



UNAP



**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**

TESIS

**“ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y PRODUCCIÓN DE OXÍGENO EN
PLANTACIONES DE *Cedrelinga cateniformis* DE DIFERENTES
EIDADES, EN PUERTO ALMENDRA, IQUITOS-PERÚ, 2021”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

CARLOS FLORES LOVERA

ASESOR:

Ing. ABRAHAN CABUDIVO MOENA, Dr.

IQUITOS, PERÚ

2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 012-CTG-FCF-UNAP-2023

En Iquitos, en la sala de conferencias de la Facultad de Ciencias Forestales, al 01 día del mes de febrero del 2023, a horas 8:00 am., se dio inicio a la sustentación pública de la tesis titulada: "ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y PRODUCCIÓN DE OXÍGENO EN PLANTACIONES DE *Cedrelinga cateniformis* DE DIFERENTES EDADES, EN PUERTO ALMENDRA, IQUITOS-PERÚ, 2021", aprobada con R.D. N° 0197-2021-FCF-UNAP presentado por el bachiller CARLOS FLORES LOVERA, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado calificador y dictaminador designado mediante R.D. N° 0529-2022-FCF-UNAP, está integrado por:

Ing. Ronald Burga Alvarado, Dr.	: Presidente
Blgo. Carlos Roberto Dávila Flores, M.Sc.	: Miembro
Ing. Segundo Córdova Horna, Dr.	: Miembro

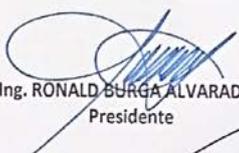
Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: SATISFACTORIAMENTE

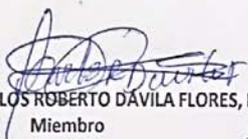
El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

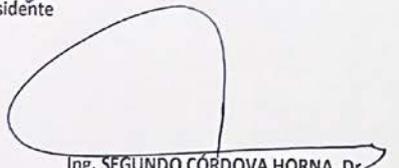
La sustentación pública y la tesis han sido: APROBADAS con la calificación BUENO

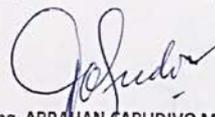
Estando el bachiller apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Siendo las 9:20 Se dio por terminado el acto ACADÉMICO


Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.
Presidente


Blgo. CARLOS ROBERTO DÁVILA FLORES, M.Sc.
Miembro


Ing. SEGUNDO CÓRDOVA HORNA, Dr.
Miembro


Ing. ABRAHAM CABUDIVO MOENA, Dr.
Asesor

Conservar los bosques beneficia a la humanidad ¡No lo destruyas!

Ciudad Universitaria "Puerto Almendra", San Juan, Iquitos-Perú

www.unapiquitos.edu.pe

Teléfono: 065-225303

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL

TESIS

“ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y PRODUCCIÓN DE OXÍGENO EN
PLANTACIONES DE *Cedrelinga cateniformis* DE DIFERENTES
EDADES, EN PUERTO ALMENDRA, IQUITOS-PERÚ, 2021”.

MIEMBROS DEL JURADO


.....
Ing. Ronald Burga Alvarado, Dr.
Presidente
REGISTRO CIP N° 45725


.....
Blgo. Carlos Roberto Dávila Flores, M.Sc.
Miembro
REGISTRO CBP N° 6162


.....
Ing. SEGUNDO CORDOVA HORNA, M.Sc.
Miembro
REGISTRO CIP N° 65032


.....
Ing. Abraham Cabudivo Moena, Dr.
ASESOR
REGISTRO CIP N° 40295



Nombre del usuario:
Universidad Nacional de la Amazonia Peruana

ID de Comprobación:
72813328

Fecha de comprobación:
08.09.2022 13:27:27 -05

Tipo de comprobación:
Doc vs Internet

Fecha del Informe:
08.09.2022 13:45:19 -05

ID de Usuario:
Ocultado por Ajustes de Privacidad

Nombre de archivo: TESIS RESUMEN CARLOS FLORES LOVERA

Recuento de páginas: 30 Recuento de palabras: 6557 Recuento de caracteres: 39373 Tamaño de archivo: 346.25 KB ID de archivo: 83862523

33.7% de Coincidencias

La coincidencia más alta: 18.1% con la fuente de Internet (<https://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/>).

33.7% Fuentes de Internet

721

Página 32

No se llevó a cabo la búsqueda en la Biblioteca

18.7% de Citas

Citas

19

Página 33

No se han encontrado referencias

0% de Exclusiones

No hay exclusiones

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres **Margarita** y **Alcibíades**, a mi hermano **Robins**, a mis dos sobrinas **Ligia** y **Asli**, a mis abuelos por su apoyo y haberme acompañado en el proceso de esta tesis.

