luego calcular la densidad de la madera muerta sobre el suelo con la ecuación de Pearson et al. (2005), Ravindranath y Ostwald (2008) (Ec. 7).

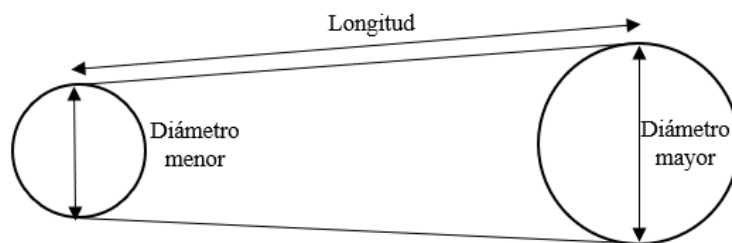


Figura 5. Medición de madera caída

5.5.3. Hojarasca

En las áreas de restauración activa, pasiva y en bosque maduro, se establecieron cuatro subparcelas de hojarasca de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (Anexo 3). Para estimar la hojarasca se recogió las ramas muertas con un diámetro menor a 10 cm y restos vegetales sobre la superficie. (Figura 6). Se recogió toda la hojarasca dentro de la subparcela, utilizando una tijera para cortar los trozos que caen en el borde del marco de la subparcela, y se colocó toda la hojarasca en una funda plástica, se pesó la muestra *in situ*, y se tomó una submuestra de 300 g para determinación del contenido de humedad, a partir de la cual se calculó la masa seca total. Se secó cada muestra en el Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja hasta obtener peso

constante a 70 °C, la temperatura de secado es relativamente baja para minimizar la pérdida de compuestos orgánicos volátiles (Pearson, et al. 2005).

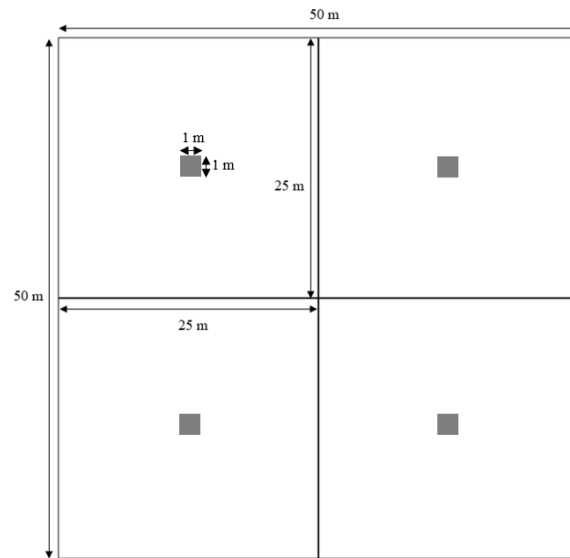


Figura 6. Diseño de las parcelas de muestreo para la medición de hojarasca

5.6. Análisis Estadísticos

Se ejecuto análisis de varianza (ANOVA) con modelos lineales mixtos, este análisis permitió hacer una comparación ente la cantidad de carbono almacenado en las áreas de restauración activa, pasiva y bosque maduro. Además, se realizó el test de Shapiro-Wilks para comprobar el supuesto de normalidad y la prueba de Levene para determinar el supuesto de homocedasticidad, mediante el programa InfoStat.

6. Resultados

6.1. Carbono total almacenado

Los análisis estadísticos del carbono total almacenado reflejaron que no existieron diferencias estadísticas entre la restauración activa y pasiva, pero si se encontró diferencias estadísticas entre las áreas de restauración frente al bosque maduro. En áreas de bosque maduro se registró un total de 138,17 t/ha de carbono almacenado; Mientras que en áreas de restauración pasiva se encontraron 65,43 t/ha y en áreas de restauración activa 42,49 t/ha (Figura 7), (Anexo 4).

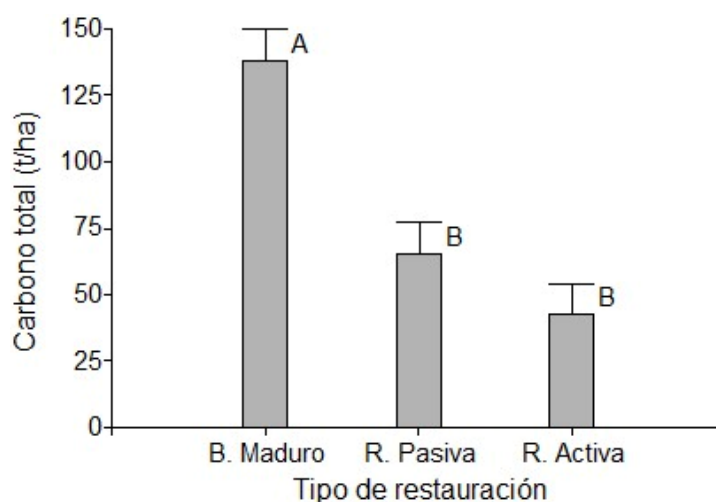


Figura 7. Carbono total almacenado en restauración pasiva, activa y bosque maduro en la reserva Numbami

