UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL SECUESTRO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2) Y SU ALMACENAMIENTO EN PLANTACIONES DE EUCALIPTO (*Eucaliptus grancam*) EN TRES EDADES DIFERENTES. UCAYALI, PERÚ 2023

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

JACKELINE ZARELA CAJA MAYTA

ESTEFITA YALTA MELÉNDEZ

Pucallpa, Perú

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACION DE TESIS N°204/2024-CGyT-FCFyA-UNU

En la Ciudad de Pucallpa, a las 11:15 am del día 02 de Diciembre del 2024, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali. Se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, estando designado con MEMORAMDUN MULTIPLE N°066-2024-UNU-FCFyA-CGT conformado por:

- Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera — Presidente
- Dr. Julián Robert Pérez Vigilio — Miembro
- Dr. Mack Henry Pinchi Ramírez — Miembro

Se procedió a la evaluación de la sustentación de tesis denominado **"EVALUACION DEL SECUESTRO DEL DIOXIDO DE CARBONO (CO2) Y SU ALMACENAMIENTO EN PLANTACIONES DE EUCALIPTO (*Eucaliptus grancam*) EN TRES EDADES DIFERENTES, UCAYALI, PERU 2023"** presentado por los bachilleres **JACKELINE ZARELA CAJA MAYTA y ESTEFITA YALTA MELENDEZ**, asesoradas por el **Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga**.

Habiendo sustentado las bachilleres, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por las sustentantes, en consecuencia, la tesis fue **APROBADO POR UNANIMIDAD Y RECOMENDACIÓN DE PUBLICACIÓN**, recomendando levantar las observaciones indicadas, quedando expedita para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**. Siendo las 12:20 pm del mismo día, se da por culminado el acto académico, firmando los miembros del Jurado Evaluador en señal de conformidad.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Presidente

Dr. Julián Robert Pérez Vigilio
Miembro

Dr. Mack Henry Pinchi Ramírez
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Presidente

Dr. Julián Robert Pérez Vigilio
Miembro

Dr. Mack Henry Pinchi Ramírez
Miembro

Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga
Asesor

Bach. Jackeline Zarela Caja Mayta
Tesista

Bach. Estefita Yalta Melendez
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/0486-2024.**

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"EVALUACIÓN DEL SECUESTRO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO2) Y SU ALMACENAMIENTO EN PLANTACIONES DE EUCALIPTO (Eucaliptus grancam) EN TRES EDADES DIFERENTES. UCAYALI, PERÚ 2023"

Autor(es)	:	**CAJA MAYTA, JACKELINE ZARELA**
		YALTA MELÉNDEZ, ESTEFITA
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**DR. EDGAR JUAN DÍAZ ZÚÑIGA**

Presenta un **porcentaje de similitud de 8%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 18/09/2024

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Jackeline Zarela Caja Mayta

Autor de la tesis titulada : "Evaluación del secuestro de dióxido de carbono (CO_2) y su almacenamiento en plantaciones de eucalipto (Eucaliptus grancam) en tres edades diferentes. Ucayali, Perú 2023"

Sustentada el año 2024

Asesor(a): Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 02 / 12 / 2024

Email: jackeline.caja@outlook.com Firma:

Teléfono: 961590256 DNI: 76545278

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Estefita Yalta Melendez

Autor de la tesis titulada : "Evaluación del secuestro de dioxido de carbono (CO_2) y su almacenamiento en plantaciones de eucalipto (Eucalyptus grancum) en tres edades diferentes. Ucayali, Perú 2023"

Sustentada el año: 2024

Asesor(a): Dr. Edgar Juan Diaz Zuñiga

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [x]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 02 / 12 / 2024

Email: Estefitayalta12@gmail.com Firma:

Teléfono: 951554717 DNI: 75565689

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a Dios, por permitirme cumplir este objetivo. A mis padres, por brindarme valiosas lecciones de vida y a mis hermanos por su apoyo incondicional.

Jackeline Zarela.

Quiero dedicar esta tesis a mi hermana, Pilar Yalta, porque siempre estuvo a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para ser de mí una mejor persona y poder concluir todo este proyecto, a mi pareja por la confianza y darme ánimos para seguir adelante y no rendirme nunca. A mi amiga Cajita, por darme la oportunidad de compartir este proyecto juntas. A la familia Chuquizuta Falcón, por contribuir en el logro de este objetivo tan anhelado.

Estefita.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali, por cedernos sus instalaciones para llevar a cabo nuestra investigación que hoy se ve concretada.

A nuestros jurados, por todas las observaciones y sugerencias brindadas para que la investigación tome una ruta significativa en la que se pueda aportar de cierta manera a la sociedad y el ambiente.

Al Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga, asesor de la tesis, por guiarnos en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Ing. Farley M. Fasabi Hidalgo, co-asesor de la tesis, por todos sus conocimientos impartidos, por su nobleza y paciencia en todo el proceso.

A Edson y Sofía, por no dejarnos solas y ser nuestro soporte a lo largo de este trabajo de investigación.

A nuestros familiares, por su apoyo incondicional, para poder llegar a cumplir esta meta tan importante para nosotras.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA vii

AGRADECIMIENTO viii

ÍNDICE GENERAL ix

ÍNDICE DE TABLAS xii

ÍNDICE DE FIGURAS xv

RESUMEN xviii

ABSTRACT xix

INTRODUCCIÓN xx

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1. Descripción del problema 1

1.2. Formulación del problema 1

1.2.1. Problema general 2

1.2.2. Problema específicos 2

1.3. Justificación 3

1.4. Objetivos de la investigación 4

1.4.1. Objetivo general 4

1.4.2. Objetivos específicos 4

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 6

2.1. Antecedentes de la investigación 6

2.1.1. Antecedentes internacionales 6

2.1.2. Antecedentes nacionales 9

2.1.3. Antecedentes locales 20

2.2. Bases teóricas 21

2.2.1. Secuestro y almacenamiento de CO_2 21
2.2.2. Tipos de secuestro de carbono 22
2.2.3. Fijación de CO_2 25
2.2.4. Dióxido de carbono (CO_2) 27
2.2.5. Carbono orgánico 29
2.3. Definiciones de términos básicos 32
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 34
3.1. Tipo de investigación 34
3.2. Población y muestra 34
3.2.1. Población 34
3.2.2. Muestra 35
3.3. Diseño estadístico 35
3.3.1. Descripción del Factor A y el Factor B en Investigación 35
3.3.2. Modelo Aditivo de Varianza 38
3.3.3. Análisis de Varianza (ANVA) 38
3.4. Hipótesis, variables y operacionalización de las variables 39
3.4.1. Hipótesis 39
3.4.2. Variables 39
3.4.3. Operacionalización de las Variables 40
3.5. Instrumento de recolección de datos 41
3.6. Técnicas de recolección de la información 41
3.7. Instrumentos para la recolección de datos 43
3.7.1. Material biológico 43
3.7.2. Material de campo 43
3.7.3. Material de laboratorio 43

3.7.4. Material de Gabinete 43
3.8. Procedimientos de recolección de datos 44
3.8.1. Ubicación del área de estudio 44
3.8.2. Preparación de los datos 45
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 55
4.1. Resultados de la biomasa 55
4.1.1. Biomasa Aérea (BA) 55
4.1.2. Biomasa Sobre el Suelo (BSS) 57
4.1.3. Biomasa Subterránea (BS) 58
4.2. Estimación del CO_2 Almacenado en un árbol de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) 62
4.3. Análisis estadístico de los tratamientos 67
4.3.1. Prueba de Promedios de Tukey para Biomasa Total 68
4.3.2. Prueba de Promedios de Tukey para suelo y sus diferentes profundidades 71
4.4. Discusión de resultados 73
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 75
5.1. Conclusiones 75
5.2. Recomendaciones 76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 77
ANEXOS 84

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos en estudio de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 37

Tabla 2. Análisis de varianza (ANVA)…….……. 38

Tabla 3. Operacionalización de las variables…….…..… 42

Tabla 4. Resultado promedio de laboratorio, biomasa aérea y raíces de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….…… 51

Tabla 5. Análisis de suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 53

Tabla 6. Resultado del análisis de laboratorio de la BA en los diferentes órganos de almacenamiento de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 55

Tabla 7. Resultado promedio de la BA de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 56

Tabla 8. Resultado promedio del análisis de laboratorio de la BSS de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….. 57

Tabla 9. Resultado del análisis de laboratorio de la BS correspondiente a las muestras de suelo por cada capa de extracción de muestra de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….. 59

Tabla 10. Resultado promedio de la BS correspondiente a las muestras de suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….. 60

Tabla 11. Resultado del análisis de laboratorio de la BS correspondiente a las raíces de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 61

Tabla 12. Estimación de CO_2 por el método directo o destructivo en las plantaciones de eucalipto – UNU de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….. 63

Tabla 13. Análisis de varianza para la BA de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….. 68

Tabla 14. Prueba de promedio Tukey para el factor A (diferentes edades del eucalipto) en estudio de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….. 69

Tabla 15. Prueba de promedio Tukey para el factor B (contenido de CO_2 en biomasa y suelo a diferentes profundidades) en estudio de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….. 69

Tabla 16. Prueba de promedio Tukey para la interacción del factor A con el factor B de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 69

Tabla 17. Prueba de promedio Tukey para el factor B en la profundidad de suelo de 0-10 cm desde el ras del suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 71

Tabla 18. Prueba de promedio Tukey para el factor B en la profundidad de suelo de 10-20 cm desde el ras del suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….. 71

Tabla 19. Prueba de promedio Tukey para el factor B en la profundidad de suelo de 20-30 cm desde el ras del suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…….. 72

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto: **Pág.**

Figura 1. Imagen tomada de Google Earth mostrando la ubicación del área de investigación, coordenadas geográficas 08º23'39.6'' de latitud sur y 74º34'39.8'' de longitud oeste……. 45

Figura 2. Toma de datos DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de los árboles de eucalipto de la parte del fuste de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……..... 46

Figura 3. Trazado del área de recolección de la materia seca de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 47

Figura 4. Recolección de materia seca dentro de la circunferencia trazada de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 48

Figura 5. Recolección de ramas finas y gruesas de los árboles en investigación de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 48

Figura 6. Extracción de muestras de raíces de los árboles en investigación de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 49

Figura 7. Muestreo de suelo de los árboles en investigación dentro del área de la circunferencia trazada de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 50

Figura 8. Secado a la estufa de la biomasa, materia seca y raíces de los árboles en investigación de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 51

Figura 9. Resultado promedio de laboratorio, biomasa aérea y raíces de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 52

Figura 10. Análisis de suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 53

Figura 11. Resultado del análisis de laboratorio de la BA en los diferentes órganos de almacenamiento de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 56

Figura 12. Resultado promedio de la BA de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 57

Figura 13. Resultado promedio del análisis de laboratorio de la BSS de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 58

Figura 14. Resultado del análisis de laboratorio de la BS correspondiente a las muestras de suelo por cada capa de extracción de muestra de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 59

Figura 15. Resultado promedio de la BS correspondiente a las muestras de suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 60

Figura 16. Resultado del análisis de laboratorio de la BS correspondiente a las raíces de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 61

Figura 17. Estimación de CO_2 por el método directo o destructivo en Tn CO_2 en las plantaciones de eucalipto según las plantaciones muestreadas de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 64

Figura 18. Estimación de CO_2 por el método directo o destructivo en Tn CO_2/ha en las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra……. 65

Figura 19. Estimación de CO_2 por el método directo o destructivo en el área de investigación en Tn CO_2 de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra…… 66

En el anexo:

Figura 20A. Medición del DAP y radio de los árboles en investigación….. 85

Figura 21A. Recolección de hojarascas……... 85

Figura 22A. Codificación de las muestras de hojarascas…….. 86

Figura 23A. Pesado de las muestras de hojarascas…….. 86

Figura 24A. Muestreo de suelo a diferentes profundidades……. 87

Figura 25A. Tumbado de árbol para muestras de biomasa…… 87

Figura 26A. Toma de datos para evaluación del volumen del árbol…… 88

Figura 27A. Corte por sección, pesado y codificación del fuste del árbol... 88

Figura 28A. Pesado y codificación de las ramas primarias y secundarias.. 89

Figura 29A. Secado de las muestras de biomasa……. 89

RESUMEN

La tesis titulada “Evaluación del secuestro de dióxido de carbono (CO_2) y su almacenamiento en plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus grancam*) en tres edades diferentes. Ucayali, Perú 2023” se determinó el secuestro y almacenamiento de CO_2. La investigación fue experimental, cuantitativo; de diseño factorial AxB en un DCA con 2 repeticiones. El factor A: conformado por las plantaciones de Eucalipto en 3 edades diferentes de siembra, el factor B: conformado por niveles de secuestro y almacenamiento de CO_2 que sería la biomasa aérea de la planta y la profundidad del suelo a diferentes niveles de profundidad. Los resultados obtenidos fueron que, los árboles de 9 años de edad tienen un potencial de secuestro y almacenamiento de CO_2 de 0.122 Tn CO_2/árbol con 101.47 Tn CO_2/ha los árboles de 7 y 6 años de edad de siembra con 0.042 Tn CO_2/árbol con 35.1 Tn CO_2/ha y 0.011 Tn CO_2/árbol con 8.88 Tn CO_2/Ha respectivamente; el potencial de secuestro y almacenamiento de CO_2 en el suelo, los árboles de 9 años de edad de siembra fue de 0.89 CO total con 0.042 Tn CO_2, de 7 años fue 0.93 CO total con 0.052 Tn CO_2 y de 6 años fue 0.80 CO total con 0.050 Tn CO_2, siendo la relación captura de carbono-edad de crecimiento las plantaciones jóvenes de 9 años las que se comportaron mejor en el secuestro y almacenamientos de CO_2. Se concluye que las plantaciones de eucalipto de 9 años de edad de capturan y almacenan CO_2 mejor que las plantaciones de 6 y 7 años de edad.

Palabras claves: Secuestro, Almacenamiento de CO_2, Fijación de CO_2, Dióxido de carbono, Carbono orgánico, Calentamiento global.

ABSTRACT

The thesis titled “Evaluation of carbon dioxide (CO_2) sequestration and its storage in Eucalyptus (*Eucalyptus grancam*) plantations at three different ages. Ucayali, Peru 2023” sequestration and storage of CO_2 was determined. The experimental, quantitative; AxB factorial design in a DCA with 2 repetitions. Factor A: made up of Eucalyptus plantations at 3 different planting ages, factor B: made up of CO_2 sequestration and storage levels, which would be the aerial biomass of the plant and the depth of the soil at different depth levels. The results obtained were that 9-year-old trees have a CO_2 kidnapping and storage potential of 0.122 Tn CO_2/tree with 101.47 Tn CO_2/ha, 7 and 6-year-old trees planted with 0.042 Tn CO_2/ tree with 35.1 Tn CO_2/ha and 0.011 Tn CO_2/tree with 8.88 Tn CO_2/Ha respectively; the potential for kidnapping and storage of CO_2 in the soil, the trees of 9 years of planting age was 0.89 total CO with 0.042 Tn CO_2, 7 years old it was 0.93 total CO with 0.052 Tn CO_2 and 6 years old it was 0.80 total CO with 0.050 Tn CO_2, The carbon capture-growth age relationship was the young plantations of 9 years old that performed best in the capture and storage of CO_2. It is concluded that 9-year-old eucalyptus plantations capture and store CO_2 better than 6- and 7-year-old plantations.

Keywords: CO_2 sequestration, Storage, CO_2 Fixation, Carbon dioxide, Organic carbon, Global warming.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que afronta el planeta es el cambio climático, esto debido a las emisiones desmesuradas de CO_2 a la atmósfera como consecuencia de las actividades industriales. En las últimas 2 décadas, las emisiones globales de CO_2 siguieron su crecimiento. A principios de siglo, fueron aproximadamente 23.500 millones de TM, en 2019 alcanzaron un récord de 37.000 millones. En el 2020 bajo a 2.000 millones de TM por el COVID-19. Otro caso fue en el 2009 (recesión económica mundial). Pero aun así con las previsiones para 2023, registra un ligero aumento de emisiones con respecto a 2022 de 2.500 millones de TM en comparación al 2020 (Orús, 2024).

Se sabe que, en el 2022, las emisiones de CO_2 en Perú creció 5,898 Mt, siendo un 10,59% respecto a 2021. Las emisiones de CO_2 en 2022 fueron de 61,61 Mt, además Perú ocupa el número 133 del ranking de países por emisiones de CO_2, formado por 184 países, donde los países son ordenados de menos a más contaminantes (Expansión, 2023).

Para mitigar las emisiones de CO_2 a la atmósfera se adoptaron diferentes medidas, una de las más usadas es el uso de plantaciones forestales como sumideros de carbono; en las parcelas de investigación de la Universidad Nacional de Ucayali se establecieron plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) de 6, 7 y 9 años de edad de siembra como resultado del proyecto de investigación denominado: “Recuperación de Suelos Degradados y su Puesta en Valor Mediante la Instalación de Plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus grancam*) con Alta Tecnología en la Zona de Pucallpa. Ucayali, Perú”, la presente investigación estuvo enfocado en el secuestro y almacenamiento de CO_2 y el aprovechamiento como carbono orgánico por las plantaciones de

eucalipto (*Eucaliptus grancam*), plantaciones que sirven para mitigar las emisiones de CO_2 a la atmósfera y así brindar un aporte ecoamigable a la sociedad pucallpina.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Se sabe que los bosques tropicales son una fuente enorme de recursos útiles para el hombre como también la principal opción de mitigación del calentamiento global debido a su gran potencial de captura y fijación de CO_2 convirtiéndose así en grandes almacenes natural de carbono. Por efecto de la deforestación los bosques se encuentran reducidos. (COICA, 2020)

El aumento de la concentración de $C0_2$ en la atmósfera terrestre es una preocupación mundial, es considera uno de los 6 principales gases que intervienen en el efecto invernadero (GEl) el cual contribuye en mayor proporción al cambio climático. (IPCC, 2005). En los últimos 2 siglos los incrementos del CO_2 en la atmósfera fueron de 280 a 375 ppm, sigue aumentando a una tasa promedio superior a 1.5 ppm/año. (White et al., 2005). Actualmente se debe valorar el bosque por su importancia de la función que cumplen en la captura y almacenamiento de CO_2 de la atmósfera, por ser un regulador de equilibrio del ciclo de carbono en el planeta. Debido a la falta de conciencia y concientización popular es desconocido el funcionamiento de este ciclo (COICA, 2020).