AGRADECIMIENTO

- Primeramente, a Dios por todo.
- A mis padres que me brindaron su apoyo y por creer en mí.
- Al ingeniero Abraham Cabudivo Moena por sus enseñanzas tanto en lo teórico y práctico.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	I
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
HOJA DE FIRMAS DE JURADO	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teoricas	6
1.3. Definicion de terminos basicos	8
CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	10
2.1. Formulacion de la hipotesis	10
2.1.2 Hipotesis nula	10
2.1.3 Hipotesis alterna	10
2.2. Variables y su operacionales	10
CAPITULO III: METODOLOGÍA	12
3.1. Tipo y diseño	12

3.2.	Diseño muestral	12
3.3.	Procedimientos de recolección de datos	12
3.4.	Procesamiento y análisis de datos	14
CAPITULO IV: RESULTADOS		17
4.1	Biomasa aérea en plantaciones de <i>Cedrelinga cateniformis</i> de diferentes edades en Puerto Almendra	17
4.2	Almacenamiento de carbono en plantaciones de <i>Cedrelinga cateniformis</i> de diferentes edades en Puerto Almendra	19
4.3	Producción de oxígeno en plantaciones de <i>Cedrelinga cateniformis</i> de diferentes edades en Puerto Almendra	21
CAPITULO V : DISCUSIÓN		25
CAPITULO VI: CONCLUSIONES		27
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES		28
CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN		29
ANEXOS		32
Anexo 1	Mapa de ubicación de la zona de muestreo CIEFOR-Puerto Almendra	33
Anexo 2	Producción de biomasa carbono y oxígeno de <i>Cedrelinga cateniformis</i> de 14 años de edad plantación 63	34
Anexo 3	Producción de biomasa carbono y oxígeno de <i>Cedrelinga cateniformis</i> de 25 años de edad plantación 5	35
Anexo 4	producción de biomasa carbono y oxígeno de <i>Cedrelinga cateniformis</i> de 41 años de edad plantación 16	35
Anexo 5	producción de biomasa carbono y oxígeno de <i>Cedrelinga cateniformis</i> de 42 años de edad plantación 33	36
Anexo 6	producción de biomasa carbono y oxígeno de <i>Cedrelinga cateniformis</i> de 51 años de edad plantación 29	36

Anexo 7	Censo de la plantación 63 de Cedrelinga cateniformis de 14 años de edad.	37
Anexo 8	Censo de la plantación 5 de Cedrelinga cateniformis de 25 años de edad.	38
Anexo 9	Censo de la plantación 16 de Cedrelinga cateniformis de 41 años de edad.	38
Anexo 10	Censo de la plantación 33 de Cedrelinga cateniformis de 42 años de edad.	39
Anexo 11	Censo de la plantación 29 de Cedrelinga cateniformis de 51 años de edad.	39
Anexo 12	Medición de diámetro, altura, georreferenciación de Cedrelinga Cateniformis “tornillo”.	40
Anexo 13	Programa estadístico BioEstat utilizado en los cálculos	41

ÍNDICE DE TABLAS

Nº	Título	Pág.
1	Biomasa aérea de plantaciones de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	18
2	Análisis de varianza de la biomasa aérea de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	18
3	Comparación de medias de biomasa aérea. Prueba de Bonferroni	19
4	Carbono almacenado en plantaciones de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	20
5	Análisis de varianza de carbono en <i>Cedrelinga cateniformis</i>	21
6	Comparación de medias de carbono. Prueba de Bonferroni	21
7	Producción de oxígeno en plantaciones de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	22
8	Análisis de varianza de producción de oxígeno- <i>Cedrelinga cateniformis</i>	23
9	Comparación de medias producción de oxígeno. Prueba de Bonferroni	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	Título	Pág.
1	Producción de biomasa oxígeno y carbono almacenado en plantaciones de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	24

RESUMEN

El estudio se realizó en las plantaciones de 14, 25, 41, 42 y 51 años de *Cedrelinga cateniformis* “tornillo”, ubicadas en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (CIEFOR) Puerto Almendra de la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la UNAP, Iquitos-Perú, con el objetivo de cuantificar el almacenamiento de carbono y producción de oxígeno en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) de diferentes edades. Se inventariaron todos los árboles presentes en cada plantación y la cuantificación de la biomasa aérea se realizó mediante el cálculo indirecto aplicando el modelo alométrico propuesto por Chave (2005) y utilizado por MINAM, 2015, p. 31 y NOWAK *et al.*, (2007). Los resultados muestran que las mayores cantidades de carbono almacenado fueron en las edades de 51 años, 42 años y 41 años con 963,25 Kg/árbol, 599,45 Kg/árbol y 586,35 Kg/árbol y también en oxígeno con 2568,98 Kg/árbol, 1598,72 Kg/árbol y 1563,80 Kg/árbol respectivamente. De acuerdo al análisis estadístico se concluyó que los resultados del carbono almacenado y la producción de oxígeno en plantaciones de *C. cateniformis* “tornillo” está influenciado por la edad de la plantación.