6.2. Especies con mayor aporte de carbono almacenado

Las especies que aportan con mayores contenidos de carbono en las áreas de restauración activa fueron *Vismia baccifera*, *Graffenrieda cucullata*, *Piptocoma discolor*, *Miconia glaucescens* y *Miconia dodecandra*. En las áreas de restauración pasiva las especies con mayores contenidos de carbono fueron *Vismia baccifera*, *Piptocoma discolor*, *Miconia dodecandra*, *Ficus maxima* e *Inga edulis*. El bosque maduro está representado por las especies *Vismia baccifera*, *Ficus cervantesiana*, *Tachigali inconspicua*, *Ladenbergia oblongifolia* y *Garcinia macrophylla* (Figura 8).

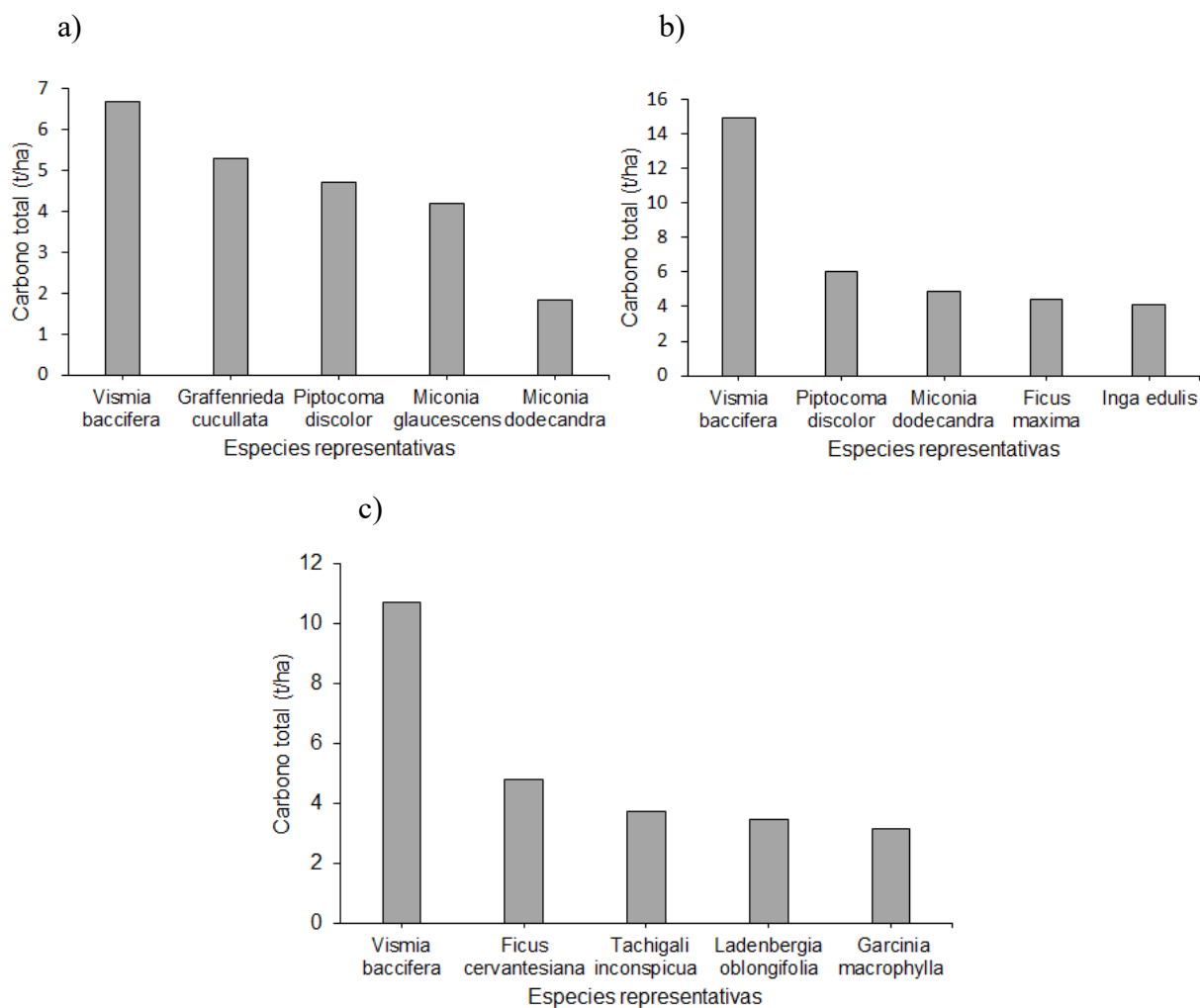


Figura 8. Especies con mayor cantidad de carbono almacenado en a) restauración activa, b) restauración pasiva y c) bosque maduro en la reserva Numbami.