En este sentido, el presente proyecto de investigación evaluó en forma cuantitativa el potencial de secuestro del dióxido de carbono ($C0_2$) por los árboles de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes

de crecimiento, a fin de comprender la importancia en la mitigación del cambio climático, y reducir este problema.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál será el potencial de secuestro de dióxido de carbono (CO_2) y su almacenamiento en plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes ubicado en las parcelas experimentales de la Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa Ucayali, Perú?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto será la cantidad de CO_2 secuestrado y almacenado en las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes?

- ¿Cuánto será la cantidad de CO_2 secuestrado y almacenado en el suelo a diferentes profundidades dentro de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes?

- ¿Cuál será la relación secuestro de carbono-edad de crecimiento en una plantación de eucalipto (*Eucaliptus grancam*)?

1.3. Justificación

La radiación solar influye en el clima terrestre, así como también el equilibrio entre la interacción con la atmósfera, la superficie terrestre, océanos y el resto de capas de agua, nieve y hielo. Debido a la revolución industrial se incrementaron de forma constante los GEI en la atmósfera, acelerando así el calentamiento global por la excesiva concentración de CO_2 en la atmósfera, siendo este gas el mayor impulsor del calentamiento global que es producido por consecuencia de la quema de los combustibles fósiles: el carbón, el petróleo y el gas (Aunión y Planelles, 2020).

Los ecosistemas forestales destacan por albergar gran parte de la biodiversidad terrestre, y ser su correcto funcionamiento esencial para el mantenimiento de dicha diversidad. En los últimos años, muchos investigadores han realizado numerosos estudios intentando aclarar como el cambio global afecta en una triple vertiente: impacto habido en los ecosistemas, adaptación de los ecosistemas forestales ante las perspectivas de cambio global y mitigación del incremento de gases de efecto invernadero (Pardos, 2010).

La captura y almacenamiento de dióxido de carbono se presenta como una opción más en la lista de acciones para reducir o estabilizar el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI). Otras opciones incluyen las mejoras del rendimiento energético, el cambio a combustibles menos intensivos en carbono, el uso de fuentes de energía renovable, incrementar los sumideros biológicos, la reducción de las emisiones del resto de gases de efecto invernadero, etc.

(Ramos, 2015).

Ante lo expuesto, el presente proyecto de investigación imparte conceptos básicos de captura, fijación, monitoreo y medición de CO_2 en las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) con el propósito de entender lo importante que se convierte en una herramienta fundamental para la mitigación del cambio climático, así como también el impacto económico y ambiental que conlleva, contribuyendo a la reducción del problema.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Determinar el potencial de secuestro de dióxido de carbono (CO_2) y su almacenamiento por las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes ubicado en las parcelas experimentales de la Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. Ucayali, Perú.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la cantidad de CO_2 secuestrado y almacenado en las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes.
- Determinar la cantidad de CO_2 secuestrado y almacenado en el suelo a diferentes profundidades dentro de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes.

- Evaluar la relación secuestro de carbono-edad de crecimiento en una plantación de eucalipto (*Eucaliptus grancam*).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Silvestre et al., (2014) en su investigación titulada “Retos actuales para la captura y almacenamiento de CO_2” realizado en España, investigaron alternativas para mitigar las grandes emisiones de CO_2 a la atmósfera mediante la captura selectiva de CO_2 en efluentes industriales de pre o post combustión mediante el uso de materiales adsorbentes. Entre los materiales más prometedores para este fin encontraron las zeolitas, los carbones activados y los materiales híbridos MOFs. Estos materiales se caracterizan por poseer una estructura porosa bien definida y desarrollada, la cual les confiere un excelente comportamiento en términos de capacidad de adsorción y selectividad a CO_2.

En la fase de desarrollo de sus investigaciones las limitaciones con las que se encontraron los investigadores fueron: el carácter hidrófilo de las zeolitas, impidiéndoseles un adecuado rendimiento en humedad; otra fue la baja conductividad térmica del carbón activado impidiendo una adecuada disipación del calor que se genera durante el proceso de adsorción; también la baja estabilidad térmica, química, hidrotermal y mecánica de los materiales MOFs, impidieron su conformado en forma pellets y su uso a nivel industrial en presencia de humedad y temperatura, etc. La conclusión de los investigadores fueron que, es mejor el de los

materiales híbridos (ej. MOF@carbón) donde el establecimiento de sinergias entre cada uno de los componentes del material compuesto permite preservar las propiedades de los componentes individuales y, a la vez, mitigar las deficiencias anteriormente descritas para cada uno de ellos.

Maza (2019) en su tesis titulada “Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador” realizada en los Bosque Buenaventura-Ecuador; cálculo la biomasa aérea de los árboles vivos, utilizó ecuaciones de Factor de Expansión de Volumen y el Factor de Expansión de Biomasa, donde se considera la biomasa comercial exceptuando la totalidad del árbol (ramas, follaje). El cálculo total biomasa viva y muerta fue de 158 T ha^{-1}. Las Tn de C_2 promedia un 76.15 tC ha^{-1}. El cálculo de CO_2 fue mediante la multiplicación del total de C_2 por el factor de corrección 3.667. los resultados obtenidos fueron, hay un secuestro de CO_2 de 607,239.54 T para una biomasa total de 352,331.36 T dentro del Bosque Buenaventura, los valores estimados fueron promediados por escenarios, siendo el caso de un escenario más bajo en biomasa el valor calculado por fijación de C_2 fue de $3 dólares americanos la Tn que equivaldría a un valor de $ 1 821 718.63, para un escenario moderado a un valor de $10 la Tn obteniendo un valor de $ 6 072 395.42 y en caso del escenario optimista que tomando el valor de $20 dólares se obtendría un valor de $ 12 144 790.84.

López et al., (2016) en su investigación denominado “Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades” fue realizado en la cuidad de Tabasco, México; determinaron el carbono almacenado en la biomasa

aérea de plantaciones de hule en diferentes edades que van desde los 5, 9, 15, 25, 32 y 51 años, haciendo uso del inventario dasométricos y ecuaciones alométricas. El C_2 almacenado lo determinaron mediante la regresión lineal analizando mediante comparación de promedios de Tukey a un $\alpha = 0.05$. los resultados que obtuvieron los investigadores fueron que, en las diferentes edades de las plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) es variada el contenido de C_2; los mejores valores obtenidos fueron en las plantaciones de 51 y 5 años de edad; el C_2 almacenado en la parte del fuste, en las ramas del árbol y la biomasa aérea total fueron de 192.32 Mg ha^{-1}, de 64.75 Mg ha^{-1} y 257.07 Mg ha^{-1} respectivamente correspondientes a las plantaciones de 51 años de edad. Para las plantaciones de 5 años de edad fueron 16.65 Mg ha^{-1}, 9.63 Mg ha^{-1} y 26.28 Mg ha^{-1}, respectivamente. Los investigadores concluyeron que *H. brasiliensis* puede considerarse como una fuente potencial de mitigación ante el cambio climático.

Brindis et al., (2020) en su investigación titulada “Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de agrosistemas tropicales en Tabasco, México” realizado en la cuidad de la Sierra de Tabasco, México; mediante sus investigaciones estimaron el almacenamiento de C_2 de la biomasa aérea de los agrosistemas de palma de aceite a una edad de siembra de 5, 8 y 18 años y también en pastizales y vegetación secundaria. La metodología utilizada por los investigadores para la estimación de C_2 en pastizales (PZ) fue mediante la interpolación a partir de la producción de materia seca. Los resultados que obtuvieron los investigadores fueron, la biomasa aérea y terrestre más elevada obtenida en los agrosistemas de

palma de aceite fue en la parcela PA18 con un valor obtenido de 106 Mg ha^{-1}, las parcelas PA8 y PA5, con 61 y 48 Mg ha^{-1} respectivamente. Siendo la estimación de la captura de C_2 en 60.05, 28.54 y 19.19 Mg C ha^{-1}. El resultado de las evaluaciones en la vegetación secundaria fueron los más elevados en biomasa aérea y terrestre y C_2 total en contraste con los pastizales. Los investigadores concluyeron que: la biomasa aérea y terrestre de los agrosistemas de palma de aceite es mejor en la captura de CO_2 en comparación con los pastizales, pero es menor a la vegetación secundaria.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Medina et al., (2020) realizaron una investigación titulada "Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la puna seca del suroeste del Perú" que fue realizado en el departamento de Arequipa. Para establecer el valor económico de la captura, secuestro y fijación de C_2 se establecieron cinco parcelas demostrativas provenientes de formaciones vegetales representativas para la estimación de la biomasa contenida en plántulas del Pajonal, Tolar, Bofedal, Yaretal y Queñual ubicadas en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (ciudad de Arequipa, Perú) estimándose el C_2 almacenado y capturado como CO_2 donde el valor económico calculado por el servicio ambiental donde se tomó del precio promedio de la Tn CO_2 a cual equivale en el mercado peruano. Los resultados que obtuvieron los investigadores fue de 13.507.104,16 TM de CO_2 equivalente en todas las Reservas, cuyo valor

económico fue de U$D 86,310.395.58, la Reserva Bofedal aporto un 52,48% del valor total obtenido, siendo poco representado en la superficie total de la Reserva (2,58%). Los investigadores recomiendan que en la toma de decisiones para fines diversos como son la concientización ambiental, instrumentos de gestión ambiental, contabilidad nacional, entre otros, sirva como referencia el valor económico obtenido.

Martel y Cairampoma (2012) en su publicación titulada "Cuantificación del Carbono Almacenado en Formaciones Vegetales Amazónicas en "CICRA", Madre de Dios (Perú)" fue desarrollado en la estación Biológica del Centro de Investigación y Capacitación Río Los Amigos (CICRA). En el CICRA se identificaron tres formaciones vegetales principales, el bosque de terraza, el bosque inundable y el aguajal. Siendo los bosques de terraza los de mayor extensión y mayor cantidad de carbono acumulado. Como resultado se valorizó la vegetación presente en el CICRA, en alrededor de 11 millones de dólares americanos. El ingreso a la oferta de los bonos de carbono promovería la conservación de los bosques.

Del Águila (2014) en su tesis de maestría titulada "Secuestro de CO_2 y almacenamiento de carbono en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke "tornillo" en tres edades diferentes en el CIEFOR - Puerto Almendra, río Nanay, Iquitos – Perú", cuya investigación fue realizada en el CIEFOR Puerto Almendra, Río Nanay, Iquitos; cuantificaron el secuestro y almacenamiento de CO_2, para ello, utilizó plantaciones de cedro de 27, 35 y 43 años de edad de siembra a campo definitivo. Realizaron un censo forestal a las plantaciones de cedro en investigación, registraron los datos

del diámetro a la altura del pecho (DAP), de la altura y de la georreferenciación de todos los árboles. Los resultados que obtuvieron los investigadores para las plantaciones de cedro de 27, 35 y 43 años de edad de siembra a campo definitivo fueron: una biomasa de 301,50 t/ha, 222,26 t/ha y 56,93 t/ha, un almacenamiento de C_2 de 186,93 tC/ha, 137,80 tC/ha y 35,30 tC/ha y un secuestro de CO_2 de 685,33 tCO_2/ha, 303,14 tCO_2/ha y 77,64 tCO_2/ha para las respectivamente. Demostrando mediante el análisis estadístico que el secuestro y almacenamiento de C_2 es directamente dependiente de la edad de la plantación afirmando los investigadores que el secuestro y almacenamiento de CO_2 es mayor cuanto mayor se incrementa la edad.

Guerra (2013) en su tesis de pregrado titulada “Valoración económica del secuestro de CO_2 y stock de carbono en plantaciones de *Simarouba amara* (Aublet) "marupa" en cinco edades diferentes en CIEFOR - Puerto Almendras, Iquitos – Perú”, investigación realizada en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) Puerto Almendra de la Facultad de Ciencias Forestales-UNAP – Loreto; donde determino el mayor secuestro de CO_2 en 5 plantaciones de diferentes edades. La población fue de 12 parcelas donde seleccionaron al azar 63, 5, 31, 35 y 7, 6, 17, 27, 35 y 44 años de edad de siembra midiéndose diámetro y altura de los árboles en investigación, aplicándose el modelo matemático propuesto por Intergovernmental Panel on Climate Change para calcular el CO_2. Estimándose el precio actual de 4,41 € la Tn CO_2 capturado siendo el equivalente de S/. 16,54 nuevos soles. Los resultados obtenidos por el investigador con mayores valores en secuestro de CO_2 fueron las

plantaciones de 27 años de edad con valores de 263,51 tCO_2 /ha con valor económico de 4358,52 SI. tCO_2/ha. El investigador al concluir su estudio recomienda a efectos de valorizar económicamente para el secuestro de CO_2 por los bosques de la Amazonía Peruana tener en cuenta los estudios de inventarios forestales realizados en diferentes concesiones de la región Loreto.

Ucañay (2014) en su tesis titulada “Valoración económica del secuestro de CO_2 en plantaciones de *Parkia sp*., “pashaco” de diferentes edades en el CIEFOR - Puerto Almendra, Iquitos – Perú”, la investigación fue realizado en el CIEFOR Puerto Almendra, Iquitos-Perú, donde realizaron la valoración económica del secuestro y almacenamiento de CO_2 en plantaciones de diferentes edades en una superficie de 3850 m^2; donde se consideró 3 parcelas. Los resultados que el investigador obtuvo fue que, la parcela de mayor valor económico fue la parcela de 27 años de edad de siembra con un monto calculado de US$ 1421,41/ha con una captura y almacenamiento de 265,19 tCO_2/ha en lo que va de los años de siembra, los de menor valor económico fueron las parcelas cuyos años de siembra fueron de 22 y 6 años con valores económicos de US$ €>43,05/ha y US$ 25; 21/ha respectivamente, haciendo el valor económico total de las 3 parcelas US$ .2089, 67/ha a una densidad de siembra de 5m x 5m. el investigador concluye que en la plantación de *Parkia sp*. "pashaco" está directamente relacionado edad de siembra – captura de CO_2.

Araujo (2014) en su tesis de pregrado titulada “Secuestro y valoración económica de CO_2 en tres plantaciones de diferentes edades de *Simarouba amara* del CIEFOR Puerto Almendras, Iquitos - Perú, 2013”

la cual fue realizado en el CIEFOR Puerto Almendra, Iquitos, Perú. Previo a su investigación realizo un inventario forestal de las plantaciones de 43, 27 y 34 años de edad de siembra para ser analizados y calculado el secuestro de CO2 en base a los parámetros de biomasa, el C_2 almacenado y así determinar su valor económico tomando como referencia el valor consignado la bolsa de SENDECO2. Los resultados al final de la investigación fueron que, en las plantaciones de 27 años de edad de siembra obtuvo mayor valor en secuestro de C_2 con un valor de 454,72 tCO_2/ha con un valor económico igual a US$ 2791,98/ha, las plantaciones de 34 y 43 años de edad de siembra el valor de secuestro de CO_2 fueron de 173,84 tCO_2/ha y 83,36 tCO_2/ha con valores económicos iguales a US$ 1067,38/ha y US$ 511,83t/ha respectivamente. El investigador concluye que, en las plantaciones de *Simarouba amara*, los árboles jóvenes tienen mayor índice de captura de CO_2.

Cabudivo et al., (2019) publicaron “Secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno del bosque de Puerto Almendra, Loreto, Perú”, investigación realizada en el bosque de Puerto Almendras, Arboretum “El Huayo” Loreto, Perú; las evaluaciones realizadas fueron a cuatro especies: *Alchornea triplinervia*, *Parkia velutina*, *Cedrelinga cateniformis* y *Eschweilera grandifolia* con densidad maderable que va desde la muy baja, baja, media y alta respectivamente. Los resultados que obtuvo el investigador al finalizar su evaluación fue que la especie *Eschweilera grandifolia* con una densidad maderable alta obtuvo mayor resultado en los parámetros de producción de biomasa, reservorio de C_2, secuestro de C_2 y emisión de O_2, seguido de *Cedrelinga cateniformis* con una densidad

maderable media y, mientras que por ha las especies *Eschweilera grandifolia* y *Alchornea triplinervia*. Los análisis estadísticos muestran diferencias altamente significativas en las variables en estudio: Densidad maderable-Biomasa, Densidad maderable – reservorio de C_2, Densidad maderable – Secuestro de C_2 y Densidad madera – Emisión de O2 con un valor de p=0,0244 con coeficiente de Pearson igual a r =0,97561.

Gutiérrez y Muñoz (2017) en su investigación de tesis de pregrado titulado “Reservas de carbono en la biomasa aérea de tres plantaciones de diferentes edades de *Theobroma cacao* L. en el centro de investigación Kapitari – Manacamiri, Perú, 2016”, investigación realizada en el departamento de Loreto. Evaluaron la altura y el Diámetro al Ras del Suelo (DRS) a un total de 750 individuos en plantaciones de 2, 4 y 6 años de edad de siembra, los parámetros evaluados fueron el almacenamiento del stock de C_2 y el CO_2 equivalente de la biomasa aérea en dos épocas diferentes de muestreo. Los resultados que obtuvieron los investigadores en las dos épocas diferentes de muestreo que las parcelas de 6 años de edad de siembra obtuvieron mayor valor en biomasa aérea, almacenamiento del stock de C_2, CO_2 equivalente de la biomasa aérea con valores de 15.51 Tn.MS/Ha, 9.33 Tn.C/Ha, 34.22 Tn.CO_2/Ha respectivamente, con una valorización económica de $ 205.35 Tn/año. Las parcelas de 4 y 2 años obtuvieron valores de 11.73 Tn.MS/ha y 2.75 Tn.MS/Ha en biomasa aérea, 7.04 Tn.C/ha y 2.20 Tn.C/ha en almacenamiento y el stock de C_2, 21.55 Tn.CO_2/ha y 8.06 Tn.CO_2/ha en CO_2 equivalente de la biomasa aérea con una valoración económica igual a $ 129.31 y $ 48.38 Tn/año respectivamente.