Palabras claves: Plantaciones, producción, servicios, ecosistema

ABSTRACT

The study was carried out in the plantations of 14, 25, 41, 42 and 51 years of *Cedrelinga cateniformis* "tornillo", located in the Forestry Research and Teaching Center (CIEFOR) Puerto Almendra of the Faculty of Forestry Sciences (FCF) of UNAP, Iquitos-Peru, with the objective of quantifying carbon storage and oxygen production in *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) plantations of different ages. A census of all the trees present in each plantation was carried out and the quantification of the aerial biomass was carried out by indirect calculation applying the allometric model proposed by Chave (2005) and used by MINAM, 2015, p. 31 and NOWAK et al., (2007). The results show that the greatest amounts of carbon stored were at the ages of 51 years, 42 years and 41 years with 963.25 kg/tree, 599.45 kg/tree and 586.35 kg/tree and also in oxygen with 2568.98 Kg/tree, 1598.72 Kg/tree and 1563.80 Kg/tree respectively. According to the statistical analysis, it is concluded that the results of stored carbon and oxygen production in plantations of *C. cateniformis* "tornillo" are influenced by the age of the plantation.

Keywords: Plantations, production, services, ecosystem.

INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero más importante producido por las actividades humanas en los últimos 150 años, se ha incrementado las concentraciones de CO₂ en la atmosfera de la tierra y actualmente cerca del 20% de las emisiones de CO₂ resultan de la eliminación y degradación por los ecosistemas forestales: a través de la reforestación y manejo sustentable, es posible recapturar el CO₂ disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y reducir el calentamiento global que está afectando la vida en el planeta tierra (Schlegel, 2001 citado por De la Cruz, 2014, p. 1)

Se conoce que los bosques secundarios y las plantaciones en crecimiento representan mejores alternativas para reducir la contaminación del aire, el efecto invernadero y el calentamiento global del planeta, porque, secuestran dióxido de carbono; lo que no ocurre con los bosques maduros, la asimilación neta de carbono no se da, porque, se encuentran saturados y sus tasa de crecimiento se reduce notablemente a consecuencia de un balance entre la respiración y la producción de oxígeno, es decir, entre el incremento y muerte de biomasa.

Actualmente, hay poca información sobre la importancia del servicio ecosistémico que generan los árboles de plantaciones referente al carbono almacenado y producción de oxígeno, se desarrolló el presente trabajo, con la finalidad de aportar información que ayude mitigar los efectos del cambio climático, también, que sirva para el conocimiento como una alternativa demostrativa de las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal en Puerto Almendra; cómo funciona su metabolismo para el secuestro y almacenamiento de carbono así como su producción de oxígeno, como un paso para la construcción de datos

estadísticos confiables que se llegara a producir en la amazonia peruana

.

El presente trabajo es importante y útil investigar, porque, existe escaso conocimiento en la descripción y conocimiento en el servicio ecosistémico del almacenamiento de carbono y producción de oxígeno que generan los arboles de plantaciones establecidos a los alrededores de la ciudad de Iquitos, porque, cada vez la ciudad va quedando sin áreas verdes, cuando aumenta la temperatura del ambiente urbano por la intensidad de los rayos del sol hace que en la ciudad exista islas de calor. Además, las Naciones Unidas encaran la mitigación del efecto de cambio climático global a través de programas de reducción de emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero. El tema es una prioridad para la ciudad y la región, con la información que se tendría, se podría iniciar la gestión para dar un valor agregado a los arboles tanto, ecológica, ambientalmente y económicamente, también es importante porque contribuye al inventario de biomasa y carbono de los bosques tropicales, útil para los servicios ambientales y negocios con carbono.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

En algunos países han estudiado el arbolado urbano como medida de reducción de CO₂ y mejoras en la calidad del aire como lo fue en Beijing Jun Yanga, Joe McBride, Jinxing Zhou en el año 2002, estudiaron la propuesta del gobierno municipal que constaba en la plantación de árboles como una medida de mitigación contra la contaminación del aire, en donde se determinó que los 2,4 millones de árboles de Beijing en el año 2002 eliminaron 1261 toneladas de contaminantes del aire (Yang, McBride, Zhou, & Sun, 2005, citado por Cortes y Matías, 2019, p. 24)

Dentro de los servicios ofrecidos por las plantaciones se encuentra la producción de oxígeno, David J. Nowak en el año 2007 desarrolló un estudio que tenía como finalidad evaluar el potencial del arbolado urbano en la provisión de oxígeno en Estados Unidos. La producción de oxígeno en los árboles urbanos de EE. UU fue de 61 millones de toneladas métricas (67 millones de toneladas) **(Nowak, Hoehn, & Crane, 2007 citado por Cortes y Matías, 2019, p. 24)**. Así mismo, David J. Nowak y Daniel E. Crane en el año 2013 evaluaron la eliminación de la contaminación del aire por árboles y arbustos urbanos haciendo uso de datos meteorológicos por hora y concentración de contaminación de todo el territorio, demostrando que los árboles urbanos eliminan grandes cantidades de contaminantes, la eliminación de la contaminación varió entre las ciudades con una eliminación total anual de 711000 toneladas métricas (Nowak, Greenfield, Hoehn, & Lapoint, 2013 citado por Cortes y Matías, 2019, p. 24)