6.3. Carbono almacenado en biomasa aérea por encima del suelo

Se encontró diferencias estadísticas en el contenido de carbono en la biomasa viva por encima del suelo. El carbono almacenado en el bosque maduro fue de 121,45 t/ha; mientras que las áreas de restauración pasiva tuvieron valores de 51,18 t/ha, y las áreas de restauración activa 36,41 t/ha (Figura 9).

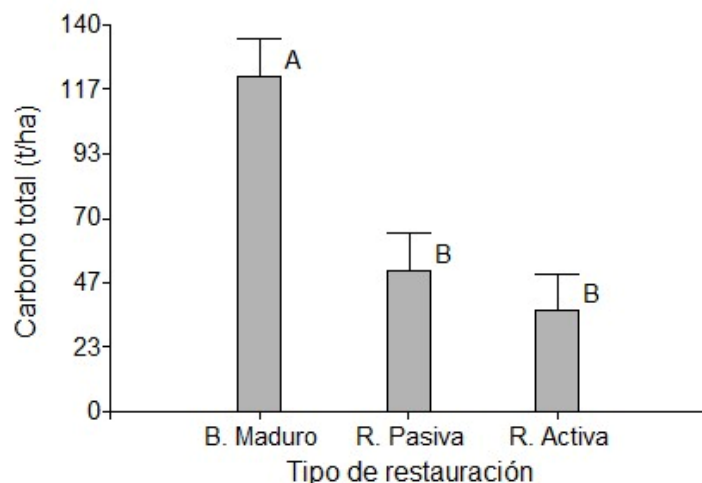


Figura 9. Carbono almacenado en biomasa aérea por encima del suelo en la reserva Numbami

6.4. Carbono almacenado en necromasa

En lo referente al contenido de carbono en hojarasca no hubo diferencias estadísticas entre las tres áreas. En promedio bosque maduro tuvo 3,89 t/ha; las áreas de restauración pasiva obtuvieron 3,77 t/ha, y las áreas de restauración activa reflejaron de 3,13 t/ha. Por otra parte los resultados de almacenamiento de carbono obtenido en madera muerta no mostraron diferencias estadísticas, el bosque maduro tuvo en promedio 12,83 t/ha de carbono almacenado, las áreas de restauración pasiva 10,48 t/ha y las áreas de restauración activa 2,95 t/ha. Finalmente, el análisis estadístico del contenido de carbono en necromasa reflejó que no existen diferencias significativas, el contenido promedio de carbono en bosque maduro fue de 16,72 t/ha; las áreas de restauración pasiva 14,25 t/ha y en áreas de restauración activa 6,08 t/ha (Figura 10).