Navarro y Ruíz (2019) el presente estudio titulado “Estimación de captura de carbono de plantaciones de naranja en producción de diferentes edades en el distrito de Tingo de Saposoa, San Martin, 2019”, investigación que fue desarrollada la localidad de Ishpingo Lomo y La Isla; la evaluación fue realizada a dos diferentes edades de la plantación que fue de 5 y 15 años de edad de siembra en los parámetros de biomasa (árboles, hierbas, hojarasca y raíces). Los resultados de las evaluaciones fueron que, en ambas localidades donde se evaluaron las plantaciones el mayor valor en captura de C_2 fueron las plantaciones de 15 años de edad de siembra con valores de 109.279 tC/ha y 92.824 tC/ha respectivamente, en comparación con las plantaciones de 5 años de edad de siembra que fueron 72.957 tC/ha y 87.874 tC/ha respectivamente. Con el análisis estadístico que muestra que existe diferencias significativas y concluyeron que en las plantaciones de naranja, los que tienen una edad de 15 años de siembra tienen mayor captura de C_2.

Concha et al., (2007) en su investigación denominada “Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú”, investigación realizada en la cuidad de Juanjuí y Pachiza; donde evaluaron 6 diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) asociado con especies forestales maderables y frutales en diferentes edades de siembra que fueron de 5, 12 y 20 años de edad en la cual evaluaron la biomasa aérea. De las evaluaciones los resultados obtenidos en la captura de C_2 fueron, en el sistema agroforestal de Pachiza en las plantaciones de 5 y 12 años de edad los valores

obtenidos fueron de 26.2 t C ha^{-1} y 45.07 t C ha^{-1} respectivamente; como también la captura de C_2 en biomasa arbórea de los árboles vivos, fue de 12.09 t ha^{-1} hasta 35.5 t ha^{-1} respectivamente, la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t ha^{-1} hasta 9.97 t ha^{-1}; la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos los valores fueron muy variables y bajos, la biomasa de hojarasca los valores fueron de 4 t ha^{-1} y 9.97 t ha^{-1} respectivamente, siendo la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos que presentaron valores muy variables y bajos. Las reservas de C_2 de los sistemas agroforestales que se encuentran por encima de los 40 t C ha^{-1} que representan el 66.7% son las plantaciones de 12 y 20 años de edad de siembra y las plantaciones de 5 años de edad de siembra se encuentra por debajo del valor de 30 t C ha^{-1}. Los investigadores concluyeron que en la localidad de Juanjuí y Pachiza las plantaciones de 5 años de edad de siembra presentaron mayor flujo de C_2 anual, con mayor beneficio económico por créditos por CO_2 equivalente.

Lapeyre et al., (2004) en su publicación titulada “Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú”; realizado en el departamento de San Martin, las evaluaciones fueron en Bosque primario, Bosque secundario de 20 y 50 años de edad, sistemas agrícolas locales maíz (*Zea maíz*), arroz (*Oriza Sativa*), pastos (Brachiaria) y sistemas agroforestales con café (*Coffea arábica*) bajo sombra y cacao (*Cacao sp*.). los resultados obtenidos fueron; realizando el cálculo correspondiente en el bosque primario obtuvo 485 tm C ha^{-1} que fue mayor en comparación al bosque secundario de 50 años y de bosque descremado de 20 años. Realizaron una comparación

entre el bosque primario y secundario de 50 años de edad fue de 234 tm C ha^{-1} que representa más del 50% en reducción de las reservas de C_2, perdiendo más del 80% de las reservas de C_2 que fue de 62 tm C ha^{-1} en bosque descremado de 20 años, las reservas de C_2 en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos fue menor al total de la biomasa aérea, sin embargo, fue mayor para sistemas agroforestales, valores de 19 a 47 tm C ha^{-1} obtuvieron los sistemas agroforestales en el secuestro de C_2 valores que dependieron de la especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo y recuperan el potencial de captura en forma productiva, para los sistemas agrícolas la captura de C_2 fue de 5 tm C ha^{-1} generando fugas de GEI al usar agroquímicos y quema de rastrojos, entre otros.

Najera et al., (2023) en su tesis titulada “Población necesaria de *Prunus serótina*, para establecer un balance de las emisiones y el secuestro de CO_2 en la provincia de Chupaca, región Junín, en el año 2022”, investigación realizada en el departamento de Junín donde evaluaron 21 especies de *Prunus serótina*. Los resultados que obtuvieron los investigadores fueron que en 21 plantas en investigación secuestraron un total de 0.70 TM de CO_2/año, el 18.7% es liberado a través de la respiración y por oxidación, y el 81.3% es retenido en la planta, en sus hojas, tallos y ramas, estimándose que para el año 2030 el secuestro del CO_2 por la especie *Prunus serótina* estará valorizado entre USD 23,345 – 46,690 t CO_2 /ha. Los investigadores concluyeron que para el año 2030 es necesario tener una plantación de *Prunus serótina* con 452,598 individuos para generar un balance en las emisiones y secuestro de CO_2 en la provincia de Chupaca, región Junín.

Herquinio (2022) en su tesis titulada “Estimación de biomasa y carbono en *Eucalyptus globulus* Labill en tres edades diferentes utilizando ecuaciones alométricas, en el Distrito de Molinos, Jauja” realizado en Molinos distrito de Jauja-Junín, el objetivo de la investigación fue estimar la biomasa aérea total y carbono total de la especie forestal *E. globulus* L. en edades diferentes mediante el uso de ecuaciones alométricas considerando el DAP. Las edades de las plantaciones fueron de 9, 11 y 50 años; realizado por el método destructivo. El resultado fue: 9 años la biomasa = 4212.89 kg y carbono = 1895.8 kg, de 11 años la biomasa = 9538.11kg y carbono = 4330.15 kg y de 50 años la biomasa = 73106.51 kg y carbono = 32951.92 kg. La diferencia de la estimación de biomasa aérea total y carbono total fueron, para biomasa a 9 años = 4212.89 kg < 11 años 9538.11 kg < 50 años = 73106.51 kg y para carbono 9 años = 1895.8 kg < 11 años = 4330.15 kg < 50 años = 32951.92 kg; la ecuación alométrica polinómica de segundo grado es apropiada para estimar biomasa aérea y carbono a 9 y 50 años, a 11 años la ecuación alométrica polinómica de segundo grado estimar la biomasa y la ecuación potencial estima el carbono.

Mírez (2021) en su investigación titulada “Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Pinus patula* de diferentes edades en la jalca del distrito de Chalamarca, Chota – Cajamarca” investigación realizada en el departamento de Cajamarca donde probaron modelos alométricas que mejor estimen la biomasa aérea y C_2 en plantaciones de diferentes edades, calculando la biomasa aérea del fuste, ramas y follaje a través del método destructivo en nueve árboles donde las muestras obtenidas fueron

secadas por 5 días en la estufa a 105°C para evaluar la biomasa seca. Los estimadores estadísticos fueron R_2, r_2 ajustado, RECM, Sxy, E y el AIC con el propósito de encontrar el mejor modelo alométrico para la plantación en investigación, siendo para biomasa el modelo adecuado $Log\ (BA)$=−1.26088+0.86431$*\ Log\ (d2 + ht)$ + €, y para almacenamiento de CO_2 es el modelo $Log\ (CC)$= −1.56191 + 0.86431 $(d2* ht)$ +€. Los investigadores concluyeron y recomendaron que el mejor modelo alométrico son el que utiliza el DAP y la ht como variables, aplicando este modelo para las plantaciones de 15, 10 y 5 años instaladas bajo condiciones edafoclimática almacenan 26.422 t CO_2/ha, 16.944 t CO_2/ha y 8.267 t CO_2/ha, respectivamente, siendo que el CO_2 que se almacena esta principalmente en el fuste del árbol.

Herrera (2011) en su tesis titulado “Estimación de la biomasa y carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado”, investigación que fue realizado en 10 comunidades de la provincia de Leoncio Prado – Huánuco en sistemas agroforestales de cacao + guaba y cacao + bolaina en las edades de 2-3, 3-4 y de 4-5 años de edad de siembra en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.), guaba (*lnga edulis* Mart.), bolaina (*Guazuma crinita* Lam.), en la parte del suelo, hojarasca y arbustos, los parámetros de evaluación fueron: para las especies arbustivas y hojarasca la evaluación de la biomasa fue a nivel de la hectárea y para el C_2 almacenado en el suelo fue a través del análisis de suelo de los sistemas agroforestales tomadas con un tubo muestreador. Los resultados que obtuvieron fueron que, hubo mayor almacenamiento de

C_2 a nivel de las plantaciones con edades de 2-3, 3-4 y 4-5 años en los sistemas agroforestales de cacao + guaba con valores de 39.00, 43.75 y 62.11 t C/ha respectivamente, al sistema agroforestal de cacao + bolaina tuvo 33.99, 40.62 y 51.41 t C/ha en plantaciones con las edades iguales, en las edades de 2-3, de 3-4 y 4-5 años del sistema agroforestal cacao + guaba fue: cacao fue de 6. 78, 8.32 y 9.68 t C/ha respectivamente y la guaba (*Inga edulis* Mart.) obtuvo valores de 17.94, 24.31 y 40.36 t C/ha respectivamente, el sistema agroforestal cacao + bolaina para el cacao fue de 5.36, 6. 72 y 8.58 t C/ha y la bolaina 15.22, 20.21 y 29.48 t C/ha respectivamente.

2.1.3. Antecedentes locales

Vásquez (2018) en su tesis de posgrado titulada “Determinación de la captura de carbono en plantaciones de Camu camu *Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh de diferentes edades en el distrito de Yarinacocha, departamento de Ucayali, Perú” realizado en el departamento de Ucayali; investigo el potencial de captura de carbono de plantaciones de camu camu *Myrciaria dubia* H.B.K Mc Vaugh de diferentes edades en el distrito de Yarinacocha de la Región Ucayali. La biomasa total por edades, en hojas de 5 y 10 años tienen 8,6%, de 15 años con 7,8%; biomasa de tallo de, de 5 años es 19,6 kg, de 10 años es 18,903 kg, y de 15 años es 21,687 kg. La ecuación alométrica encontrada fue 7,823. El investigador concluye que la cantidad de carbono fijado por plantas de camu camu de 15 años de edad tiene mayor captura de carbono en tallos con 21,93 Kg/Carbono y en hojas hay mayor captura de carbono en plantas de 10 años. La cantidad

de carbono por edades en camu camu, en plantas de 15 años la captura de CO_2 es 13,03 toneladas y de 5 a 10 años con 11,04 y 11,06 toneladas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Secuestro y Almacenamiento de CO_2

La Enciclopedia Británica define el secuestro de carbono como “el almacenamiento a largo plazo de carbono en plantas, suelos, formaciones geológicas y el océano”. El secuestro de carbono es un fenómeno natural: las plantas, por ejemplo, necesitan dióxido de carbono para vivir. Lo absorben del aire para crecer (ClimateTrade, 2023).

Los seres humanos pueden influir en este fenómeno, tanto para bien como para mal. La deforestación global y la agricultura intensiva han disminuido la absorción de carbono de las plantas y los suelos. Pero los humanos también son capaces de inventar nuevas estrategias y tecnologías para secuestrar más carbono, lo que ayuda a llevar nuestro mundo a cero emisiones netas (ClimateTrade, 2023).

El secuestro o captura de C_2 o extracción de CO_2 (CDR) define como la captura o retirada a largo plazo del CO_2 de la atmósfera para retrasar o disminuir la contaminación de CO_2 atmosférica con el propósito de mitigar el calentamiento global. (Sedjo y Sohngen, 2012)

El secuestro de C_2 se da mayormente por plantar árboles. Las plantas son una de las formas que el planeta tiene para almacenar el CO_2. Sin embargo, los estudios señalan que la reforestación masiva en el no alcanza para equilibrar o contrarrestar las emisiones de CO_2 y, además,

altera la biodiversidad. La Agencia Internacional de la Energía (IEA) hace hincapié en la búsqueda de alternativas de secuestro de C_2 eficientes, sostenibles y económicas para en el cambio de aquellos sectores de difícil descarbonización (BBVA, 2021).

El secuestro de carbono en el suelo es la remoción del carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis de las plantas y su almacenamiento como forma de materia orgánica estable y de larga vida en el suelo. (Panichini y Ovalle, 2021)

Es la captura, fijación y almacenamiento de CO_2 tomado de la atmósfera para su almacenamiento en sumideros ecológicos, como ejemplo tenemos a la materia orgánica que se encuentra en el suelo. El secuestro de C_2 se cuantifica como cambios en el stock de CO del suelo (COS). Esto puede ocurrir en respuesta a cambios en el manejo de la tierra, como son: el incremento en el uso de fertilización, el riego, o se dan en respuesta a cambios en el uso de la tierra, es decir, la conversión de cultivos a forestación (FONTAGRO, 2020).

2.2.2. Tipos de secuestro de carbono

El secuestro de carbono ocurre tanto de forma natural como resultado de la actividad humana. Pero también se puede dividir en varias categorías, según dónde y cómo se absorba el CO_2.

Según ClimateTrade, (2023) se clasifican en:

- **Biosecuestración**: Cuando el dióxido de carbono es absorbido por los ecosistemas naturales, el proceso se denomina

biosecuestración. Puede tener lugar tanto de forma natural como con una pequeña mano amiga de los humanos.

- **Secuestro natural**: El carbono está siendo constantemente absorbido por la naturaleza. Las turberas, los bosques y los humedales son bien conocidos por su capacidad de absorción. En todo el mundo, hay más de 3 millones de kilómetros cuadrados de turberas naturales que secuestran 0,37 gigatoneladas de CO_2 al año. Sus suelos contienen más de 600 gigatoneladas de carbono (hasta el 44% de todo el carbono del suelo): esto es más almacenamiento de carbono que cualquier otro tipo de vegetación. Por otro lado, los bosques más productivos pueden llegar a secuestrar hasta 11 toneladas de CO_2 por hectárea al año. A nivel mundial, los bosques están almacenando alrededor de 400 gigatoneladas de carbono, y los bosques tropicales secuestran más que los de climas fríos.

- **Carbón farming (cultivo del carbono)**: El carbón farming, la agricultura regenerativa o incluso la agrosilvicultura son términos que se refieren a la implementación de prácticas agrícolas que aumentan el potencial de secuestro de carbono dentro de la producción de alimentos. Estas prácticas incluyen sembrar sin labrar y rotar cultivos, cultivos de cobertura y ganado para promover una mejor salud del suelo. Requieren cambios drásticos de la agricultura convencional, que agota el suelo y conduce a su desertificación. La agricultura regenerativa se considera cada vez más como una parte

importante de la solución climática, y los gobiernos de todo el mundo ahora están desarrollando regulaciones para el carbón farming.

- **Captura y almacenamiento de carbono:** Aparte de los procesos naturales que almacenan carbono, también es posible capturar las emisiones de CO_2 de una fuente (típicamente, la producción industrial) y almacenarlas “manualmente” en una variedad de lugares. Generalmente involucra lo que se llama un dispositivo de captura y almacenamiento de carbono (carbón capture and storage o CCS).

- **Secuestro geológico:** La Tierra está llena de agujeros subterráneos, creados por procesos geológicos naturales, minería o extracción de petróleo y gas. Ahora, los científicos están usando estos agujeros para almacenar carbono después de capturarlo. Esto suena simple, pero implica un proceso complicado: el CO_2 debe comprimirse a unos 100 bar para convertirlo en un fluido supercrítico. De esta forma, se puede transportar a través de tuberías hasta el lugar de almacenamiento e inyectar a gran profundidad, normalmente alrededor de 1 km, donde permanece estable durante milenios. Se estima que hasta el 90% de las emisiones de carbono del uso industrial de combustibles fósiles podrían ser capturadas por CCS, algunas de ellas almacenadas de esta manera.

- **Secuestro en las algas:** Otra técnica de secuestro involucra algas, una planta acuática que tiene una alta capacidad de absorción de

carbono. Se estima que las algas que crecen naturalmente en los océanos de la Tierra secuestran actualmente 173 millones de toneladas de CO_2 por año, a razón de 50 toneladas o más por hectárea.

- **Secuestro químico**: Finalmente, los científicos también han desarrollado otro tipo de secuestro de carbono a través de un proceso químico llamado carbonatación mineral. Basado en la reacción del CO_2 con materiales que contienen óxidos metálicos (típicamente calcio y magnesio) para formar carbonatos insolubles, permite el secuestro de carbono en materiales industriales, incluido el cemento. Varios startups ahora están produciendo cemento y concreto para la construcción, inyectándolo con CO_2 capturado. Esta técnica muestra una gran promesa para descarbonizar el sector de la construcción.

2.2.3. Fijación de CO_2

La fijación de carbono fotosintético es un proceso biológico fundamental que utiliza la energía de la luz para convertir el carbono inorgánico en los compuestos orgánicos necesarios para mantener la gran mayoría de la vida en la Tierra. (Gaut y Adamala, 2020)

El autor Geider et al., (2001) define la fijación de C_2 como la transformación de carbono inorgánico (en forma de CO_2) en compuestos orgánicos realizada por seres vivos y pone de ejemplo más importante a la fijación de C_2 en la fotosíntesis en la fase oscura y la quimiosíntesis la cual

se da en ausencia de luz. Menciona a los autótrofos como organismos que crecen fijando C_2, que incluyen a los fotoautótrofos las cuales sintetizan compuestos orgánicos en presencia de energía de la luz, y los litoautótrofos, que sintetizan compuestos orgánicos utilizando la energía producida por oxidaciones inorgánicas. Los heterótrofos crecen utilizando el C_2 fijado en compuestos orgánicos por los autótrofos y así generan energía para para la construcción de sus estructuras corporales. Las expresiones "carbono fijado", "carbono reducido", y "carbono orgánico" son equivalentes para varios compuestos orgánicos.

Las emisiones de CO_2 generado por los humanos resultado de las actividades forman las principales causantes del efecto invernadero. Los bosques ejercen un efecto sobre el cambio climático por medio de la fotosíntesis fijan CO_2 una parte en sus órganos y estructura, y el resto termina el proceso de la respiración del árbol transformándose en oxigeno que es liberado de vuelta a nuestra atmósfera (Apadrinaunolivo, 2022).