A nivel nacional han sido pocos los estudios en los que se estime la fijación de

CO₂ por arbolado urbano y su producción de O₂. Cabudivo (2017, p. 31) realizando trabajos en la avenida Abelardo Quiñones concluye en lo siguiente: El mayor secuestro de CO₂ y producción de O₂ lo obtuvo en especies arbóreas con 184 t CO₂ y 134 t O₂ a diferencia de las palmeras con un 16,88 t CO₂ y 12 t O₂ respectivamente. La mayor producción de biomasa y almacenamiento de carbono se ha determinado en la clase diamétrica >30-40 y >40-50 cm con un total de 39,26 y 42,12 t de biomasa, con 19,63 t C y 21,10 t C. de Almacenamiento de carbono respectivamente. La clase diamétrica que tuvo el mayor secuestro de dióxido de carbono (CO₂) fue >40-50 cm con 77,36 t CO₂. La mayor producción de O₂ se determinó en la clase diamétrica >40-50 con 56,26 t O₂,

En el año 2014 Guarín, Delgado, Suanch, Mantilla, Gualdrón, Moreno determinaron la biomasa y absorción CO₂ en parques urbanos de Bucaramanga para mitigar la contaminación causada por el parque automotor, haciendo uso de ecuaciones alométricas, determinaron que la cantidad de biomasa obtenida en las áreas de estudio es baja si se compara con los niveles de contaminación que puede generar el parque automotor de Bucaramanga y recomiendan para los planes de ordenamiento territorial ampliar las zonas verdes o espacios arbóreos al menos cuatro veces más la actual (Guarín y Matías, 2014 citado por Cortes y Matías, 2019, p. 25).

Aunque en la región en donde se llevó a cabo el proyecto no se encuentra ningún estudio relacionado con la fijación de CO₂ o la producción de O₂ por el arbolado urbano, si se han realizado estudios sobre el reconocimiento del estado actual del arbolado de Villavicencio, en donde se identificaron que predominan en el municipio dos especies introducidas: el ficus *Ficus benjamina* y el *Pomarroso*

brasileño Syzygium malaccensis, las cuales poseen altísimas poblaciones (ficus: 3725, pomarroso brasileño: 3544), (Prieto & Garzón, 2007 citado por Cortes y Matías, 2019, p. 26)

Muñoz y Vásquez, (2020, p. 120) concluyen que en los parques de la ciudad de Cuenca-Ecuador, la captura de CO₂ de los parques muestreados fue de 11,418.88 toneladas durante el año 2019. Las especies nativas capturaron 669.08 toneladas y las introducidas capturaron 10709.8 toneladas, demostraron que las especies introducidas capturaron el 93,79% del total. Además, Las especies que capturaron más CO₂ fueron *Eucalyptus Sp* (9928,69 kg), *Salix humboldtiana* (607305,42 kg), *Cupressu sempervirens* (141361,18 kg), *Fraxinus excelsionr* L. (139964,29 kg) *Araucaria araucana* (130134,51 kg) y *Alnus acuminata* (12355,66 kg)

Maylle, (2017, p. 50) concluye que el carbono almacenado por las áreas verdes del distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, Ucayali en el año 2015 en promedio fue de 38,42 t/ha y el carbono total almacenado fue de 115,26 t/ha en las áreas verdes del distrito de Callería. La mayor cantidad de CO₂ almacenado y fijado fue en el estrato vegetal fustal con 1 373,20 kg, seguido por el estrato de latizal con 27, 20 kg de CO₂

Mediante la Dasometría se ha logrado expresar y conocer la captura de carbono en diferentes ecosistemas. (Kanninen, 2007, citado por Céspedes 2017, p 21).

1.2 Bases teóricas

Con el cálculo de la biomasa se obtiene un valor aproximado de la cantidad de carbono almacenado, porque existe una estrecha relación entre la biomasa y el carbono. Es muy importante no confundir Carbono (C) con Dióxido de carbono (CO₂); en una molécula de CO₂ existen dos átomos de oxígeno (con peso atómico 2 x 16 = 32) y un átomo de carbono (con peso atómico 12). Por lo tanto, el peso molecular del CO₂ es 44 (2 x 16 + 12), de los cuales solamente 12 corresponden a carbono. De lo anterior se deduce que se necesitan 44/12 = 3,667 tn de CO₂ para tener 1 tn de carbono (Nowak, et al 2007, Scheguel, 2001, MINAM, 2009 citado por Cabudivo 2017, p. 7).