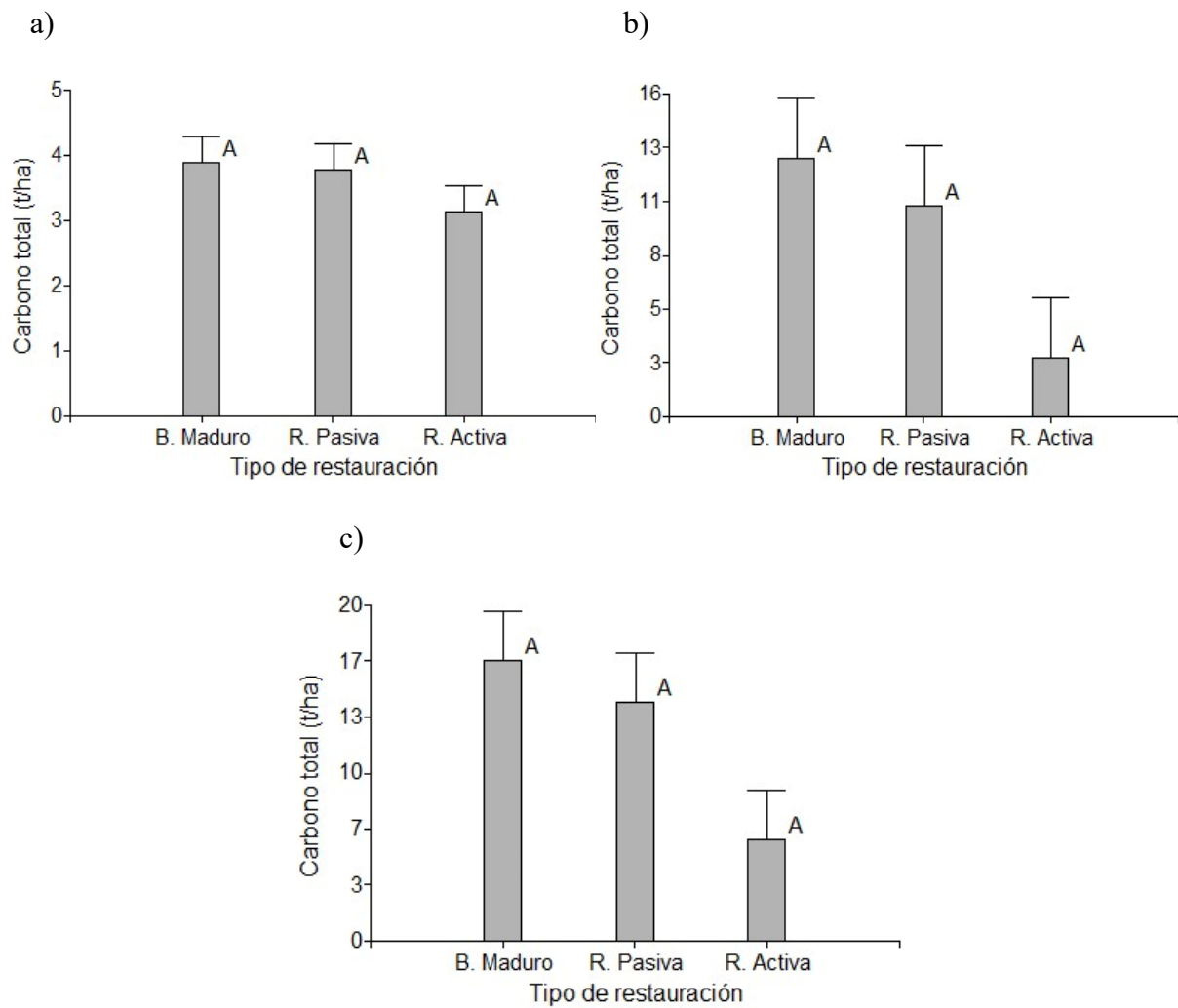


Figura 10. a) Carbono almacenado en la hojarasca en la reserva Numbami. b) Carbono almacenado en madera muerta en la reserva Numbami. c) Carbono almacenado en necromasa en la reserva Numbami

7. Discusión

Las áreas de restauración activa en el bosque siempreverde piemontano de la reserva Numbami luego de 10 años muestran una recuperación adecuada de los contenidos de carbono registrando 36,41 t/ha de biomasa por encima del suelo. En contraste Freitas et al., (2019), obtuvo valores de 64,39 t/ha en áreas de restauración de bosques tropicales de 10 años de restauración activa. Por su parte Melo et al., (2006), en un bosque subtropical húmedo con áreas de restauración de hasta 28 años, estimó valores de 50 t/ha de carbono almacenado.

Los estudios comparados resultan en un mayor contenido en el almacenamiento de carbono frente a nuestro estudio; en el caso de Freitas et al., (2019), debido a que presentan una mayor cantidad de densidad y diversidad de especies en las áreas bajo restauración. De igual forma Melo et al., (2006), presenta valores con mayor contenido de carbono almacenado, ya que presenta un mayor tiempo de restauración ecológica.

Los contenidos de carbono almacenado en la biomasa por encima del suelo en áreas de 10 años de restauración pasiva de la reserva Numbami contienen 51,18 t/ha. Feldpausch et al., (2004), en un bosque con restauración en un bosque tropical de 12 a 14 años registro 60,21 t/ha. Por otra parte, Callo et al., (2002), en áreas de restauración de 8 años, en un bosque húmedo tropical, registró 67,9 t/ha de carbono almacenado. Existe cierta similitud en los valores de los estudios analizados, ya que poseen un tiempo de restauración similar.

Las áreas de restauración activa de la Reserva Numbami luego de 10 años, mostraron en promedio la cantidad de carbono acumulado en madera muerta de 2,95 t/ha, en comparación con Orjuela et al., (2010), que en áreas de restauración de bosque húmedo tropical encontró valores de 4,97 t/ha en 5 años de restauración. Presentando una cantidad similar de carbono almacenado con los valores de la reserva Numbami, siendo superado por los valores encontrados por Orjuela et al., (2010), debido a la variación de individuos muertos en pie y caídos encontrados, y la edad de las áreas de restauración estudiadas.

Los resultados en áreas de restauración pasiva de hace 10 años de la Reserva Numbami reflejaron que existen 10,48 t/ha de carbono almacenado en madera muerta. Presentan similitud con los valores encontrados por Callo et al., (2002) registro 13,8 t/ha en un bosque húmedo piemontano tropical, de 8 años de restauración.

Con relación a los contenidos de carbono en la necromasa de las áreas de restauración activa la Reserva Numbami obtuvo 6,08 t/ha, durante un periodo de restauración de 10 años. Así

mismo, Orjuela et al., (2010) en áreas de restauración de bosque húmedo tropical encontró valores de 6,80 t/ha durante 5 años de restauración, mostrando una cantidad equiparable de carbono almacenado según los datos de la reserva de Numbami.