Fijación de CO_2 y sus procesos por la planta

La capacidad de las plantas es la producción moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas utilizando procesos especializados como el ciclo de Calvin, ciclo de Calvin-Benson o ciclo de la fijación del C_2 de la fotosíntesis. En el ciclo de Calvin se produce la fijación de C_2, reducción y regeneración. (Rothschuh, 2023)

2.2.4. Dióxido de carbono (CO_2)

El dióxido de carbono (fórmula química CO_2) es un compuesto de carbono y oxígeno que existe como gas incoloro en condiciones de temperatura y presión estándar (TPS). Está íntimamente relacionado con el efecto invernadero. (George et al., 2007)

El dióxido de carbono es un gas inodoro, incoloro, ligeramente ácido y no inflamable. Es soluble en agua cuando la presión se mantiene constante, y está formado por una molécula lineal de un átomo de carbono ligado a dos átomos de oxígeno, de la forma O = C = O. (PRTR, 2007)

El CO_2 es un gas incoloro e inodoro compuesto por un átomo de C_2 y dos de oxígeno en enlaces covalentes. Realmente el CO_2 forma parte de la naturaleza y es indispensable para la vida en la Tierra. De no existir el CO_2 las plantas no existirían, ya que lo necesitan para la fotosíntesis. El CO_2 no es realmente un tóxico, en el sentido de daño o envenenamiento por inhalación, los seres vivos exhalan en la respiración. Se encuentra de forma natural en la atmosfera a concentraciones que varían de 300 ppm a 550 ppm dependiendo de si medimos en entornos rurales o urbanos. (Instituto para la Salud Geoambiental, 2022)

El C_2 es un elemento químico. El cuarto elemento más abundante del universo y es básico para la vida en la Tierra; el ser humano contiene 18% C_2. Al mesclase con oxígeno forma el CO_2, en la respiración los seres humanos inhalan oxígeno y exhalan CO_2 al respirar, es vital para las plantas al realizar la fotosíntesis. El ciclo del CO_2 funciono por miles de años dentro integrador de un equilibrio natural. (Aunión y Planelles, 2020)

El dióxido de carbono (CO_2) y los efectos en el medio ambiente

El CO_2 es el principal gas de efecto invernadero que se emite a raíz de las actividades del ser humano.

El CO_2 se encuentra de forma natural en la atmósfera formando el ciclo del C_2 en la Tierra que consta de la circulación natural de C_2 entre la atmósfera, los océanos, la tierra, las plantas y los animales. Las actividades del ser humano desde la revolución industrial son las responsables de alterar la forma natural con la que el C_2 circula en la atmosfera debido a que liberan más CO_2 de los que la misma naturaleza puede eliminar, siendo la combustión de carbón, gas natural y petróleo la principal actividad humana en emitir CO_2 en grandes cantidades. (US EPA, 2023)

En el medio ambiente, el CO_2 es la sustancia que más contribuye al efecto invernadero, es decir, que absorbe gran parte de la radiación solar incidente, reteniéndola cerca de la superficie terrestre y produciendo un calentamiento progresivo de la misma. (PRTR, 2007)

Según la organización Fundación Red de Árboles (2018) menciona que el aumento de las emisiones de CO_2 a la atmosfera se originan principalmente por:

- **Contaminación:** La quema de combustible fósil utilizado por diversos medios de transportes motorizados, algunas actividades económicas industriales que mediante el proceso de transformación de la materia prima en un producto acabado generan grandes emisiones de CO_2 a la atmosfera durante el proceso y la

deforestación, son las principales causas de emisión gases aumentado el nivel de contaminación en el planeta.

- **Efecto invernadero:** El CO_2 es el responsable del 70% del calentamiento global, las emisiones de este gas se incrementaron en un 30% generando impactos ambientales negativos.

- **Impacto a los océanos:** El CO_2 influye en la acidificación de las aguas generando que los moluscos pierdan parte o total de su exoesqueleto debido a que estos están conformados por $CaCO_3$, también tiene un efecto negativo en los peces de agua salada, porque les genera la pérdida del sentido del olfato, auditivo y el instinto natural de escapar de un depredador.

2.2.5. Carbono orgánico

Se denomina Carbono Orgánico Total (TOC, siglas en inglés) al carbón que forma parte de las sustancias orgánicas de las aguas superficiales. Actualmente existen muchas sustancias naturales y artificiales que contribuyen a incrementar los niveles de TOC en el ambiente, no obstante, esta sustancia puede ser descompuesta por microorganismos, durante el proceso de consumo de oxígeno (PRTR, 2007).

El CO del suelo (COS) a pesar de ser una parte pequeña parte del ciclo global del C_2 es crucial, en cuyo ciclo incluye al suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera, y es mayor al C_2 contenido en la atmósfera teniéndose así un aproximado de 1,500 Pg C en el primer metro de suelo

de COS en comparación con la atmosfera y la vegetación terrestre que son de 800 Pg C y 500 Pg C respectivamente. (Lefévre et al., 2017)

Carbono orgánico procede del carbono atmosférico fijado por las plantas a través de las reacciones de la fotosíntesis, incorporándose al suelo con restos de plantas y exudados de las raíces. Los residuos vegetales y los exudados de las raíces son las principales fuentes de carbono orgánico para el suelo. Los residuos de animales y microorganismos también contribuyen al carbono orgánico del suelo, pero en menor cantidad (García, 2018).

El carbono orgánico del suelo (el carbono almacenado en la materia orgánica del suelo) es crucial para la salud y fertilidad del suelo, así como para los servicios ecosistémicos, incluyendo la producción de alimentos hacienda su preservación y restauración esencial para el desarrollo sostenible (FAO, 2023).

Ciclo del carbono

Presenta dos fases que son a corto plazo y a largo plazo. A corto plazo involucra ciclos, procesos, transiciones y difusiones entre la atmósfera y la corteza terrestre en un tiempo relativamente corto como, por ejemplo: la fotosíntesis, así como también la respiración, transpiración y evapotranspiración de plantas, etc. A largo plazo involucra procesos de transición, movimientos y procesos más complejos a nivel de la litosfera como por ejemplo tenemos la liberación de C_2 por desgaste y erosión de las rocas, el ciclo de las rocas que en el proceso liberan CO_2 (California Academy of Sciences, 2023).

Según el autor Smith (2023) el ciclo de C_2 se encuentra compuesto por cuatro procesos principales que son la combustión, fotosíntesis, respiración y descomposición, el autor detalla a continuación los procesos mencionados:

- **La combustión**: Utilizada para generar diferentes y variadas actividades de los seres humanos y como resultado es la liberación de CO_2 a la atmosfera, el exceso de emisiones de este gas es perjudicial para el planeta.

- **La fotosíntesis**: Proceso fundamental de los seres autótrofos que para generar sus propios alimentos captan CO_2 entre otros.

- **La respiración celular**: Proceso fundamental de los seres vivos para generar energía en la cual libera CO_2.

- **La descomposición**: Es el deterioro de la materia viva orgánica por organismos descomponedores liberando mediante este proceso el CO_2 hacia la atmósfera.

Durante el ciclo del carbono, los animales y las plantas liberan dióxido de carbono a la atmósfera mediante la respiración celular y las plantas captan dióxido de carbono mediante la fotosíntesis. La quema de combustibles fósiles libera más dióxido de carbono a la atmósfera, lo que contribuye al calentamiento global (CK-21 Foundation, 2021).

Calentamiento global

Es el proceso que realiza el planeta que es la absorción de la energía solar que al calentarse libera energía en forma de calor hacia la atmósfera como rayos infrarrojos, pero debido a las excesivas emisiones de CO_2 hacia la atmósfera esto genera un bloque cuyo efecto es el retorno del calor liberado hacia la superficie terrestre incrementando la temperatura en la atmósfera y océanos (Manos Unidas, 2023).

La actividad humana, por su parte, ha sido la responsable de emitir una mayor cantidad de gases a la atmósfera, provocando un aumento mayor de la temperatura y como consecuencia, generando un calentamiento global. (Manos Unidas, 2023)

En términos climatológicos, se define como el aumento a largo plazo de la temperatura atmosférica media del sistema climático del planeta esto debido a la intensificación del efecto invernadero, esto es debido principalmente a las actividades de la humanidad de forma desmedida en los últimos tiempos (Wikipedia, 2023).

2.3. Definiciones de términos básicos

- **Secuestro de carbono**: Se define como la remoción de CO2 de la atmósfera y su almacenamiento en sumideros ecológicos. (FONTAGRO, 2023)

- **Biomasa**: Es un tipo de energía renovable generada a partir de la combustión de materia orgánica, la cual se origina a partir de diferentes procesos que suceden en el día a día. (Santander, 2023)

- **Biomasa aérea:** (AGB, por sus siglas en inglés) es un indicador de la productividad de las plantaciones forestales que permite conocer su estado de desarrollo y el potencial de rendimiento en volumen. (Tovar et al., 2020)

- **Ecosistemas forestales:** Son el hábitat de la vida silvestre, que incluye las plantas y animales que viven libres en él y están expuestos a sus procesos naturales. (Hoja Verde, 2021)

- **Sumideros de carbono:** Considerado como grandes reservorios o almacenamiento de C_2 y son sistemas naturales en la cual ingresa el CO_2 al sistema por fotosíntesis quedando almacenado en los diferentes órganos de las plantas y árboles, otra parte queda almacenado en el suelo. (Gruber et al., 2019)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo de experimental, correlacional, de laboratorio y campo con enfoque cuantitativo; porque permitió establecer la relación existente entre las variables: secuestro de CO_2 y fijación de carbono y las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) de 6, 7 y 9 años de edad de siembra, se determinó el grado de relación entre las variables en un tiempo específico, fue hipotético deductivo, porque se planteó una hipótesis de trabajo. (Hernández, 2014). Por su función de su propósito esta investigación fue aplicada, porque se buscó generar información del secuestro de CO_2 y su aprovechamiento en plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres diferentes edades de crecimiento como define Álvarez (2020) a la investigación aplicada: “Cuando la investigación se orienta a conseguir un nuevo conocimiento que permita soluciones de problemas dentro de los procesos industriales”.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población estuvo conformada por las plantaciones forestales ubicadas en las parcelas experimentales de la Universidad Nacional de Ucayali.

3.2.2. Muestra

Las muestras de la investigación fueron de tipo no probabilística, por la manipulación intencional al seleccionar los mejores árboles de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) de 6, 7 y 9 años de edad de siembra. El área de las muestras varía de acuerdo a las edades de las plantaciones de eucalipto.

3.3. Diseño estadístico

Se utilizó un arreglo factorial de dos factores: AxB en un DCA con 2 repeticiones a un α=0,05. Cada unidad experimental (UE) estuvo conformado por un tratamiento; cada tratamiento consto de un árbol de eucalipto. Cada tratamiento tuvo 2 repeticiones.

3.3.1. Descripción del Factor A y el Factor B en Investigación

Factor A: Plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*)

- a_1= árboles de eucalipto de 6 años.
- a_2= árboles de eucalipto de 7 años.
- a3= árboles de eucalipto de 9 años.

Factor B: Almacenamiento de CO_2

- b_1= biomasa aérea.
- b_2= muestra de suelo 0 – 10 cm de profundidad.
- b_3= muestra de suelo 10 – 20 cm de profundidad.
- b_4= muestra de suelo 20 – 30 cm de profundidad.

Tratamientos (combinación del Factor A y Factor B).

- T_1: A_1B_1
- T_2: A_1B_2
- T_3: A_1B_3
- T_4: A_1B_4
- T_5: A_2B_1
- T_6: A_2B_2
- T_7: A_2B_3
- T_8: A_2B_4
- T_9: A_3B_1
- T_{10}: A_3B_2
- T_{11}: A_3B_3
- T_{12}: A_3B_4

Tabla 1

Descripción de los tratamientos en estudio de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Trat.	Descripción de los Tratamientos
T_1: a_1b_1	Árboles de eucalipto de 6 años + biomasa aérea
T_2: a_1b_2	Árboles de eucalipto de 6 años + muestra de suelo 0 – 10 cm de profundidad
T_3: a_1b_3	Árboles de eucalipto de 6 años + muestra de suelo 10 – 20 cm de profundidad
T_4: a_1b_4	Árboles de eucalipto de 6 años + muestra de suelo 20 – 30 cm de profundidad
T_5: a_2b_1	Árboles de eucalipto de 7 años + biomasa aérea
T_6: a_2b_2	Árboles de eucalipto de 7 años + muestra de suelo 0 – 10 cm de profundidad
T_7: a_2b_3	Árboles de eucalipto de 7 años + muestra de suelo 10 – 20 cm de profundidad
T_8: a_2b_4	Árboles de eucalipto de 7 años + muestra de suelo 20 – 30 cm de profundidad
T_9: a_3b_1	Árboles de eucalipto de 9 años + biomasa aérea
T_{10}: a_3b_2	Árboles de eucalipto de 9 años + muestra de suelo 0 – 10 cm de profundidad
T_{11}: a_3b_3	Árboles de eucalipto de 9 años + muestra de suelo 10 – 20 cm de profundidad
T_{12}: a_3b_4	Árboles de eucalipto de 9 años + muestra de suelo 20 – 30 cm de profundidad

Los promedios de las variables respuestas fueron analizadas mediante la prueba de Tukey por adaptarse mejor al diseño estadístico, a un nivel de significación de α=0,05. La información obtenida será procesada en el programa estadístico MiniTab 17.

3.3.2. Modelo Aditivo de Varianza

$$Y_{ijk} = u + a_i + b_j + a_{bij} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} = Observación de la variable respuesta obtenida del tratamiento con el i-ésimo nivel A, el j-ésimo nivel B y la repetición k-esima

u = Media general.

a_i = Efecto de i – ésimo nivel del factor A.

b_j = Efecto de j – ésimo nivel del factor b.

a_{bij} = Efecto de la interacción del i – ésimo nivel del factor A y el j – esima nivel del factor B en su repetición k.

e_{ijk} = Error del modelo.

3.3.3. Análisis de Varianza (ANVA)

F.V = Fuentes de Variabilidad.

G.L = Grados de Libertad.

Tabla 2

Análisis de Varianza (ANVA)

F. V	G. L
Factor A	(3-1)
Factor B	(4-1)
Interacción AB	(3-1) (4-1)
Error	por diferencia
Total	**abr-1**

3.4. Hipótesis, variables y operacionalización de las variables

3.4.1. Hipótesis

El potencial de secuestro de dióxido de carbono (CO_2) y su almacenamiento será mayor en una de las tres edades diferentes de crecimiento en las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) ubicado en las parcelas experimentales de la Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa. Ucayali, Perú.

3.4.2. Variables

Independientes

- Plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) de diferentes edades.

Dependientes

- Contenido de CO_2 en la en la biomasa aérea de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) de diferentes edades de crecimiento.

- Contenido de CO_2 en el suelo dentro de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) de diferentes edades de crecimiento.

3.4.3. Operacionalización de las Variables

Variables independientes

- Dado que el estudio de la investigación se centró en el secuestro y almacenamiento de CO_2 en las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*), estuvo determinado por diferentes edades de siembra de las plantaciones de eucalipto en diferentes niveles de la planta; biomasa aérea y biomasa subterránea (raíces, muestra de suelo a diferentes profundidades).

Variables dependientes

- Se determinó el contenido CO_2 en la biomasa aérea del árbol, así como también en las raíces y el suelo a diferentes profundidades; 0 -10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm.

Datos a registrar

- Contenido de CO_2 en la biomasa aérea en los árboles de eucalipto (*Eucaliptus grancam*).
- Contenido de CO_2 en el suelo dentro de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) de diferentes edades.
- Número de árboles muestreados de la plantación de eucalipto (*Eucaliptus grancam*).
- Contenido de CO_2 en Tn/ha.
- Fijación del precio del carbono.

3.5. Instrumento de recolección de datos

Para el proceso de la información tomada durante el estudio se siguió:

- Un modelo aditivo de varianza: $Y_{ijk} = u + a_i + b_j + a_{bij} + e_{ijk}$
- Análisis de Varianza (ANVA).

3.6. Técnicas de recolección de la información

La recolección de información estuvo conformada por el formato de evaluación de campo y que constará de dos partes: **i)** La primera es la evaluación del contenido de CO_2 en la biomasa aérea de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*). **ii)** La segunda es la evaluación del contenido de CO_2 en el suelo de las plantaciones de eucalipto (Eucaliptus grancam).

Taba 3

Operacionalización de las variables

Objetivos específicos	Recolección de datos
Determinar la cantidad de CO_2 capturado y almacenado en las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes.	La técnica de evaluación de datos será la observación directa en campo, se recogerán muestras de biomasa aérea y muestras de suelo a diferentes profundidades para ser analizados en laboratorio.
Determinar la cantidad de CO_2 capturado y almacenado en el suelo a diferentes profundidades dentro de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes.	Con los datos obtenidos de los resultados de laboratorio se procederá al análisis y cálculo estadístico para comprobar si existen diferencias significativas entre los tratamientos en investigación y así poder determinar la mejor edad de crecimiento para fijar mejor el CO_2
Evaluar la relación captura de carbono-edad de crecimiento en una plantación de eucalipto (*Eucaliptus grancam*).	Con los resultados estadísticos se procederá a la creación de una tabla de relación de secuestro de CO_2 - plantación de eucalipto en 3 diferentes edades.
Diseñar una estrategia de manejo de la plantación para el mejoramiento del secuestro y almacenamiento de CO_2.	Con los resultados de laboratorio y la tabla de evaluación carbono-edad de crecimiento se procederá a formular estrategias para mejorar e incrementar el secuestro y almacenamiento de CO_2 en las plantaciones de eucalipto en las parcelas experimentales de la UNU.

3.7. Instrumentos para la recolección de datos

3.7.1. Material biológico

El material biológico utilizado fueron plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*).

3.7.2. Material de campo

Los materiales de campo empleados fueron: Gorra con visera, camisa manga larga, botas de jebe, machete, pala, libreta de campo, lápiz, lapicero, plumón, costales de 50 Kg de capacidad, GPS, cámara fotográfica, balanza romana y gramera, soga, clinómetro, wincha, cinta métrica flexible.

3.7.3. Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio utilizados fueron muestras de tejido vegetal y biomasa de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*), muestra de suelo a diferentes profundidades.

3.7.4. Material de gabinete

Los materiales de gabinete empleados en el estudio fueron: computadora de escritorio, impresora multifuncional, materiales y útiles de oficina, balanza analítica.