Nowak *et al.* 2007; Nowak *et al.* 2002; Nowak, 1994; Nowak, 1986; Salisbury y Ross, 1978, citado por Mozombite (2015, p. 9); manifiestan que expulsión de oxígeno por los árboles está basado en la producción de oxígeno durante la fotosíntesis menos el oxígeno consumido durante la respiración de la planta la fotosíntesis: $n (\text{CO}_2) + n (\text{H}_2\text{O}) + \text{light} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_n + n\text{O}_2$ y la respiración: $(\text{CH}_2\text{O})_n + n\text{O}_2 \rightarrow n (\text{CO}_2) + n (\text{H}_2\text{O}) + \text{energía}$. Por ello uno de los métodos para estimar la producción de oxígeno es partir del carbono secuestrado basado en su peso atómico: $\text{O}_2 (\text{neto}) = \text{C}_s * \text{O}_2/\text{C}$ Donde: $\text{O}_2 (\text{neto}) =$ Producción de oxígeno, en kg; $\text{C}_s =$ Carbono secuestrado, en kg; $\text{O}_2 = 2 * 16$ y $\text{C} = 12$.

La generación de oxígeno en el arbolado es parte indispensable de la vida en la tierra, ya que proporcionan oxígeno mediante el consumo de dióxido de carbono, así mismo la generación de oxígeno es uno de los servicios ecosistémicos más comúnmente citados por el arbolado urbano y a su vez se encuentra dentro de los servicios más representativos prestados por el arbolado. Nowak, (2007 citado por Cortes y Matías, 2019, p. 30), define que la producción neta de

oxígeno por los árboles se basa en la cantidad de oxígeno producido durante la fotosíntesis menos la cantidad de oxígeno producido por la planta y está directamente relacionado con la cantidad de carbono secuestrado por el árbol, que está ligado a la acumulación de biomasa arbórea (Nowak, *et al.* 2007 p.220). Así se demuestra en las siguientes reacciones: Fotosíntesis: $n(\text{CO}_2) + n(\text{H}_2\text{O}) + \text{luz} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_n + n\text{O}_2$ Estimación de la fijación de CO_2 y producción de O_2 del arbolado Respiración: $(\text{CH}_2\text{O})_n + n\text{O}_2 \rightarrow n(\text{CO}_2) + n(\text{H}_2\text{O}) + \text{energía}$. Por esta razón un método para estimar la producción de oxígeno de un árbol es a partir del carbono secuestrado basado en su peso atómico $\text{O}_2 \text{ neto} = \text{C neto secuestrado} \times (32/12)$ donde O_2 es la producción neta de oxígeno por árbol en kg, C es el carbón neto secuestrado en kg (Nowak, *et al.* 2007, p. 222).

Por otro lado, las plantaciones junto con los suelos, juegan un papel esencial en los procesos hidrológicos urbanos, pues restringen la velocidad y el volumen de la escorrentía generada por aguaceros y tormentas impidiendo la sobrecarga de los sistemas de alcantarillado y consecuentes daños por inundaciones. El arbolado urbano dependiendo de las características de sus raíces (profundidad, extensión, dimensiones) cumplen un papel importante en la estabilización de taludes y prevención de deslizamientos del mismo modo reduce la exposición de los suelos a los efectos del agua tanto por el impacto vertical (lluvia) como por arrastre (escorrentía) minimizando la erosión (Nowak, Dwyer, & Childs, 1997, Corzo, 2007, citado por Cortes, y Matías, 2019 p. 31)

1.3 Definición de términos básicos.

Servicio ecosistémico: según el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt los servicios ecosistémicos son “todas aquellas contribuciones directas e indirectas que hacen los ecosistemas al bienestar humano, esto se ve representado en elementos o funciones derivadas de los ecosistemas que son percibidas, capitalizadas y disfrutadas por el ser humano como beneficios que incrementan su calidad de vida” (Humboldt, 2017, citado por Cortes, y Matías, 2019 p. 32)

Fijación de carbono y producción de oxígeno: la fijación de carbono por medio de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono (azúcares como la glucosa), que sirven de base para su crecimiento. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación, y consecuentemente constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca), un stock natural de carbono” (Rügnitz, Chacón, & R., 2009, citado por Cortes, y Matías, 2019, p. 32).

Sumidero de carbono: el concepto de sumidero en relación con el cambio climático fue adoptado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de 1992. Según la Convención, un sumidero es “cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero” (Provincias, 2019 citado por Cortes, y Matías, 2019 p. 32).

Biomasa: Peso de la materia orgánica, por encima y por debajo del suelo (Lino, 2009, p. 16 citado por Ribeyro, p.10).

Variables dasométricas: la dasometría es una parte de la dasonomía que se encarga de la medición, cálculo o estimación de los volúmenes, edad e incremento de las masas forestales, dentro de las características que se pueden medir o estimar de los árboles son: diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal, altura total, volumen total, biomasa aérea y otras (Torres, 2006 citado por Cortes, y Matías, 2019, p. 33).

Plantaciones: cultivo realizado por el ser humano conformada por una o más especies de árboles de la misma edad y ubicados ordenadamente.

BioEstat: Es un software que lo pueden usar estudiantes de pregrado y posgrado, que permite realizar diversos análisis estadísticos y gráficos con procedimientos fáciles de ejecutar.