Respecto a los contenidos de carbono en la necromasa de las áreas de restauración pasiva la Reserva Numbami se registró 14,25 t/ha. Spracklen y Righelato, (2016), en un bosque montano nublado y húmedo, obtuvo valores en el bosque Buenaventura de 1,7 t/ha y en el bosque Tapichalaca 16,6 t/ha restauración entre 12 y 15 años. Por otra parte, el bosque Buenaventura registro 24,9 t/ha y el bosque Tapichalaca 35,8 t/ha en áreas restauración mayor a 40 años. Nuestro estudio registró valores similares a los 10 y 15 años de restauración reportados para el bosque Tapichalaca, mientras que para los valores en restauración mayor a 40 años existe un mayor incremento de necromasa almacenada.

En cuanto a los contenidos de carbono en hojarasca las áreas de restauración activa de la Reserva Numbami mostraron 3,13 t/ha de carbono almacenado. Martins, (2016), en un bosque subtropical, obtuvo valores de 6,59 t/ha en 20 años de restauración. 6,21 en 10 años de restauración. 5,24 t/ha en 20 años de restauración y 4,15 t/ha en 10 años de restauración en diferentes sitios de muestreo. Orjuela et al., (2010), encontró valores de 1,83 t/ha en áreas de restauración de bosque húmedo tropical de 5 años de restauración. Los valores obtenidos en nuestro estudio presentan similitud con los reportados en el estudio de Orjuela, no obstante, se evidencia que mientras mayor es el tiempo de la restauración, mayor cantidad de carbono es almacenado.

En lo referente a contenidos de carbono en hojarasca en áreas de restauración pasiva, la Reserva Numbami posee 3,77 t/ha. Comparando con los resultados obtenidos por Callo et al., (2002), en un bosque húmedo premontano tropical, donde registro 2,57 t/ha de 8 años de restauración. Presentan valores similares respecto al tiempo de restauración que poseen las áreas de restauración. Los altos valores de carbono en el compartimento de necromasa que se han observado en ambas estrategias de restauración, sugiere que estas estas estrategias pueden ser muy importantes para poder recuperar suelos degradados, debido principalmente a la hojarasca, la cual es una de las principales fuentes de nutrientes dentro de los bosques (Correa, et al. 2007).

Los datos anteriormente analizados evidencian que existe similitud entre los contenidos de carbono almacenado y las estrategias de restauración activa y pasiva. Por lo cual se puede utilizar procesos de restauración pasiva si se desea hacer énfasis en el almacenamiento de

carbono en biomasa y necromasa. Pero se puede emplear estrategias de restauración activa con el propósito de recuperar la diversidad en las áreas de restauración afectadas.

Evaluar los contenidos carbono en áreas de restauración activa y pasiva es de gran importancia ya que permite determinar la efectividad de las estrategias de restauración establecidas para la recuperación de los contenidos de carbono almacenado, que las estrategias de restauración pasiva y activa permiten revertir y detener la degradación de los ecosistemas de manera eficaz, para recuperar la diversidad biológica, y restablecer los servicios ecosistémicos que han sido afectados. Por lo cual el presente estudio es de utilidad para brindar información sobre diferentes opciones de recuperación de ecosistemas en diferentes escenarios de restauración en la absorción de CO₂ almacenado, contribuyendo a la mitigación del cambio climática a través de la reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

8. Conclusiones

Los procesos de restauración activa en tan solo 10 años de restauración han logrado recuperar un 29,98%, de carbono almacenado en la biomasa, mientras la restauración pasiva logro recuperar 42,14% en comparación con el bosque maduro dentro del área de estudio, siendo la estrategia de restauración pasiva quien puede contribuir a almacenar mayores contenidos de carbono.

En comparación con los valores del bosque maduro, las áreas de restauración activa almacenan un 36,35% de carbono en la necromasa, frente a, las áreas de restauración pasiva que almacenan un 85,24%, en 10 años de restauración. Esto permite una mayor contribución de nutrientes que regresan al suelo, favoreciendo de esta forma una adecuada recuperación de suelos degradados.

La especie que mayor almacenamiento de carbono presenta en los tres escenarios fue *Vismia baccifera*, especie heliófita durable que evidencia la presencia de disturbios, tanto naturales como antrópicos en el bosque maduro.

Las estrategias de restauración pasiva, en un lapso de 10 años presentaron un 47,35% de almacenamiento de carbono total, obteniendo mayor eficiencia en la restauración en comparación al 30,75% generado en áreas de restauración activa, frente a los valores establecidos por un bosque maduro dentro del área de estudio. Sin embargo, al no presentar diferencias significativas entre sí, la restauración ecológica (restauración pasiva y activa) demuestra ser efectiva para recuperar diferentes compartimientos de carbono en el bosque piemontano del sur de la cordillera de los Andes.

9. Recomendaciones

Existe una positiva relación entre la hojarasca y el aporte de nutrientes al suelo, por este motivo se recomienda que en futuros monitoreos dentro de las parcelas permanentes se estudie a largo plazo dichos aportes.