3.8. Procedimientos de recolección de datos

3.8.1. Ubicación del área de estudio

La ejecución del experimento estuvo ubicada en las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) ubicado en las parcelas experimentales de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicada en la Carretera Federico Basadre km 6.500 margen izquierda, camino desde Pucallpa hacia Tingo María. Región Ucayali, provincia de Coronel Portillo, distrito de Callería, localizado en las siguientes coordenadas geográficas: 08º23’39.6’’ de latitud sur y 74º34’39.8’’ de longitud oeste; Altitud 154 m.s.n.m.

El clima según el Sistema Holdrige, Ucayali se clasifica como “bosque húmedo tropical” y según la clasificación de los bosques amazónicos pertenece al ecosistema “bosques tropicales semi-siempre verde estacional”. (Cochrane, 1982).

Según SENAMHI (2024) la temperatura máxima es de: 31 °C a 33 °C en áreas de Loreto y de 29 °C a 31 °C en Ucayali y Madre de Dios. La temperatura mínima es de: 21 °C a 23 °C en el Loreto y de 19 °C a 21 °C en Ucayali y Madre de Dios. La precipitación anual es de: de 2000 mm a 3500 mm aproximadamente.

Figura 1

Imagen tomada de Google Earth mostrando la ubicación del área de investigación, coordenadas geográficas 08º23'39.6'' de latitud sur y 74º34'39.8'' de longitud oeste



3.8.2. Preparación de los datos

Se procedió a la selección de dos (2) árboles de eucalipto por parcela; fueron tres (3) parcelas y cada parcela corresponde a 6, 7 y 9 años de edad, después de la recolección se pesaron las muestras, se codificaron para su posterior análisis en laboratorio. Para la preparación de los datos se siguieron los pasos siguientes:

Análisis de la biomasa aérea

- **Fuste:** Se midió el DAP (Diámetro a la Altura del Pecho), la altura del árbol (desde la base del cuello hasta la ramificación del árbol). Lugo se procedió al cálculo del volumen en m^3 del árbol (fuste) con el uso de la siguiente fórmula: $v_t = \frac{\pi_x (D\bar{x})^2}{4} \times L$

Figura 2

Toma de datos DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de los árboles de eucalipto de la parte del fuste de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



- **Materia Seca**: Consistió en medir el área del árbol que consistía en trazar una circunferencia que comienza desde la base del tronco hasta la prolongación de las ramas del árbol para así poder determinar el área, el área se calculó usando la fórmula: $\boldsymbol{A = \pi r^2}$

Figura 3

Trazado del área de recolección de la materia seca de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Toda materia seca que se encontraba dentro de la circunferencia trazada fue recolectada.

Figura 4

Recolección de materia seca dentro de la circunferencia trazada de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



- **Recolección de las ramas:** Se clasificaron en ramas gruesas y ramas finas.

Figura 5

Recolección de ramas finas y gruesas de los árboles en investigación de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Análisis de la biomasa subterránea

- **Raíces:** Se extrajeron muestras de raíces de cada árbol seleccionado para su posterior análisis en laboratorio.

Figura 6

Extracción de muestras de raíces de los árboles en investigación de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



- **Suelo:** Se tomaron muestras de suelo de cada árbol seleccionado, la toma de muestra de suelo consistió en extraer muestras de suelo en 4 puntos equidistantes dentro de la circunferencia traza en cada árbol en investigación. Las muestras sacadas fueron a diferentes profundidades: 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm. Las cuales pesaron 1 Kg cada muestra, se codificaron y enviaron al laboratorio para su respectivo análisis.

Figura 7

Muestreo de suelo de los árboles en investigación dentro del área de la circunferencia trazada de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Análisis de laboratorio

- **Biomasa, materia seca y raíces:** Los análisis fueron realizados en el laboratorio de la madera de la Universidad Nacional de Ucayali, donde se pesaron antes de ingresar al laboratorio, peso húmedo (PH), luego se procedió al secado a la estufa de las muestras (PSAS).

Figura 8

Secado a la estufa de la biomasa, materia seca y raíces de los árboles en investigación de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



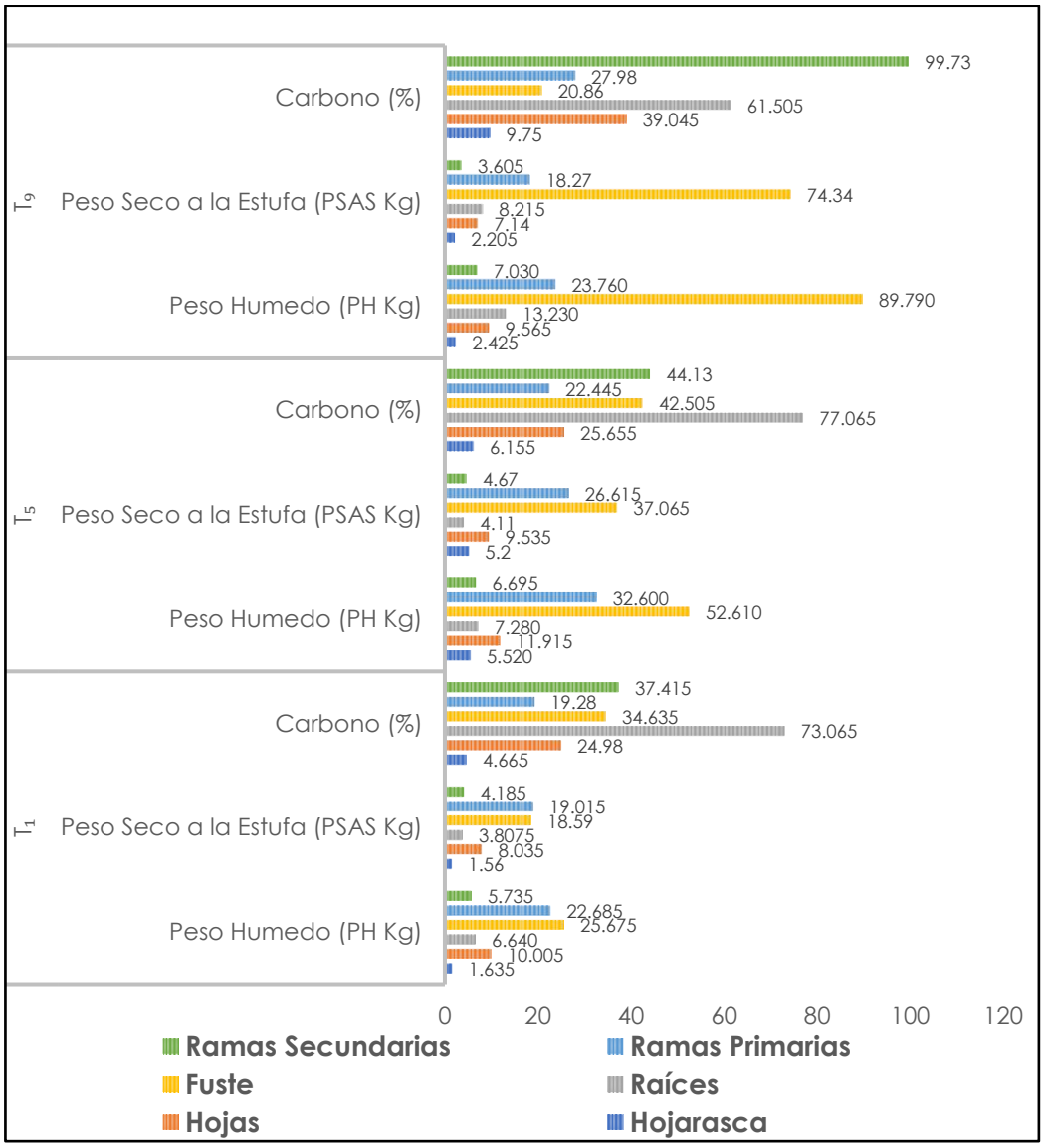
Tabla 4

Resultado promedio de laboratorio, biomasa aérea y raíces de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

	Tratamientos					
Parámetros	**Hojarasca**	**Hojas**	**Raíces**	**Fuste**	**Ramas Primarias**	**Ramas Secundarias**
			T_1			
PH (Kg)	1.635	10.005	6.64	25.675	22.685	5.735
PSAS (Kg)	1.56	8.035	3.8075	18.59	19.015	4.185
CH (%)	4.665	24.98	73.065	34.635	19.28	37.415
			T_5			
PH (Kg)	5.52	11.915	7.28	52.61	32.6	6.695
PSAS (Kg)	5.2	9.535	4.11	37.065	26.615	4.67
CH (%)	6.155	25.655	77.065	42.505	22.445	44.13
			T_9			
PH (Kg)	2.425	9.565	13.23	89.79	23.76	4.03
PSAS (Kg)	2.205	7.14	8.215	74.34	18.27	3.605
CH (%)	9.75	39.045	61.505	20.86	27.98	99.73

Figura 9

Resultado promedio de laboratorio, biomasa aérea y raíces de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Se puede apreciar en la figura que, la parte donde mayor almacenamiento de C en el árbol fue en las ramas secundarias, raíces y fuste, obteniendo mayor valor en las plantaciones de eucalipto de 9 años de edad de siembra.

- **Muestra de suelo:** Los análisis fueron realizados en el laboratorio de suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

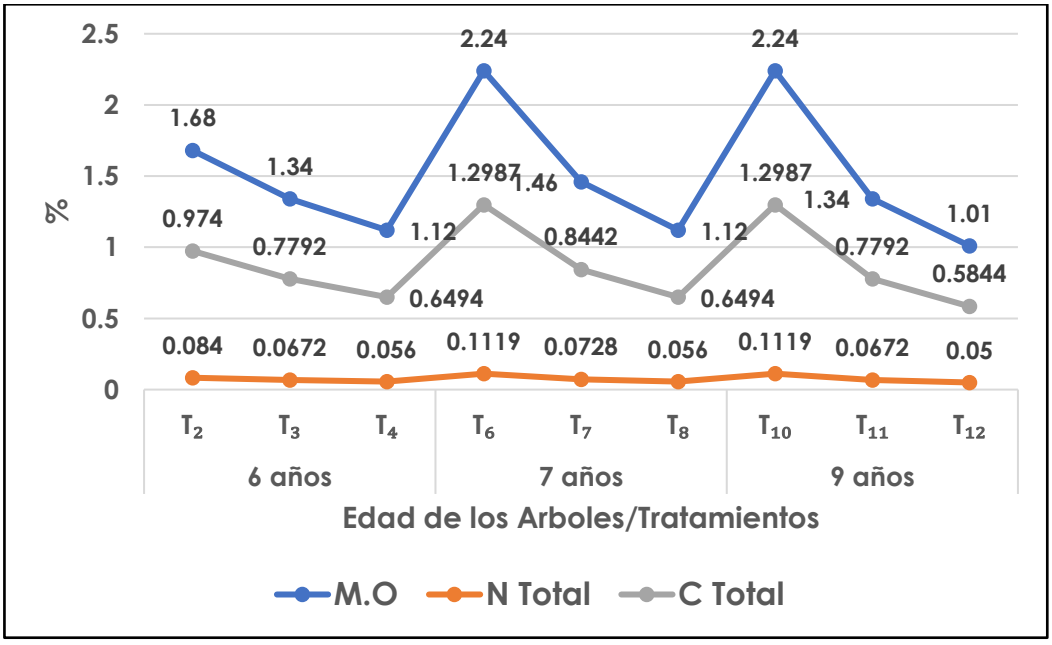
Tabla 5

Análisis de suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Edad de los árboles	Tratamiento	M.O	N Total	C Total
6 años	T_2	1.68	0.084	0.974
	T_3	1.34	0.0672	0.7792
	T_4	1.12	0.056	0.6494
7 años	T_6	2.24	0.1119	1.2987
	T_7	1.46	0.0728	0.8442
	T_8	1.12	0.056	0.6494
9 años	T_{10}	2.24	0.1119	1.2987
	T_{11}	1.34	0.0672	0.7792
	T_{12}	1.01	0.05	0.5844

Figura 10

Análisis de suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



En la figura anterior los mayores valores en M.O y C Total lo tuvieron las plantaciones de eucalipto correspondiente a 7 y 9 años de edad de siembra, como también el N total.

En las plantaciones de 6 años, el rango de M.O es bajo, el N total es medianamente pobre y el C total en sus 3 capas de extracción de muestras de suelo para su análisis fueron muy bajos.

En las plantaciones de 7 años, en la capa correspondiente a profundidad de 0 – 10 cm el rango de contenido de M.O fue medio, el contenido de N total en la capa de 0 – 10 cm es pobre, para la capa de 10 – 20 cm es medianamente pobre y de 20 – 30 cm de profundidad el rango de pobre. El contenido de C total fue mayor en la capa de 0 – 10 cm de profundidad a diferencia de las demás capas.

En las plantaciones de 9 años, el rango de M.O en la capa de 0 – 10 cm el rango fue medio y en las demás capas fueron bajo. El N total en la capa de 0 – 10 cm el rango fue de medio, para la capa de 10 – 20 cm fue medianamente pobre y para la capa de 20 – 30 cm fue pobre. El contenido de C total fue mayor en la capa de 0 – 10 cm de profundidad en comparación a las demás capas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la biomasa

De los resultados de laboratorio se obtuvieron los datos de biomasa aérea (BA), biomasa sobre el suelo (BSS) y biomasa subterránea (BS) las cuales son:

- BA: fuste, ramas primarias, ramas secundarias, hojas.
- BSS: hojarasca.
- BS: raíces, muestra de suelo.

4.1.1. Biomasa Aérea (BA)

Corresponde a la parte aérea del árbol como son el fuste, ramas primarias, ramas secundarias y hojas.

Tabla 6

Resultado del análisis de laboratorio de la BA en los diferentes órganos de almacenamiento de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Tipo de Biomasa	PH (Kg)	PSAS (Kg)	C (%)
Plantaciones de Eucalipto (*Eucaliptus grancam*) de 6 años de edad			
Hojas	10.005	8.035	24.98
Fuste	25.675	18.59	34.635
Ramas Primarias	22.685	19.015	19.28
Ramas Secundarias	5.735	4.185	37.415
Plantaciones de Eucalipto (Eucaliptus grancam) de 7 años de edad			
Hojas	11.915	9.535	25.655
Fuste	52.61	37.065	42.505
Ramas Primarias	32.6	26.615	22.445
Ramas Secundarias	6.695	4.67	44.13
Plantaciones de Eucalipto (Eucaliptus grancam) de 9 años de edad			
Hojas	9.565	7.14	39.045
Fuste	89.79	74.34	20.86
Ramas Primarias	23.76	18.27	27.98
Ramas Secundarias	7.03	3.605	99.73

De la tabla anterior, resumimos la sumatoria de los valores de carbono (C) por los tratamientos correspondientes en la tabla 7.

Figura 11

Resultado del análisis de laboratorio de la BA en los diferentes órganos de almacenamiento de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

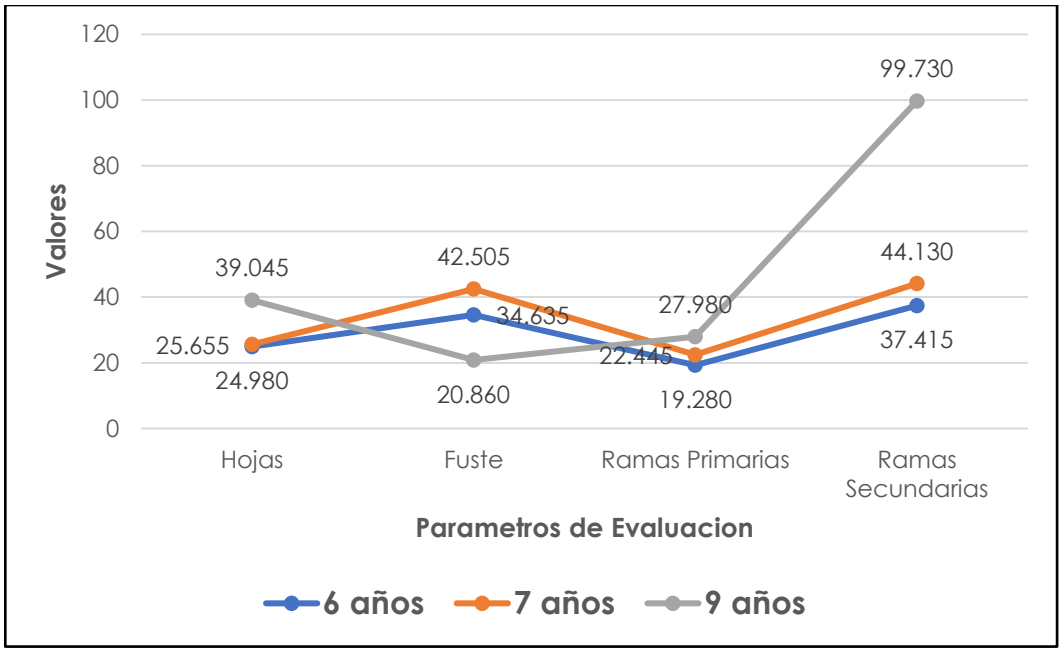


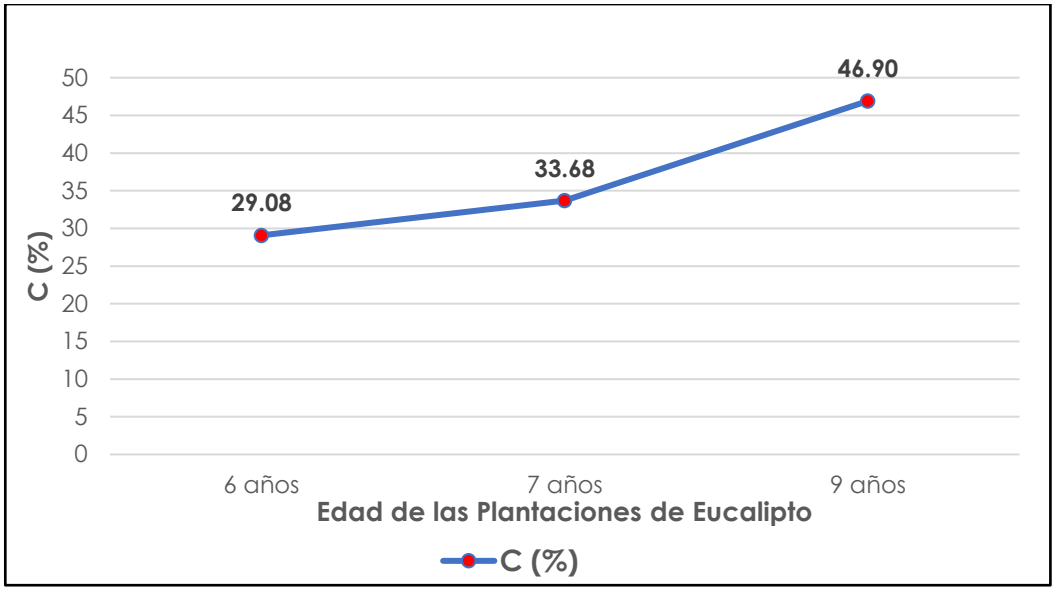
Tabla 7

Resultado promedio de la BA de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Edad de los árboles	C (%)
6 años	29.08
7 años	33.68
9 años	46.90

Figura 12

Resultado promedio de la BA de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Las plantaciones de eucalipto de 9 años de edad reportaron valores mayores en secuestro y almacenamiento de C, con relación a las demás plantaciones de eucalipto de 7 y 6 años de edad de siembra.