CAPITULO II. HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Formulación de la hipótesis

El mayor almacenamiento de carbono y mayor producción de oxígeno será en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) de mayor edad en Puerto Almendra, Iquitos-Perú, 2021

2.1.2 Hipótesis nula (Ho)

No existe diferencia significativa entre la producción de biomasa, carbono almacenado y la producción de oxígeno.

2.1.3 Hipótesis alterna (Ha)

Existe diferencia significativa entre la producción de biomasa, carbono almacenado y la producción de oxígeno.

2.2 Variables y definiciones operacionales.

Las variables identificadas para la presente investigación son las siguientes:

Independiente (X): Plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades; mientras que la variable dependiente (Y): Almacenamiento de carbono y producción de oxígeno.

Operacionalización de variables

Variable	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Medio de verificación
Plantaciones de <i>Cedrelinga cateniformis</i> de diferentes edades	Constituidos por arboles de diferentes tamaños plantados en diferentes años y áreas en suelos de terraza media	Cuantitativa	Población arbórea Edad de las plantaciones Densidad básica de la madera	Nominal	Censo de la población arbórea de las plantaciones
Almacenamiento de carbono. Producción de oxígeno	La producción neta de oxígeno por los árboles se basa en la cantidad de oxígeno producido durante la fotosíntesis menos la cantidad de oxígeno producido por la planta y está directamente relacionado con la cantidad de carbono secuestrado por el árbol, que está ligado a la acumulación de biomasa arbórea y producir oxígeno de árboles en un ecosistema determinado.	Cuantitativa	Características: <ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de Carbono • Producción de oxígeno 	Nominal	Tabla de almacenamiento de carbono. Tabla de producción de oxígeno.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño

La investigación es del tipo descriptivo y de nivel básico, el diseño metodológico del estudio para alcanzar el objetivo propuesto es Cuantitativo. Consiste en tomar muestras en situaciones reales que se hayan producido, se realizó la cuantificación de las variables de estudio para describir las características almacenamiento de carbono y la producción de oxígeno de plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades en Puerto Almendra.

3.2 Diseño muestral

Población

La población está conformada por todas las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades instaladas en El CIEFOR Puerto Almendra.

Muestra

Las muestras fueron todos los árboles de plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* con edades de 14 años, 25 años, 41 años, 42 años y 51 años.

3.3 Procedimiento de recolección de datos

3.3.1 Materiales de campo y gabinete

De campo

Libreta de campo, Jalones, Wincha, Botas, Machete, Bolsas de plástico, Rafia, Capota, Etiquetas plásticas, Chinchas, Cámara fotográfica, Clinómetro Suunto, GPS Garmin, Plumón indeleble.

De Gabinete

Papel bond A4, Computadora, USB, Calculadora, Impresora, Cartuchos de tinta, Plumón indeleble

a) Fase de pre campo

En base al procedimiento preliminar antes de visita al campo, se obtuvo toda la información referente a las plantaciones las edades, ubicación, accesos, quienes lo han establecido y en qué año se ha establecido.

b) Fase de campo

La técnica de recolección de datos para el censo, fue georreferenciar los árboles para lo cual se utilizaron formatos de toma de datos especialmente diseñados para el estudio, se registraron: número de árbol, nombre común, Nombre científico, DAP, se determinó la altura de todos los árboles mediante el Clinómetro Óptico SUUNTO la distancia en metros entre el operador y el árbol y se registró en la libreta de campo y algunas observaciones particulares de cada individuo existente en el área de estudio, se procedió a medir el diámetro a la altura del pecho (DAP), con forcípula de metal.

c) Fase de gabinete

Se recopiló los datos obtenidos en el campo y se ha calculado hasta tener toda la información que se necesitaba para cumplir los objetivos de la investigación.

3.4 Procesamiento y análisis de los datos

3.4.1 Para el cálculo del diámetro a la altura del pecho (DAP)

Para tal efecto, se utilizó con una cinta métrica graduada en cm y se midió la circunferencia del árbol a la altura del pecho (1,30 m), con este valor se determinó el DAP del árbol.

$$DAP=c/\pi$$

Dónde:

- **DAP** = Diámetro a la altura del pecho (1,30 m);
- **c** = Medida de la circunferencia en centímetros;
- $\pi = 3,1416$

3.4.2 Calculo de la altura total de árboles maderables

La información que se obtuvo del campo se organizó en una tabla de base de datos en Excel, determinándose los siguientes cálculos:

Se determinó la altura total de los árboles fustales maderables haciendo uso de la fórmula propuesta por el manual de usuario del clinómetro óptico Suunto.

$$H = (Lc/100 \times d) + h_o$$

Donde:

- H= Altura comercial del árbol (m);
- Lc = Lectura del clinómetro (%);
- d = Distancia entre el operador y el árbol (m) y
- h_o = Altura hasta el ojo del operador (m).