El compartimiento de carbono en el suelo puede llegar a aportar con importantes valores de contenidos de carbono, debido a esto futuros estudios deben considerar este compartimiento.

10. Bibliografía

Acosta, M.; Quendnow, K.; Etchevers, J.; Monreal, C. (2001). Un Método del Carbono Almacenado en la Parte Aérea de Sistemas con Vegetación Natural e Inducida en Terrenos de Ladera en Mexico. INIFAP Colegio de Postgrados, México. 2001.

Almeida. J. P., Montúfar, R. y Anthelme, F. (2013). Patterns and origin of intraspecific functional variability in a tropical alpine species along an altitudinal gradient. *Plant Ecology & Diversity*.

Apolinario, D. y Cárdenas C. (2015). Capacidad de almacenamiento de carbono en un bosque joven y maduro de *Puya raimondii* Harms. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Vilcashuaman, Ayacucho.

Arriaga L. 2006. La península de Baja California: diversidad, conservación y manejo de sus recursos vegetales. Manejo, Conservación y Restauración de Recursos Naturales en México. México: Siglo XXI Editores-UNAM.

Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D., Lobo, J., Millán, A. y Sánchez, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*.

Benavides, H. y León, G. (2007). Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDE.

Budiharta S, Meijaard E, Erskine PD, et al (2014) Restoring degraded tropical forests for carbon and biodiversity. *Environ Res Lett*. doi: 10.1088/1748-9326/9/11/114020.

Callo, D., Krishnamurthy, L., Alegre, J. (2002). Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*.

CEPAL, N. (2017). Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe.

Chamber, J.; Higuchi, N.; Schimel, J.; Ferreira, L.; Melack, J. (2000). Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F. (2014). Alometría de los árboles y mejora de la estimación de las reservas y el equilibrio de carbono en los bosques tropicales. *Journal of Ecology*.

Correa, J. Duque, C. Peláez, J. y Hernández, M. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia *Interciencia: Revista deficiencia y tecnología de América*.

Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, vol. XXXVII, núm. 2, Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Santo Domingo, República Dominicana.

Dicken, K.G. (1997). Una guía para Monitoreo del almacenamiento de carbono en Proyectos Forestales y Agroforestales. Instituto Internacional Winrock para el Desarrollo Agrícola.

Eguiguren, P., Fischer, R., & Günter, S. (2019). Degradation of ecosystem services and deforestation in landscapes with and without incentive-based forest conservation in the Ecuadorian Amazon. *Forests*, 10(5), 442.

Esparza-Olguín, L. G., Vargas-Contreras, J. A., Martínez-Romero, E., & Escalona-Segura, G. (2019). Diversidad y biomasa de la selva circundante al Volcán de los Murciélagos, en Campeche, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*.

FAO. (1981). *Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Redimiento, con Referencia Especial en los Tropicos*; FAO: Rome, Italy.

Feldpausch, T. R., Rondon, M. A., Fernandes, E. C., Riha, S. J., & Wandelli, E. (2004). Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecological applications*.

Fernández, F. Loidi, J., Moreno, J., Del Arco, M., & Fernández, A. (2005). Impactos sobre la biodiversidad vegetal. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático.

Freitas, M. G., Rodrigues, S. B., Campos-Filho, E. M., do Carmo, G. H. P., da Veiga, J. M., Junqueira, R. G. P., & Vieira, D. L. M. (2019). Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. *Forest ecology and management*.

Gálvez, J. (2002). *La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones*. Guatemala, Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.

García-Licon, J. B., Esparza-Olguín, L. G., & Martínez-Romero, E. (2014). Estructura y composición de la vegetación leñosa de selvas en diferentes estadios sucesionales en el ejido El Carmen II, Calakmul, México. *Polibotánica*.

Global Forest Review (2022). Washington, DC: Instituto de Recursos Mundiales, actualización 3. <https://research.wri.org/gfr/global-forest-review>.

Godar, J., Tizado, E. J. & Pokorny, B. (2012). Who is responsible for deforestation in the Amazon? A spatially explicit analysis along the Transamazon Highway in Brazil.

Guallo, N. (2018). Secuestro de carbono como servicio ecosistémico en distintos usos de la tierra en la Cuenca media del Río Napo, Región Amazónica ecuatoriana. Universidad Estatal Amazónica. Puyo Ecuador.

Gutiérrez, E. O. P. (2016). Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba. Anales de la Academia de Ciencias de Cuba.

Herrán, C. (2012). El Cambio Climático y sus Consecuencias para México, Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert – FES.

Honorio, E., y Baker, T. R. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.

IPCC. IPCC 5th Assessment Report “Climate Change 2013: The Physical Science Basis”; IPCC: Stockholm, Sweden, 2013.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University. Cambridge, UK.

IPCC. (2014). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Suiza: Panel Intergubernamental del Cambio Climático.

Jumbo Salazar, C., Arévalo Delgado, C. D. y Ramirez-Cando, L. J. 2018. Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida.