4.1.2. Biomasa Sobre el Suelo (BSS)

Corresponde a la materia seca sobre el suelo (hojarascas) en un radio determinado.

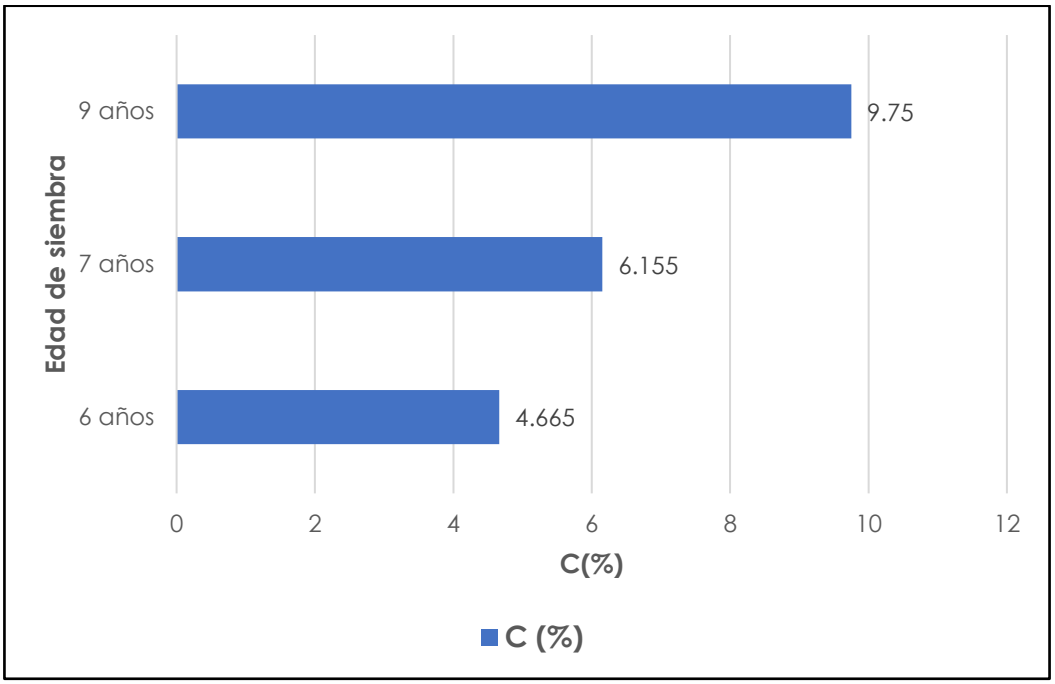
Tabla 8

Resultado promedio del análisis de laboratorio de la BSS de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Parámetros	Edad de Siembra de las Plantaciones de Eucalipto (*Eucaliptus grancam*)		
	6 años	**7 años**	**9 años**
PH (Kg)	1.635	5.52	2.4225
PSAS (Kg)	1.5605	5.2	2.206
C (%)	**4.665**	**6.155**	**9.75**

Figura 13

Resultado promedio del análisis de laboratorio de la BSS de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Como se observa en la figura anterior, el mayor valor en secuestro y almacenamiento de C fueron las plantaciones de eucalipto de 9 años de edad de siembra en comparación con las demás edades de siembra.

4.1.3. Biomasa Subterránea (BS)

La BS corresponde a las raíces y muestra de suelo; la muestra de suelo se tomó de cuatro puntos equidistantes dentro de un radio determinado.

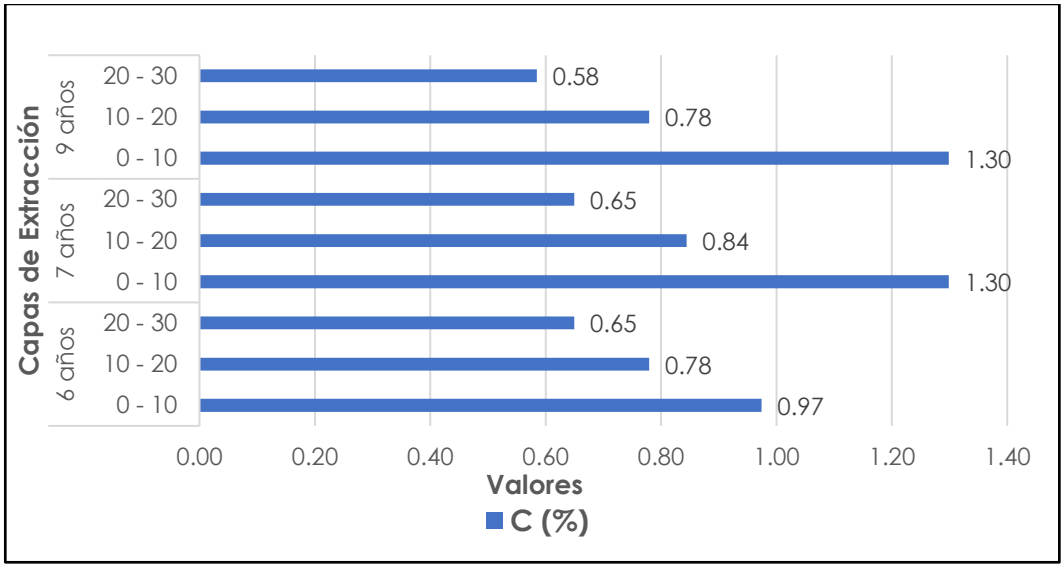
Tabla 9

Resultado del análisis de laboratorio de la BS correspondiente a las muestras de suelo por cada capa de extracción de muestra de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Edad de los Arboles	Prof. cm	M.O	N Total	C (%)
6 años	0 - 10	1.68	0.08	0.97
	10 - 20	1.34	0.07	0.78
	20 - 30	1.12	0.06	0.65
7 años	0 - 10	2.24	0.11	1.30
	10 - 20	1.46	0.07	0.84
	20 - 30	1.12	0.06	0.65
9 años	0 - 10	2.24	0.11	1.30
	10 - 20	1.34	0.07	0.78
	20 - 30	1.01	0.05	0.58

Figura 14

Resultado del análisis de laboratorio de la BS correspondiente a las muestras de suelo por cada capa de extracción de muestra de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Como se puede observar en la figura anterior, en la primera capa de extracción de las muestras que es de 0 – 10 cm de profundidad es mayor el contenido de C en las diferentes edades de siembra del cultivo, siendo la edad de 9 y 7 años de siembra del cultivo la que mayor almacenamiento de C reporta.

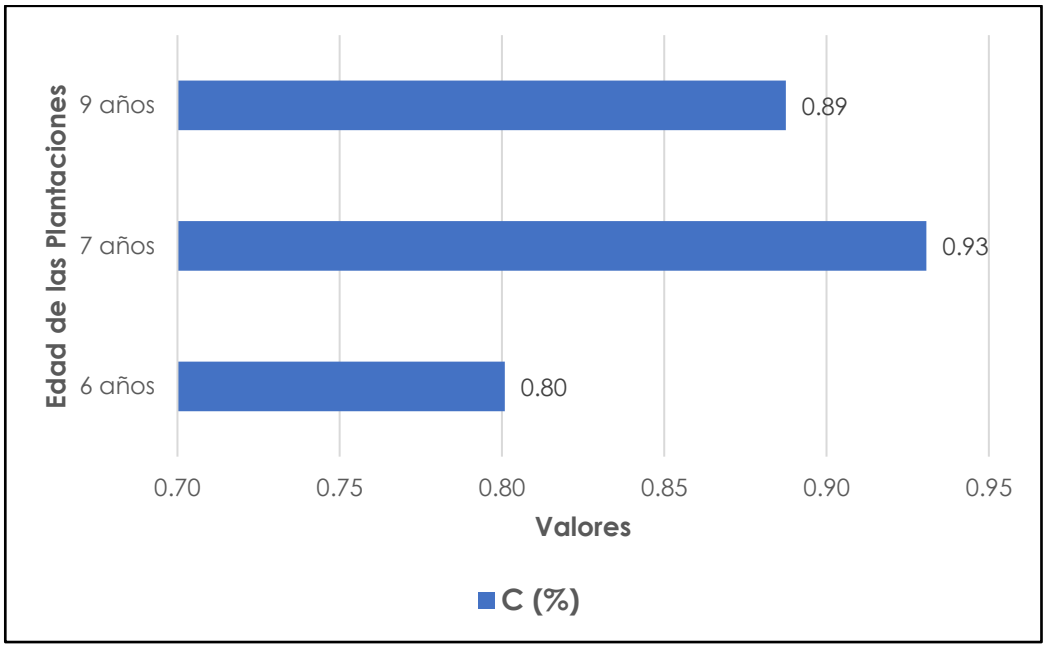
Tabla 10

Resultado promedio de la BS correspondiente a las muestras de suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Edad de los árboles	M.O	N Total	C
6 años	1.38	0.07	0.80
7 años	1.61	0.08	0.93
9 años	1.53	0.08	0.89

Figura 15

Resultado promedio de la BS correspondiente a las muestras de suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Haciendo la sumatoria de las capas de suelo donde se extrajeron las muestras, agrupándolos en sus respectivos años de siembra observamos que las plantaciones de eucalipto de 7 años de siembra almacenaron mayor C en comparación a los de 9 y 6 años de edad de siembra.

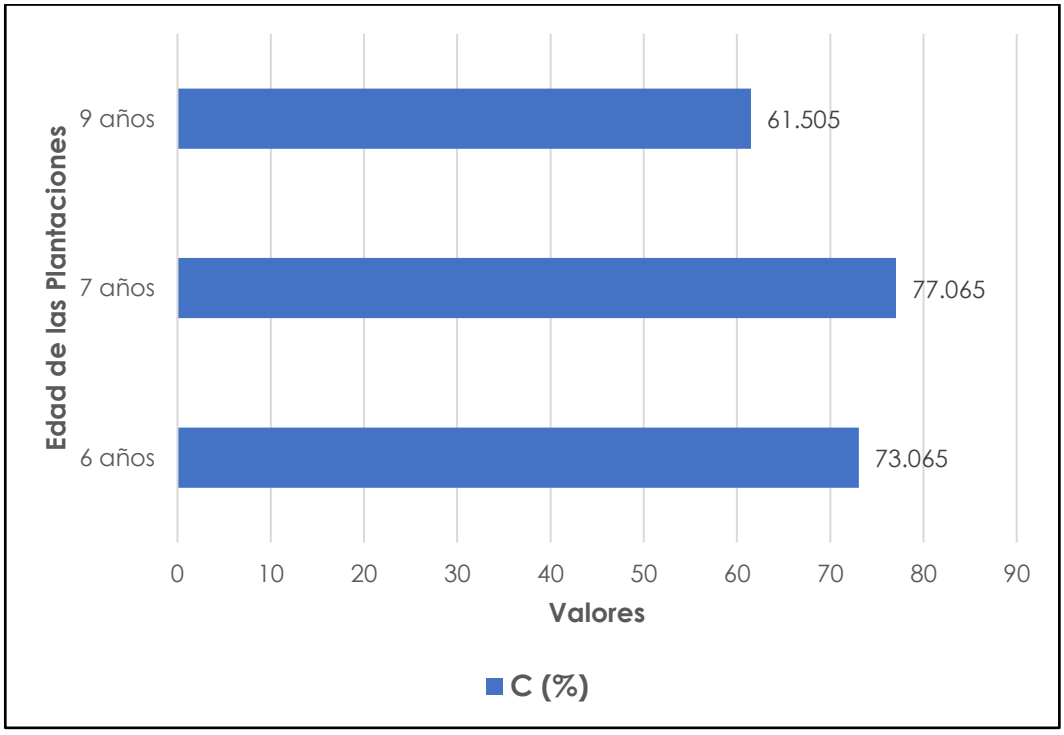
Tabla 11

Resultado del análisis de laboratorio de la BS correspondiente a las raíces de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Tratamiento	PH (Kg)	PSAS (Kg)	C (%)
6 años	6.64	3.8075	73.065
7 años	7.28	4.11	77.065
9 años	13.23	8.215	61.505

Figura 16

Resultado del análisis de laboratorio de la BS correspondiente a las raíces de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Las plantaciones de eucalipto de 7 años de edad de siembra fueron los que más acumularon C en la parte de las raíces, seguido por las plantaciones de 6 y 9 años.

4.2. Estimación del CO_2 almacenado en un árbol de eucalipto (*Eucaliptus grancam*)

Con los datos de los resultados de laboratorio, análisis de biomasa y suelo, se procedió al cálculo de estimación de CO_2 por el método directo o destructivo.

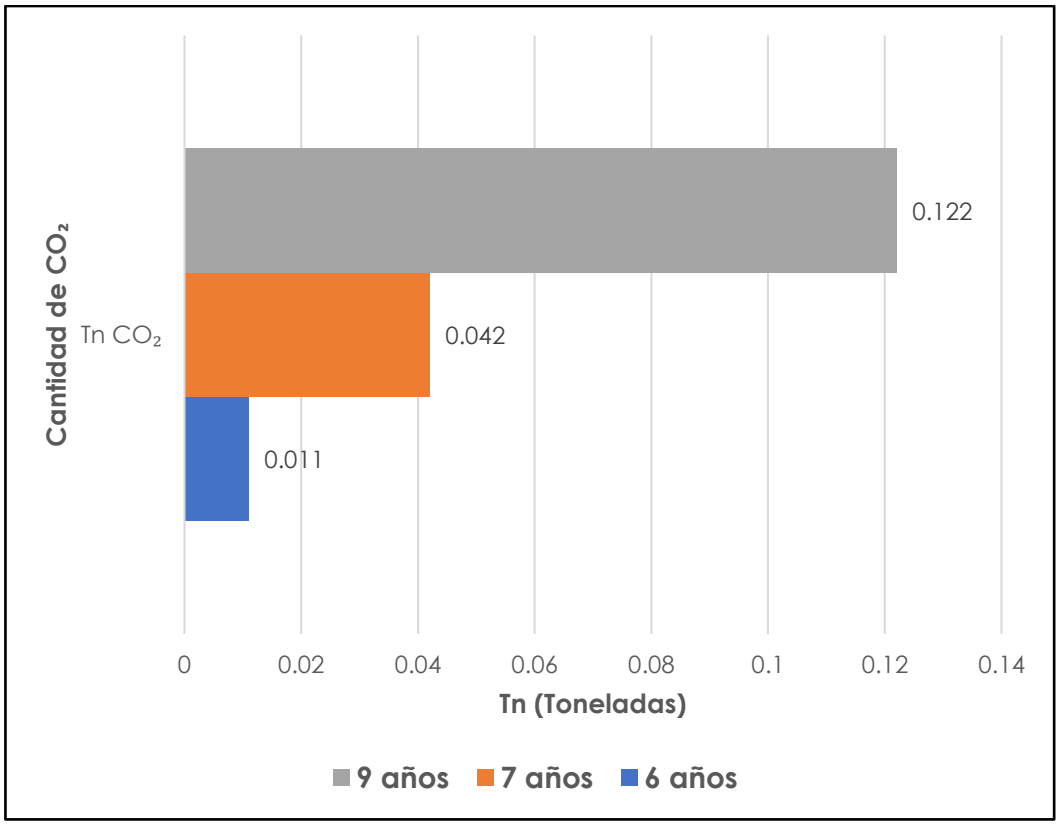
Tabla 12

Estimación de CO_2 por el método directo o destructivo en las plantaciones de eucalipto – UNU de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Edad en años	Área de las plantaciones de eucalipto Ha.	Volumen del árbol m^3	Biomasa (fuste, ramas y hojarascas) Tn.	Biomasa total (parte aérea + subterránea) Tn.	Tasa de Carbono	Factor de corrección	Volumen total Tn.	Biomasa total Tn.	Tn CO_2	Tn CO_2/Ha	Área de investigación Tn CO_2/Ha
6	1.58	0.30	0.121	0.170	0.475	3.67	0.0359	0.006	0.011	8.88	14.04
7	1.84	0.89	0.141	0.193	0.475	3.67	0.1251	0.024	0.042	35.10	64.62
9	0.33	1.48	0.197	0.239	0.475	3.67	0.2919	0.070	0.122	101.47	33.59

Figura 17

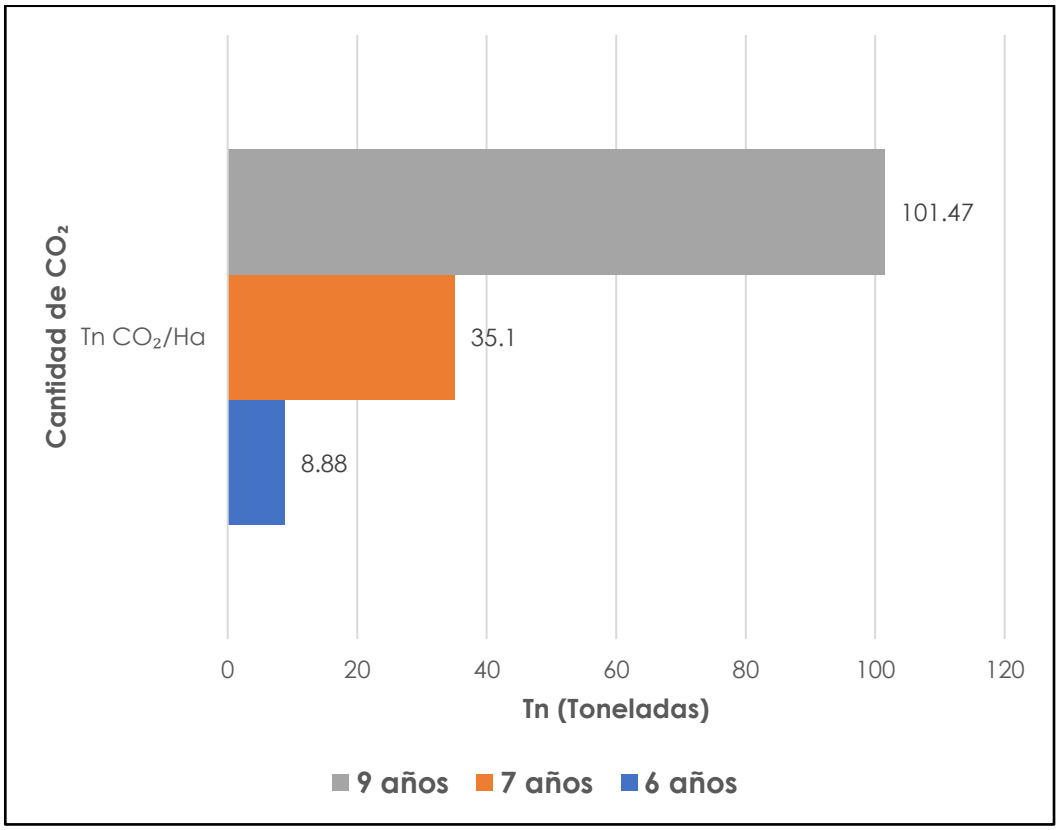
Estimación de CO_2 por el método directo o destructivo en Tn CO_2 en las plantaciones de eucalipto según las plantaciones muestreadas de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Fueron 2 árboles de eucalipto por cada edad de siembra que se realizaron muestras, como muestra el grafico anterior el secuestro y almacenamiento de CO_2 en las muestras tomadas a árboles de eucalipto de 9 años de edad de siembra son los que acumularon mayor cantidad de CO_2, seguido de las plantaciones de eucalipto de 7 y 6 años de edad de siembra.