3.4.3 Determinación de la biomasa aérea

A partir de la información del inventario de las medidas dasométricas de los árboles se determinó la biomasa aérea leñosa •

Para la estimación de la biomasa leñosa de los árboles maderables, se utilizó la ecuación desarrollada por Chave *et al.* (2005, citado por MINAM, 2015, p. 31 y Honorio y Baker, 2010, p. 36), ecuación diseñada para estimar directamente la biomasa aérea en bosques húmedos tropicales, con parámetros: DAP, densidad básica y altura total, bajo el modelo de pD^2H ; ecuación se ajusta para árboles con un DAP de 5 cm como mínimo.

$$AGBest = p \times \exp(-2,977 + \ln(p \times D^2 \times H))$$

Donde:

- AGBest = Biomasa aérea, Kg
- p = Densidad básica de la madera en g/cm^3
- D = Diámetro a la altura del pecho, cm
- H = Altura total, m

• Determinación del carbono almacenado

Para la estimación indirecta por hectárea del contenido de carbono en la biomasa aérea del bosque, se tiene estimado que aproximadamente el 50% de la biomasa vegetal corresponde al carbono, por lo cual para estimar el carbono almacenado total se multiplicó la biomasa total (BT) por el factor 0,5 (Quiceno, *et al.* 2016, p. 185).

$$CBT = BT * 0.5$$

Dónde:

- CBT = Carbono almacenado (kg/ha)
- BT = Biomasa total (kg/ha).

• Cálculo de la producción de oxígeno

Para calcular la producción de oxígeno, se ha realizado a partir del carbono secuestrado basado en su peso atómico (NOWAK et al., 2007 citado por Cabudivo 2017, p. 20)

$$O_2 \text{ (neto)} = C_s \times O_2 / C$$

Dónde:

- O_2 = Producción de Oxígeno en toneladas
- C_s = Carbono secuestrado en toneladas
- O_2 = 32
- C = 12

Análisis de Estadísticos

Los resultados de la evaluación del almacenamiento de carbono y de la producción de oxígeno de árboles de la plantación de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades en el CIEFOR Puerto Almendra, se realizó mediante el programa estadístico BioEstat, para contrastar la hipótesis planteada respecto a las variaciones de la población con respecto a las medias de las poblaciones se realizó el análisis de varianza a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$; y para determinar la significancia de los promedios se realizó la Prueba estadística de Bonferroni a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$,

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 Biomasa aérea en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades en Puerto Almendra.

En el cuadro 1 y en la figura 1, se presentan los resultados de la producción de la biomasa aérea de la población de plantaciones de 14 años, 25 años, 41 años, 42 años y 51 años de *Cedrelinga cateniformis*, obteniendo la mayor producción en las edades de 51 años, 42 años y 41 años con 1926,49 Kg/árbol, 1198,89 Kg/árbol y 1172,70 Kg/árbol. Siendo el de menor producción de 14 años de establecido.

Según el cuadro 2 del análisis de varianza con una probabilidad del $(p)= 0,05$ es significativo, es decir, que los tratamientos influyen para tener un mayor o menor producción de biomasa. Pero en el cuadro 3, al hacer las comparaciones de las medias con la Prueba estadística de Bonferroni, los años de establecimiento de las plantaciones demuestra que solo los de 14 años comparados con los de 25 años y los de 41 años comparados con los de 42 años no son significativos, es decir, no son influenciados por la edad.

Cuadro 1. Biomasa aérea en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis*

N° Orden	14 Años	25 Años	41 Años	42 Años	51 Años
	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)
1	201.02	342.10	1138.03	748.94	4094.43
2	263.28	619.12	1082.94	1868.27	1521.52
3	148.94	432.13	1470.83	571.77	1427.57
4	257.30	472.92	1254.53	1540.65	1821.32
5	295.37	350.02	1211.27	695.47	2036.82
6	119.13	648.46	530.63	1574.77	1254.53
7	112.02	455.76	1157.46	1341.82	1848.78
8	229.87	130.72	1331.94	832.87	1364.00
9	245.20	821.59	1382.87	1615.41	1249.31
10	336.07	396.12	1874.89	0.00	1470.83
11	199.69	0.00	1136.06	0.00	1787.16
12	167.52	0.00	669.47	0.00	1967.44
13	140.03	0.00	1004.20	0.00	3890.95
14	174.73	0.00	0.00	0.00	1236.24
15	197.46	0.00	0.00	0.00	0.00
16	152.81	0.00	0.00	0.00	0.00
17	180.97	0.00	0.00	0.00	0.00
18	123.07	0.00	0.00	0.00	0.00
19	241.22	0.00	0.00	0.00	0.00
20	176.90	0.00	0.00	0.00	0.00
21	342.35	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio	204.99	466.89	1172.70	1198.89	1926.49

Cuadro 2. Análisis de varianza de la biomasa aérea de *Cedrelinga cateniformis*

F. V.	GL	SQ	QM	F	(p)	Significancia
Tratamientos	4	285.00 e+05	712.49 e+04	30.2532	0	Significativo
Error	62	146.02 e+05	235.51 e+03			