Keenleyside K, Dudley N, Cairns S, Hall C y Stolton S. 2012. Ecological restoration for protected areas: Principles, guidelines and best practices. Suiza: UICN.

Kissinger, G., M. Herold, V. De Sy. Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers. Lexeme Consulting, Vancouver Canada, August 2012.

Lapeyre, T. Alegre, J. Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Ecología Aplicada.

Linding R. 2011. La restauración ecológica como una construcción social. La restauración ecológica en la práctica. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Manson, R. (2008). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología. Instituto Nacional de Ecología.

Melo, A. D., & Durigan, G. (2006). Carbon sequestration by planted riparian forests in Paranapanema Valley, SP, Brazil. Scientia Forestalis.

Miller. (2007). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Informe sobre Cambio Climático.

Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2017). Deforestación del Ecuador continental periodo 2014 - 2016. Quito, Ecuador.

Miranzo, M. y del Río, C. (2015). Las Consecuencias del Cambio Climático en el Magreb. Revista UNISCI.

Mola, I., Sopena, A. y de Torre, R. (2018). Guía Práctica de Restauración Ecológica. Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid.

Montero, G. Ruiz, R. Muñoz, M. (2005). Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. CIFOR-INIA. EGMASA. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

Moreno, M. L., Hidalgo, H., & Alfaro, E. (2019). Cambio climático y su posible efecto sobre los servicios ecosistémicos en dos parques nacionales de Costa Rica. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica.

Moya, B., Hernández, A. y Elizalde, H. (2005). Los Humedales ante El Cambio Climático. Investigaciones Geográficas.

Návar, J. (2010). Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. Madera y Bosques.

Naturaleza y Cultura Internacional (NCI). (2011). Restauración ecológica de bosques amazónicos en el sur de Ecuador.

Núñez, Y. (2016). Instructivo de Campo para la Toma de Datos de Carbono Forestal en Bosques de Producción Permanente. Inventario Nacional de Bosque de Producción Permanente Dirección de Inventario y Valoración. SERFOR.

Orjuela Ch., J. A., Ramírez Pava, B. L., & Andrade, H. J. (2010). Potencial de Almacenamiento de Carbono en Áreas de Regeneración Natural de Paisajes Ganaderos de la Amazonia Colombiana. Revista Facultad De Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC.

Ojeda, A. R. y Santacruz, A. R. (2017). Evaluación de actividades antrópicas que inciden en las propiedades físico químicas del agua de la quebrada La Torcaza Corregimiento El Encano, Municipio de Pasto Nariño. Manizales: Universidad de Manizales. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

OMM, (2019). Boletín de la OMM sobre los Gases de Efecto Invernadero 2019. Organización Meteorológica Mundial.

Organización Panamericana de la Salud. (2017). Salud en la Américas. Cambio Climático y Salud. Organización Mundial de la Salud.

Paky, E., Moreno, F. & Álvarez-Dávila, E. (2017). Contenido de carbono en un bosque de tierra firme del resguardo Nonuya-Villazul, amazonia colombiana. Colombia Forestal.

Pardos, A. (2010). Los Ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Ciencias e Innovación.

Pearson, et al. (2005). Libro de consulta para Uso del suelo, cambio del suelo Cambio de la tierra y Proyectos forestales.

Pearson, T.; Walker, S.; Brown, S. (2005). Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forest Projects; Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank: Arlington, MA, USA.

Pramova E, Di Gregorio M y Locatelli B. (2015). Integración de la adaptación y la mitigación en las políticas sobre cambio climático y uso de la tierra en el Perú. Bogor, Indonesia: CIFOR.

Quintana, et al. (2020). Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador.

Ravindranath, N.; Ostwald, M. (2008). Carbon Inventory Methods Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany.

Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales (2009). Centro fMundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazónica.

Sánchez, J., Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & Sunkel, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL. Cepal.

Sarmad, Ovais. (2018). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC).

Scholes, R, Wallace, D. W, Archer, D., Ashmore, M., Aumont, O., Baker, D., Yool, A. (1996). The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide.

SER (Society for Ecological Restoration International – Sociedad internacional para la restauración ecológica). (2014). Principios sobre SER International sobre la restauración ecológica. Grupo de Trabajo sobre Ciencia y Política.

SER (Society for Ecological Restoration International – Sociedad internacional para la restauración ecológica). (2016). Estándares internacionales para la práctica de la restauración ecológica- incluyendo principios y conceptos clave.

Sierra, R. 2013. Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años. Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends. Quito, Ecuador.

Spracklen, D. V., & Righelato, R. (2016). Carbon storage and sequestration of re-growing montane forests in southern Ecuador. *Forest Ecology and Management*, 364, 139-144.

Sperow, M. (2016.) Estimación del potencial de secuestro de carbono en los suelos agrícolas de Estados Unidos. *Soil & Tillage Research*.