Figura 18

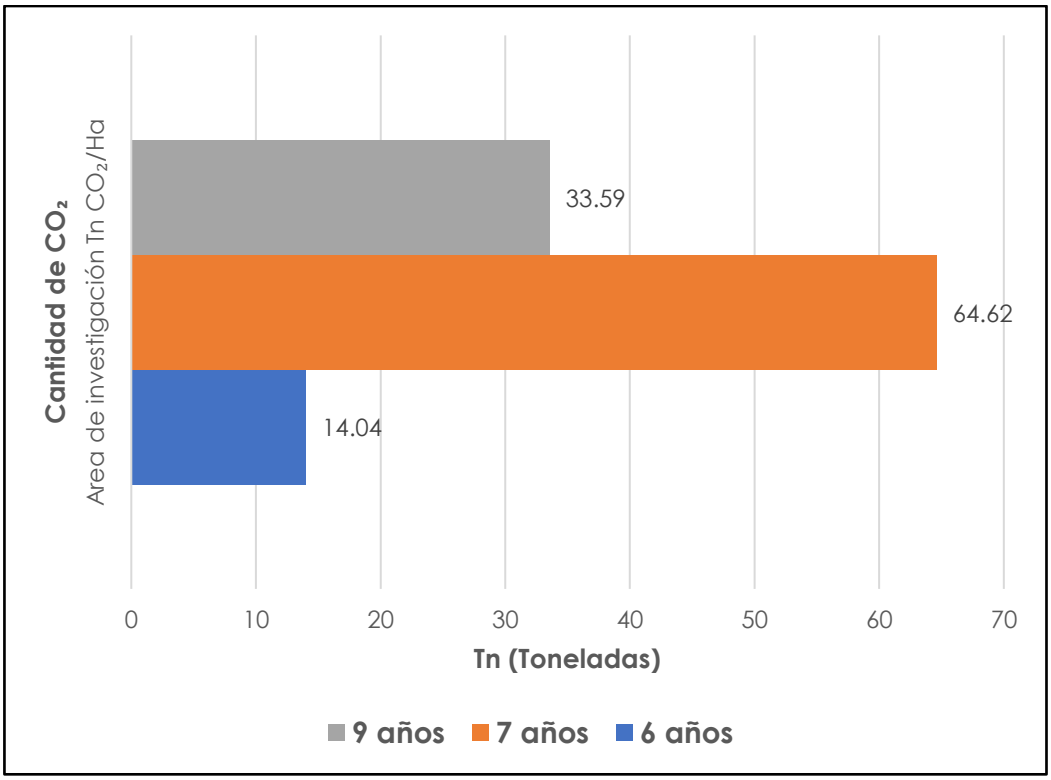
Estimación de CO_2 por el método directo o destructivo en Tn CO_2/ha en las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Con los cálculos obtenidos de los árboles muestreados por cada edad de siembra de las plantaciones de eucalipto, se calculó la cantidad de secuestro y almacenamiento de CO_2 por ha. Los resultados obtenidos fueron que las plantaciones de eucalipto de 9 años de edad de siembra que se encuentran dentro de las parcelas experimentales de la UNU acumulan 101.47 Tn CO_2/ha en comparación a las plantaciones de 7 años de edad que son 35.1 Tn CO_2/ha y por último el de 6 años de edad con 8.88 Tn CO_2/ha.

Figura 19

Estimación de CO_2 por el método directo o destructivo en el área de investigación en Tn CO_2 de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra



Los cálculos de la figura anterior están basados en el área de siembra de cada plantación de eucalipto que se encuentran en las parcelas experimentales de la UNU; teniendo en cuenta que el área de siembra es diferente en cada plantación de eucalipto. Así tenemos las plantaciones de eucalipto de 7 años de edad de siembra almacenan 64.62 Tn de CO_2 en el área que se encuentra sembrado que corresponde a un área de 1.84 Ha, las plantaciones de eucalipto de 9 años se encuentra sembrados en un área correspondiente a 0.33 ha con valores de secuestro de CO_2 igual a 33.59 Tn CO_2, y para las plantaciones de eucalipto de 6 años de edad de siembra es de 14.04 Tn CO_2 en 1.58 ha.

4.3. Análisis estadístico de los tratamientos

El análisis fue mediante un Diseño Factorial de 2 factores con múltiples niveles; el factor A para el cultivo de eucalipto en los niveles de diferentes años de edad de la plantación: 6, 7 y 9 años, y el factor B para el secuestro y almacenamiento de CO_2 en los diferentes niveles: biomasa y diferentes profundidades del suelo para la biomasa se consideró los subniveles de hojarascas, hojas, fuste, raíces, ramas primarias y ramas secundarias para el nivel del suelo se consideró los subniveles a diferentes profundidades desde el ras del suelo: 0 – 10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm.

El análisis estadístico fue a nivel de $\alpha = 0,05$ y de encontrarse diferencias significativas se procedió a la prueba de promedios de Tukey. Las hipótesis planteadas fueron:

- Hipótesis nula (H_0): todas las medias son iguales, no existen diferencias significativas. Significa que el factor A y el factor B en sus múltiples niveles acumulan por igual CO_2.

- Hipótesis alternativa (H_A): por lo menos una media es diferente a las demás, existe diferencia significativa. Significa que el factor A o el factor B por lo menos uno de sus múltiples niveles acumula mayor CO_2 que los demás niveles de ambos factores.

Tabla 13

Análisis de varianza para la BA de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Bloques	1	8	8	3.51	0.088
A (Eucalipto)	2	108.40	54.20	23.77	**0.00***
B (CO_2)	3	60865.3	20288.4	8896.7	**0.00***
A*B	6	318	53	23.24	**0.00***
Error	11	25.1	2.3		
Total	23	61324.8			

Analizando la tabla anterior, se encontraron diferencias significativas en el factor A y el Factor B, así como también la interacción de los factores AxB, el valor p es inferior al α = 0,05 por lo que aceptamos la hipótesis alternativa (H_A) planteada: por lo menos una media es diferente a las demás, el factor A, el factor B y la interacción de los factores AxB por lo menos uno de sus múltiples niveles acumula mayor CO_2 que sus demás niveles.

Al existir diferencia significativa, se procedió a la prueba de promedios de Tukey para determinar cuál de los diferentes niveles del factor A, el factor B y la interacción de los factores AxB se comportaron mejor en la acumulación y secuestro de CO_2.

4.3.1. Prueba de Promedios de Tukey para Biomasa Total

Se realizó la prueba de Tukey para determinar el mejor nivel de los factores A y B, así como también la interacción de los factores AxB. Téngase en cuenta que la biomasa total incluye la biomasa aérea y subterránea.

Tabla 14

Prueba de promedio Tukey para el factor A (diferentes edades del eucalipto) en estudio de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Factor A	N	Media	Agrupación	Descripción
a_3	8	32.8	A	9 años
a_2	8	29.2	A	7 años
a_1	8	27.8	A	6 años

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 15

Prueba de promedio Tukey para el factor B (contenido de CO_2 en biomasa y suelo a diferentes profundidades) en estudio de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Factor B	N	Media	Agrupación	Descripción
b_1	6	117.17	A	Biomasa
b_2	6	1.191	B	0 - 10
b_3	6	0.8009	B	10 - 20
b_4	6	0.6277	B	20 - 30

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 16

Prueba de promedio Tukey para la interacción del factor A con el factor B de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Factor A x B	N	Media	Agrupación	Tratamiento
a_3b_1	2	128.67	A	T_9
a_2b_1	2	114.15	B	T_5
a_1b_1	2	108.7	B	T_1

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Realizando la prueba de promedios de Tukey al factor A, el factor B y la interacción de los factores AxB, se interpreta lo siguiente:

- En la tabla 14, el factor A (plantación de eucalipto a diferentes edades de siembra) de sus niveles a_1 (6 años de siembra), a_2 (7 años de siembra) y a_3 (9 años de siembra), los 3 niveles del factor A se comportaron por igual en el secuestro y almacenamiento de CO_2, son significativamente iguales, las edades de las plantaciones de eucalipto capturan y almacenan CO_2 por igual.
- En la tabla 15, el factor B (contenido de CO_2 en biomasa y suelo a diferentes profundidades) de sus niveles b_1 (biomasa), b_2 (0 – 10 cm de profundidad), b_3 (10 – 20 cm de profundidad) y b_4 (20 – 30 cm de profundidad), el nivel b_1 (biomasa) se comportó mejor en el secuestro y almacenamiento de CO_2 a comparación con los niveles b_2, b_3 y b_4 que fueron diferentes e inferior al nivel b_1 del factor B.
- La interacción de los factores AxB en sus múltiples niveles (tratamientos) como se muestra en la Tabla 16, el tratamiento T_9 (eucalipto de 9 años de edad + biomasa) fue mejor y superior a los tratamientos T_5 (eucalipto de 7 años de edad + biomasa) y T_1 (eucalipto de 6 años de edad + biomasa); siendo los tratamientos T_5 y T_1 inferior al tratamiento T_9, pero iguales entre sí.

4.3.2. Prueba de Promedios de Tukey para Suelo y sus Diferentes Profundidades

Se determinó dentro del factor B, cuál de sus niveles de profundidades de suelo fue mejor en el secuestro y almacenamiento de CO_2 fue o fueron mejor o mejores.

Tabla 17

Prueba de promedio Tukey para el factor B en la profundidad de suelo de 0 – 10 cm desde el ras del suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Tratamiento	N	Media	Agrupación			Descripción
T_6	2	1.299	A			7 años
T_{10}	2	1.299		B		9 años
T_2	2	0.974			C	6 años

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 18

Prueba de promedio Tukey para el factor B en la profundidad de suelo de 10 – 20 cm desde el ras del suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Tratamiento	N	Media	Agrupación			Descripción
T_7	2	0.8442	A			7 años
T_3	2	0.7792		B		6 años
T_{11}	2	0.7792			C	9 años

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 19

Prueba de promedio Tukey para el factor B en la profundidad de suelo de 20 – 30 cm desde el ras del suelo de las plantaciones de eucalipto de 6, 7 y 9 años de edad de siembra

Tratamiento	N	Media	Agrupación			Descripción
T_8	2	0.6494	A			7 años
T_4	2	0.6494		B		6 años
T_{12}	2	0.5844			C	9 años

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

- Los datos de la Tabla 17, que corresponde al nivel b_2 del factor B, correspondiente a la profundidad de 0 – 10 cm al ras del suelo, el tratamiento T_6 fue mejor en la captura y almacenamiento de CO_2 en el nivel a_2 del factor A que corresponde a 7 años de edad de la plantación de eucalipto. El tratamiento T_{10} fue inferior al tratamiento $T_{6,}$ pero superior al tratamiento T_2. Siendo el tratamiento T_{10} el nivel a_3 del factor A correspondiente a 9 años de edad de siembra de la plantación de eucalipto y el tratamiento T_2 el nivel a_1 del factor A correspondiente a 6 años de edad de siembra de la plantación de eucalipto.
- El nivel b_3 del factor B correspondiente a la profundidad del suelo de 10 – 20 cm desde el ras del suelo, como se muestra en la Tabla 18, el tratamiento T_7 se comportó mejor en el secuestro y almacenamiento de CO_2, y que, corresponde al nivel a_2 del factor A (7 años de edad de siembra de la plantación de eucalipto), siendo este tratamiento mejor que los tratamientos T_3 y T_{11}. El tratamiento

T_3 fue inferior al tratamiento T_7, pero superior al tratamiento T_{11}. Siendo el tratamiento T_3 el nivel a_1 del factor A correspondiente a 6 años de edad de siembra de la plantación de eucalipto y el tratamiento T_{11} el nivel a_3 del factor A correspondiente a 9 años de edad de siembra de la plantación de eucalipto.

- El nivel b_4 del factor B correspondiente a la profundidad del suelo de 20 – 30 cm desde el ras del suelo, como se muestra en la Tabla 19, el tratamiento T_8 se comportó mejor en el secuestro y almacenamiento de CO_2, y que, corresponde al nivel a_2 del factor A (7 años de edad de siembra de la plantación de eucalipto), siendo este tratamiento mejor que los tratamientos T_4 y T_{12}. El tratamiento T4 fue inferior al tratamiento T_8, pero superior al tratamiento T_{11}. Siendo el tratamiento T_4 el nivel a1 del factor A correspondiente a 6 años de edad de siembra de la plantación de eucalipto y el tratamiento T_{12} el nivel a_3 del factor A correspondiente a 9 años de edad de siembra de la plantación de eucalipto.

4.4. Discusión de resultados

En el factor A fue mejor el eucalipto de 9 años de edad y en el factor B fue la biomasa en la captura y almacenamiento de CO_2, en la interacción de los factores AxB fue mejor el tratamiento T_9 en el secuestro y almacenamiento de CO_2 en su biomasa con 0.239 Tn/árbol y 101.47 Tn CO_2/Ha, esto es debido a que las plantaciones jóvenes tienden a ser más eficaces en la captura y almacenamiento de CO_2 como indica Gutiérrez y Muñoz (2017) en su investigación que evaluó la reserva de carbono en la

biomasa aérea en plantaciones de cacao en 3 diferentes edades (2, 4 y 6 años) las plantaciones de 6 años obtuvieron mejor resultados con 34.22 Tn.CO_2/ha, de 4 y 2 años obtuvieron 21.55 Tn.CO_2/ha y 8.06 14 Tn.CO_2/ha, esto se debe a que el árbol a medida que va creciendo aumenta el are foliar y así tiene mayor área de captación de CO_2, siendo esta ventaja en plantaciones jóvenes, en formación de crecimiento previo a la adultez, donde en esta etapa (adultez) de vida fisiológica del árbol desarrollar órganos de reserva en comparación a la fase juvenil del árbol que en esta etapa joven el árbol incrementa el crecimiento o área foliar para la mayor captación de los rayos solares para realizar la fotosíntesis y así también para la captura y almacenamiento de CO_2, en comparación con árboles relativamente jóvenes o en plena formación, el árbol se dedica a la producción radicular para así asegurar el crecimiento en altura e incrementar el área de captación de los rayos solares, al realizar este desarrollo, el árbol tiene mayor captación de CO_2 en el área radicular entre otras cosas. También lo afirma Herquinio (2022) que estimó la biomasa y carbono en plantaciones de eucalipto de 9, 11 y 50 años concluyendo que las plantaciones de 9 años se comportaron mejor en la captura de carbono con una biomasa de 4212.89 kg y carbono de 1895.8 kg.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados en la presente investigación podemos concluir lo siguiente:

- El potencial de secuestro de dióxido de carbono (CO_2) y su almacenamiento por las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes fueron: las plantaciones de 9 años de edad de siembra tienen un potencial de secuestro y almacenamiento de 0.122 Tn $C0_2$/árbol, para las plantaciones de eucalipto de 7 años de edad de siembra fueron 0.042 Tn $C0_2$/árbol, para las plantaciones de eucalipto de 6 años de edad de siembra fueron 0.011 Tn CO_2/árbol.

- Dentro de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) ubicado en las parcelas experimentales de la Universidad Nacional de Ucayali, cuyas edades de siembra son de 6, 7 y 9 años. Se determinó el potencial de secuestro y almacenamiento de los árboles de eucalipto que son: Las plantaciones de 9 años de edad de siembra, tiene un potencial de secuestro y almacenamiento de 33.59 Tn CO_2. Para las plantaciones de eucalipto de 7 años de edad de siembra tiene un potencial de secuestro y almacenamiento de 64.62 Tn CO_2. Para las plantaciones de eucalipto de 6 años de edad de siembra tiene un potencial de secuestro y almacenamiento de

14.04 Tn CO_2.

- Se determinó la cantidad de CO_2 secuestrado y almacenado en el suelo a diferentes profundidades dentro de las plantaciones de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) en tres edades diferentes llegando a la conclusión de: Para las plantaciones de 9 años con 0.042 Tn CO_2. Para las plantaciones de 7 años con 0.052 Tn CO_2. Para las plantaciones de 6 años con 0.050 Tn CO_2.

- La relación captura de carbono-edad de crecimiento en una plantación de eucalipto (*Eucaliptus grancam*) fueron las plantaciones jóvenes de 9 años de edad que mejor comportamiento obtuvieron en el secuestro y almacenamiento de CO_2.

5.2. Recomendaciones

De las conclusiones descritas se recomienda lo siguiente:

- Realizar un programa de fertilización a las plantaciones de eucalipto para su optimo crecimiento, así poder generar mayor cobertura en lo que es la captura y almacenamiento de CO_2 emitidos a la atmósfera.

- Generar políticas ambientales orientadas a los objetivos de mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales abordando los temas de conservación de recursos naturales y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez Risco, A. (2020). Clasificación de las investigaciones.

Apadrinaunolivo. (2022). *¿Cómo los Árboles Absorben y Fijan el CO2?* Apadrinaunolivo.Org.

Araujo Barbagelata, E. (2014). Secuestro y valoración económica de co2 en tres plantaciones de diferentes edades de *Simarouba amara* del CIEFOR Puerto Almendras, Iquitos - Perú, 2013.

Aunión, J. A. & Planelles, M. (2020). *El CO2 en el cambio climático | La Cumbre del Clima*. El País.

BBVA. (2021, Julio 19). *¿Es la captura de CO2 una alternativa real contra el cambio climático?*

Brindis Santos, A. I., Sánchez Hernández, R., Mata Zayas, E. E., Palma López, D. J., Sánchez Gutiérrez, F., & Cámara Cabrales, L. del C. (2020). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de agrosistemas tropicales en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *7*(3).

Cabudivo Escobar, C. E., Cabudivo Moena, A., Quintana Vásquez, S., & Gonzales Arzubialdes, R. (2019). Secuestro de dióxido de carbono y emisión de oxígeno del bosque de Puerto Almendra, Loreto, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, *7*(1), 51–62. https://doi.org/10.22386/CA.V7I1.264

California Academy of Sciences. (2023). *Cartel del Ciclo del Carbono*.

CK-21 Foundation. (2021, Mayo 24). *El Ciclo del Carbono*.

ClimateTrade. (2023, Febrero 2). *¿Qué es el secuestro de carbono?*

Cocharane, C. (1982). Valores climáticos medios y totales anuales. Datos

reportados por la estación meteorológica.

COICA. (2020). *Pueblos Indígenas Declaran Emergencia Climática en la Amazonía*.

Concha, J. Y., Alegre, J. C. & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* l. En el departamento de San Martín, Perú.

Del Águila Martínez, C. (2014). *Secuestro de CO_2 y almacenamiento de carbono en plantaciones de Cedrelinga cateniformis Ducke "tornillo" en tres edades diferentes en el CIEFOR - Puerto Almendra, río Nanay, Iquitos - Perú.*

Expansión. (2023). *Perú - Emisiones de CO2 2022*. Datosmacro.

FAO. (2023). *Simposio Internacional sobre el Carbono Orgánico del Suelo*. Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FONTAGRO. (2020). *Oportunidades de secuestro de carbono en suelos de América Latina y el Caribe*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

FONTAGRO. (2023). *Oportunidades de secuestro de carbono en suelos de América Latina y el Caribe*.

Fundación Red de Árboles. (2018). *Consecuencias de las emisiones de CO_2*.

García Izquierdo, C. (2018). *El carbono orgánico y la funcionalidad del suelo*. La Verdad.

Gaut, N. & Adamala, K. (2020). Células fotosintéticas artificiales para la fijación del CO2. *Press, Europa*.

Geider, R. J., Delucia, E. H., Falkowski, P. G., Finzi, A. C., Philip Grime, J., Grace, J., Kana, T. M., La Roche, J., Long, S. P., Osborne, B. A., Platt, T., Colin Prentice, I., Raven, J. A., Schlesinger, W. H., Smetacek, V., Stuart,

V., Sathyendranath, S., Thomas, R. B., Vogelmann, T. C., Ian Woodward, F. (2001). Primary productivity of planet earth: Biological determinants and physical constraints in terrestrial and aquatic habitats. *Global Change Biology*, *7*(8), 849–882.

George, K., Ziska, L. H., Bunce, J. A., & Quebedeaux, B. (2007). Elevated atmospheric CO2 concentration and temperature across an urban–rural transect. *Atmospheric Environment*, *41*(35), 7654.

Gruber, N., Clement, D., Carter, B. R., Feely, R. A., van Heuven, S., Hoppema, M., Ishii, M., Key, R. M., Kozyr, A., Lauvset, S. K., Monaco, C. Lo, Mathis, J. T., Murata, A., Olsen, A., Perez, F. F., Sabine, C. L., Tanhua, T., & Wanninkhof, R. (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO_2 from 1994 to 2007. *Science*, *363*(6432), 1193–1199.

Guerra Reátegui, N. U. (2013). Valoración económica del secuestro de CO_2 y stock de carbono en plantaciones de *Simarouba amara* (Aublet) “marupa” en cinco edades diferentes en CIEFOR - Puerto Almendras, Iquitos - Perú.

Gutiérrez Navarro, B. M. & Muñoz Collantes, L. H. (2017). *Reservas de carbono en la biomasa aérea de tres plantaciones de diferentes edades de Theobroma cacao L. en el centro de investigación Kapitari – Manacamiri, Perú, 2016*.

Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. *6*(metodología de la investigación).

Herquinio Canto, M. P. (2022). *Estimación de biomasa y carbono en Eucalyptus globulus Labill en tres edades diferentes utilizando ecuaciones alométricas, en el Distrito de Molinos, Jauja*.

Herrera Aranda, J. B. (2011). Estimación de la biomasa y carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes edades en la Provincia de Leoncio Prado.

Hoja Verde. (2021). *Los ecosistemas forestales y la vida silvestre*. CONAFOR. http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/ver.aspx?articulo=705

Instituto para la Salud Geoambiental. (2022). *Dióxido de carbono CO_2*. Fundación Vivo Sano. https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2/

IPCC. (2005). *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono: resumen para responsables de políticas y resumen técnico* (O. D. Bert Metz, M. L. Heleen de Coninck, & Leo Meyer, Eds.). IPCC.

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.

Lefévre, C., Rekik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. (2017). *Carbono orgánico del suelo el potencial oculto*.

López Reyes, L. Y., Domínguez Domínguez, M., Martínez Zurimendi, P., Zavala Cruz, J., Gómez Guerrero, A., & Posada Cruz, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (Hevea brasiliensis Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y Bosques*, *22*(3), 49–60.

Manos Unidas. (2023). *Calentamiento global*. https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/calentamiento-global

Martel, C. & Cairampoma, L. (2012). Cuantificación del Carbono Almacenado en Formaciones Vegetales Amazónicas en “CICRA”, Madre de Dios (Perú). *Ecología Aplicada*, *11*(2), 2012–2002.

Maza Valle, W. F. (2019). Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.

Medina, C. E., Medina, Y. K., & Bocardo, E. F. (2020). Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la puna seca del suroeste del Perú. *Bosque (Valdivia)*, *41*(2), 165–172.

Mírez Rubio, Y. (2021). *Estimación de biomasa y contenido de carbono en Pinus patula de diferentes edades en la jalca del distrito de Chalamarca, Chota – Cajamarca.*

Najera, R. A., Jack, D., & Soldevilla Paucar, J. (2023). Población necesaria de *Prunus serotina,* para establecer un balance de las emisiones y el secuestro de CO_2 en la provincia de Chupaca, región Junín, en el año 2022.

Navarro García, C. E. & Ruíz Angulo, J. L. (2019). Estimación de captura de carbono de plantaciones de naranja en producción de diferentes edades en el distrito de Tingo de Saposoa, San Martin, 2019.

Orús, A. (2024, March 13). *CO2: emisiones mundiales 1995-2023*. Statista.

Panichini P., M., & Ovalle M., C. (2021). Secuestro de carbono en suelos, opción real para la mitigación. *Tierra Adentro*.

Pardos, J. A. (2010, Octubre 6). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono*. EFEverde.

PRTR. (2007). *CO_2 (Dióxido de carbono)*. PRTR España. https://prtr-es.es/co2-dioxido-de-carbono,15590,11,2007.html

Ramos, P. (2015). *Captura y almacenamiento de CO_2*. Revista El Ecologista.

Rothschuh Osorio, U. (2023). *Ciclo de Calvin: qué es, fases, función e importancia*. Ecología Verde.

Santander. (2023). *¿Qué es la biomasa?: Tipos, ventajas y desventajas de esta fuente renovable.* Blog Becas Santander. https://www.becas-santander.com/es/blog/biomasa.html

Sedjo, R., & Sohngen, B. (2012). Carbon Sequestration in Forests and Soils. *Annual Review of Resource Economics*, *4*, 127–144.

SENAMHI (2024). Pronóstico del tiempo. Loreto, Ucayali, Madre de Dios.

Silvestre Albero, J., Silvestre Albero, A., Casco, M. E., & Rodríguez Reinoso, F. (2014). *Retos actuales para la captura y almacenamiento de CO_2* (Vol. 110, Issue 1).

Smith, O. (2023). *Diagrama y Actividades del Ciclo del Carbono, Pasos del Ciclo del Carbono*. Clever Prototypes.

Tovar Blanco, A. L., Lizarazo Salcedo, I. A., & Rodríguez Eraso, N. (2020). Estimating aboveground biomass of Eucalyptus grandis and Pinus Spp using Sentinel-1A and Sentinel-2A images in Colombia. *Colombia Forestal*, *23*(1).

Ucañay Ayllón, T. M. (2014). Valoración económica del secuestro de CO2 en plantaciones de Parkia sp. “pashaco” de diferentes edades en el CIEFOR - Puerto Almendra, Iquitos - Perú.

US EPA. (2023, Junio 7). *Emisiones de dióxido de carbono*. https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono

Vásquez Gómez, R. (2018). Determinación de la captura de carbono en plantaciones de Camu camu Myrciaria dubia H.B.K. Mc Vaugh de diferentes edades en el distrito de Yarinacocha, departamento de Ucayali, Perú.

White, D., Velarde, S. J., Alegre, J., & Tomich, T. P. (2005). *Alternatives to slash-and-burn (asb) in Peru summary report and synthesis of phase II With contributions from*. http://www.asb.cgiar.org

Wikipedia. (2023). *Calentamiento global*. Obtenido de: https://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global

ANEXOS

ANEXO 1

MUESTREO DE CAMPO



Figura 20A. Medición del DAP y radio de los árboles en investigación.



Figura 21A. Recolección de hojarascas.



Figura 22A. Codificación de las muestras de hojarascas.



Figura 23A. Pesado de las muestras de hojarascas.



Figura 24A. Muestreo de suelo a diferentes profundidades.



Figura 25A. Tumbado de árbol para muestras de biomasa.



Figura 26A. Toma de datos para evaluación del volumen del árbol.



Figura 27A. Corte por sección, pesado y codificación del fuste del árbol.



Figura 28A. Pesado y codificación de las ramas primarias y secundarias.



Figura 29A. Secado de las muestras de biomasa.

ANEXO 2

RESULTADOS DE LABORATORIO, BIOMASA AÉREA Y RAÍCES

Tratamientos						
Parámetros	**Hojarasca**	**Hojas**	**Raíces**	**Fuste**	**Ramas Primarias**	**Ramas Secundarias**
			T_1 R_1			
PH (Kg)	1.67	8.7	7.86	17.65	21.56	4.35
PSAS (Kg)	1.58	6.8	4.17	15.5	18.89	3.14
CH (%)	5.7	27.94	88.8	13.85	14.16	38.69
			T_1 R_2			
PH (Kg)	1.6	11.31	5.42	33.7	23.81	7.12
PSAS (Kg)	1.54	9.27	3.445	21.68	19.14	5.23
CH (%)	3.63	22.02	57.33	55.42	24.4	36.14
			T_5 R_1			
PH (Kg)	5.87	14.79	8.08	56.8	36.2	7.86
PSAS (Kg)	5.55	12.02	4.56	35.73	29.43	5.61
CH (%)	5.71	23.06	77.11	58.91	22.92	40.11
			T_5 R_2			
PH (Kg)	5.17	9.04	6.48	48.42	29	5.53
PSAS (Kg)	4.85	7.05	3.66	38.4	23.8	3.73
CH (%)	6.6	28.25	77.02	26.1	21.97	48.15
			T_9 R_1			
PH (Kg)	2.96	5.86	12.46	68.8	12.46	4.12
PSAS (Kg)	2.69	3.9	7.52	56.71	10.1	1.96
CH (%)	10.04	50.15	65.77	21.27	23.34	109.97
			T_9 R_2			
PH (Kg)	1.89	13.27	14	110.78	35.06	9.94
PSAS (Kg)	1.72	10.38	8.91	91.97	26.44	5.25
CH (%)	9.46	27.94	57.24	20.45	32.62	89.49

ANEXO 3

RESULTADOS DE LABORATORIO, MUESTRAS DE SUELO

Id	Tratamiento	M.O	N Total	C Total
1	T_2	1.68	0.084	0.974
2	T_3	1.34	0.0672	0.7792
3	T_4	1.12	0.056	0.6494
4	T_6	2.24	0.1119	1.2987
5	T_7	1.46	0.0728	0.8442
6	T_8	1.12	0.056	0.6494
7	T_{10}	2.24	0.1119	1.2987
8	T_{11}	1.34	0.0672	0.7792
9	T_{12}	1.01	0.05	0.5844

ANEXO 4

CONSTANCIA DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS DE BIOMASA AÉREA Y BIOMASA SOBRE EL SUELO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE LA MADERA

CONSTANCIA

Por el presente documento se deja constancia que las tesistas Jackeline Zarela Caja Mayta con DNI N° 76545278 y Estefita Yalta Meléndez con DNI N° 75565689 de la carrera de Ingeniería Ambiental han secado muestras de 06 árboles de la especie *Eucalytus gracan* que a continuación se detalla:

ARBOL N°	TIPO BIOMASA	PESO HUMEDO(Kgrs.)	PESO SECO(Kgrs.)	CH (%)
T1-6 AÑOS	HOJARASCA	1.67	1.58	5.70
	HOJAS	8.70	6.80	27.94
	RAICES	7.86	4.17	88.80
	FUSTE	17.65	15.50	13.85
	RAMAS PRIMARIAS	21.56	18.89	14.16
	RAMAS SECUNDARIAS	4.35	3.14	38.69

ARBOL N°	TIPO BIOMASA	PESO HUMEDO(Kgrs.)	PESO SECO(Kgrs.)	CH (%)
T2-6 AÑOS	HOJARASCA	1.60	**1.541**	3.63
	HOJAS	11.31	**9.27**	22.02
	RAICES	5.42	3.445	57.33
	FUSTE	33.70	21.68	55.42
	RAMAS PRIMARIAS	23.81	19.14	24.40
	RAMAS SECUNDARIAS	7.12	5.23	36.14

ARBOL N°	TIPO BIOMASA	PESO HUMEDO(Kgrs.)	PESO SECO(Kgrs.)	CH (%)
T3-7 AÑOS	HOJARASCA	5.87	5.55	5.71
	HOJAS	14.79	12.02	23.06
	RAICES	8.08	4.56	77.11
	FUSTE	56.8	35.73	58.91
	RAMAS PRIMARIAS	36.2	29.43	22.92
	RAMAS SECUNDARIAS	7.86	5.61	40.11

ARBOL N°	TIPO BIOMASA	PESO HUMEDO(Kgrs.)	PESO SECO(Kgrs.)	CH (%)
T4-7 AÑOS	HOJARASCA	5.17	4.85	6.60
	HOJAS	9.04	7.05	28.25
	RAICES	6.48	3.66	77.02
	FUSTE	48.42	38.40	26.10
	RAMAS PRIMARIAS	29.0	23.8	21.97
	RAMAS SECUNDARIAS	5.53	3.73	48.15

ARBOL N°	TIPO BIOMASA	PESO HUMEDO(Kgrs.)	PESO SECO(Kgrs.)	CH (%)
T5-9 AÑOS	HOJARASCA	2.96	2.69	10.04
	HOJAS	5.86	3.90	50.15
	RAICES	12.46	7.52	65.77
	FUSTE	68.8	56.71	21.27
	RAMAS PRIMARIAS	12.46	10.1	23.34
	RAMAS SECUNDARIAS	4.12	1.96	109.97

ARBOL N°	TIPO BIOMASA	PESO HUMEDO(Kgrs.)	PESO SECO(Kgrs.)	CH (%)
T6-9 AÑOS	HOJARASCA	1.89	1.72	9.46
	HOJAS	13.27	10.38	27.94
	RAICES	14.00	8.91	57.24
	FUSTE	110.78	91.97	20.45
	RAMAS PRIMARIAS	35.06	26.44	32.62
	RAMAS SECUNDARIAS	9.94	5.25	89.49

Se expide el presente documento para los fines correspondientes que (él) (la) interesada crea conveniente para futuros tramites de su interés.

Pucallpa 03 de mayo de 2024

Ing. Noe Cristian Fachin Vargas
Lab.de Tecnologia de la madera
FCFyA-UNU

ANEXO 5

CONSTANCIA DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS DE BIOMASA SUBTERRÁNEA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE	JACKELINE ZARELA CAJA MAYTA
PROCEDENCIA	UNU - CALLERIA - CORONEL PORTILLO - UCAYALI
FECHA DE REPORTE	02 DE MAYO DEL 2024
RECIBO N°	------
REFERENCIA	------

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANALISIS MECANICO				ANALISIS QUIMICO		
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	Materia Orgánica	N	C
			Ao	Arc	Lo		M.O.	total	Orgánico
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%		%	%	%
1	PALAB24-01	T2	--	--	--	--	1.68	0.0840	0.9740
2	PALAB24-02	T3	--	--	--	--	1.34	0.0672	0.7792
3	PALAB24-03	T4	--	--	--	--	1.12	0.0560	0.6494
4	PALAB24-04	T6	--	--	--	--	2.24	0.1119	1.2987
5	PALAB24-05	T7	--	--	--	--	1.46	0.0728	0.8442
6	PALAB24-06	T8	--	--	--	--	1.12	0.0560	0.6494
7	PALAB24-07	T10	--	--	--	--	2.24	0.1119	1.2987
8	PALAB24-08	T11	--	--	--	--	1.34	0.0672	0.7792
9	PALAB24-09	T12	--	--	--	--	1.01	0.0504	0.5844

Los Resultados presentados son válidos unicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo Maria

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA
Laboratorio de Análisis de Suelos
Tingo María