Túqueres, J. (2016). Cálculo del contenido de carbono en estrato arbóreo del bosque de la Estación Científica Kutukú, parroquia Sevilla de Oro, cantón Macas. Universidad Politecnica Salesiana Sede Quito.

UNFCCC. (2017). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Unidos por el clima: Guía de la Convención sobre el cambio climático y el protocolo de Kyoto.

Useros, J. (2012). El Cambio Climático: sus Causas y Efectos Medioambientales. Académico de Número, Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla y León, Valladolid.

Vargas Ríos, O. (2011). Restauración Ecológica. Biodiversidad Y Conservación. *Acta biológica colombiana*.

Zanne, Amy E. et al. (2009). Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. Dataset.

11. Anexos

Anexo 1. Instalación de parcelas de muestreo.



Anexo 2. Medición de DAP de individuos arbóreos.



Anexo 3. Medición de alturas de individuos arbóreos.



Anexo 4. Identificación de especies forestales.



Anexo 5. Prueba para determinar densidad en madera muerta caída



Anexo 6. Recolección de hojarasca en campo.



Anexo 7. Carbono almacenado en la Reserva Numbami o Jamboe.

Tipo	Biomasa		Tipo	Necromasa		Tipo	Total	
	Parcela	Carbono (T)		Parcela	Carbono (T)		Parcela	Carbono (T)
R. Activa	1	37,63	R. Activa	1	4,54	R. Activa	1	42,16
R. Activa	2	43,43	R. Activa	2	6,33	R. Activa	2	49,76
R. Activa	3	28,18	R. Activa	3	7,36	R. Activa	3	35,55
R. Pasiva	1	42,51	R. Pasiva	1	22,67	R. Pasiva	1	65,18
R. Pasiva	2	63,78	R. Pasiva	2	10,83	R. Pasiva	2	74,61
R. Pasiva	3	47,25	R. Pasiva	3	9,26	R. Pasiva	3	56,51
B. Maduro	1	158,78	B. Maduro	1	11,80	B. Maduro	1	170,58
B. Maduro	2	122,28	B. Maduro	2	17,29	B. Maduro	2	139,58
B. Maduro	3	83,28	B. Maduro	3	21,07	B. Maduro	3	104,35

Anexo 8. Certificado de traducción

Loja, 5 de abril del 2024

Brayan David Tigre Naranjo con número de cédula 1105862864, con certificado correspondiente al NIVEL B1, otorgado por la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación de la Universidad Nacional de Loja.

CERTIFICA:

Haber realizado la traducción textual del documento adjunto con fecha 05/04/24, correspondiente al resumen del Trabajo de integración Curricular denominado, Contenidos de carbono en áreas de restauración ecológica de la reserva Numbami, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe. Elaborado por Brayan David Tigre Naranjo.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad, facultando al portador el presente documento para el trámite correspondiente.



Brayan David Tigre Naranjo

Cédula: 1105862864

E-mail: brayan.tigre@unl.edu.ec



UNL

Universidad Nacional de Loja

Sistema de Gestión Académico

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA EDUCACIÓN, EL ARTE Y LA COMUNICACIÓN
INSTITUTO DE IDIOMAS

Mgtr. Leonardo Ramiro Valdivieso Jaramillo
SECRETARIO ABOGADO DE LA FACULTAD DE LA EDUCACIÓN, EL ARTE Y LA COMUNICACIÓN

CERTIFICA:

Que: **BRAYAN DAVID TIGRE NARANJO** de nacionalidad Ecuatoriana, con cédula Nro. **1105862864**, luego de haber cumplido con los requisitos previstos para el efecto, **APROBÓ** los niveles de segunda lengua que a continuación se detallan:

CURSO/NIVEL	FORMA DE APROBACIÓN	CALIFICACIÓN
INGLES 1	Regular	8.87/10 (OCHO PUNTO OCHENTA Y SIETE SOBRE DIEZ)
INGLES 2	Regular	8.77/10 (OCHO PUNTO SETENTA Y SIETE SOBRE DIEZ)
INGLES 3	Regular	8.83/10 (OCHO PUNTO OCHENTA Y TRES SOBRE DIEZ)

Por consiguiente, una vez cumplidas las 768 horas académicas de instrucción obligatorias y de conformidad con la normativa reglamentaria institucional, la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación de la Universidad Nacional de Loja, emite el certificado que corresponde al **NIVEL B1** de suficiencia, tomando como referencia el Marco Común Europeo para las lenguas.

Certificado que se lo confiere a petición del interesado.

Loja, 17 de agosto de 2023



SECRETARIO ABOGADO

Mgtr. Leonardo Ramiro Valdivieso Jaramillo

Elaborado por: Ana Lucía Rodríguez Lima



Certificado B1 Nro.: UNL-FEAC-IDI-2023-001798

1/1

Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa"
Casilla letra "S", Sector La Argelia - Loja - Ecuador

Educamos para Transformar