Cuadro 3. Comparación de medias de biomasa aérea. Prueba de Bonferroni

Edad de las plantaciones	Biomasa aérea (Kg/árbol)		
Media 14 años (Columna 1) =	205.00	---	---
Media 25 años (Columna 2) =	466.89	---	---
Media 41 años (Columna 3) =	1172.70	---	---
Media 42 años (Columna 4) =	1198.89	---	---
Media 51 años (Columna 5) =	1926.49	---	---
Prueba de Bonferroni:	Dif. Medias	B	(p)
Medias (1 y 2) = 14 y 25 años	261.90	311.38	No significativo
Medias (1 y 3) = 14 y 41 años	967.70	286.01	Significativo
Medias (1 y 4) = 14 y 42 años	993.89	322.89	Significativo
Medias (1 y 5) = 14 y 51 años	1721.50	279.63	Significativo
Medias (2 y 3) = 25 y 41 años	705.81	340.89	Significativo
Medias (2 y 4) = 25 y 42 años	731.99	372.37	Significativo
Medias (2 y 5) = 25 y 51 años	1459.60	335.55	Significativo
Medias (3 y 4) = 41 y 42 años	26.18	351.43	No significativo
Medias (3 y 5) = 41 y 51 años	753.79	312.15	Significativo
Medias (4 y 5) = 42 y 51 años	727.61	346.26	Significativo

4.2 Almacenamiento de carbono en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades en Puerto Almendra

En el cuadro 4 y en la figura 1, se presentan los resultados del carbono almacenado por la población de plantaciones de 14 años, 25 años, 41 años, 42 años y 51 años de *Cedrelinga cateniformis*, obteniendo la mayor producción en las edades de 51 años, 42 años y 41 años con 963,25 Kg/árbol, 599,45 Kg/árbol y 586,35 Kg/árbol. Siendo el de menor producción de 14 años de establecido con 102,50 Kg/árbol.

Según el cuadro 5 del análisis de varianza con un margen de error de $(p) = 0,05$ es significativo, es decir, que los tratamientos influyen para tener un mayor o menor Carbono almacenado.

Pero al hacer las comparaciones de las medias de los años de establecimiento de las plantaciones demuestra que solo los de 14 años comparados con los de

25 años, y 41 años con 42 años no son significativos, es decir, no son influenciados por la edad.

Cuadro 4. Carbono almacenado en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis*

N° Orden	14 Años	25 Años	41 Años	42 Años	51 Años
	Carbono (kg/árbol)				
1	100.51	171.05	569.02	374.47	2047.22
2	131.64	309.56	541.47	934.14	760.76
3	74.47	216.06	735.42	285.89	713.79
4	128.65	236.46	627.27	770.33	910.66
5	147.69	175.01	605.64	347.73	1018.41
6	59.57	324.23	265.32	787.39	627.27
7	56.01	227.88	578.73	670.91	924.39
8	114.94	65.36	665.97	416.44	682.00
9	122.60	410.79	691.44	807.71	624.66
10	168.03	198.06	937.45	0.00	735.42
11	99.84	0.00	568.03	0.00	893.58
12	83.76	0.00	334.73	0.00	983.72
13	70.01	0.00	502.10	0.00	1945.48
14	87.36	0.00	0.00	0.00	618.12
15	98.73	0.00	0.00	0.00	0.00
16	76.41	0.00	0.00	0.00	0.00
17	90.48	0.00	0.00	0.00	0.00
18	61.54	0.00	0.00	0.00	0.00
19	120.61	0.00	0.00	0.00	0.00
20	88.45	0.00	0.00	0.00	0.00
21	171.18	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio	102.50	466.89	586.35	599.45	963.25

Cuadro 5. Análisis de varianza de carbono en *Cedrelinga cateniformis*

F. V.	GL	SQ	QM	F	(p)	Significancia
Tratamientos	4	712.50 e+04	178.12 e+04	30.25	0	Significativo
Error	62	365.04 e+04	58.88 e +03			

Cuadro 6. Comparación de medias de carbono. Prueba de Bonferroni

Edad de las plantaciones	Carbono (kg/árbol)		
Media 14 años (Columna 1) =	102.499	---	---
Media 25 años (Columna 2) =	466.894	---	---
Media 41 años (Columna 3) =	586.353	---	---
Media 42 años (Columna 4) =	599.446	---	---
Media 51 años (Columna 5) =	963.249	---	---
Prueba de Bonferroni:	Dif. Medias	B	(p)
Medias (1 y 2) = 14 y 25 años	130.95	155.69	No Significativo
Medias (1 y 3) = 14 y 41 años	483.85	143.00	Significativo
Medias (1 y 4) = 14 y 42 años	496.95	161.44	Significativo
Medias (1 y 5) = 14 y 51 años	860.75	139.81	Significativo
Medias (2 y 3) = 25 y 41 años	352.91	170.44	Significativo
Medias (2 y 4) = 25 y 42 años	366.00	186.19	Significativo
Medias (2 y 5) = 25 y 51 años	729.80	167.78	Significativo
Medias (3 y 4) = 41 y 42 años	13.09	175.72	No Significativo
Medias (3 y 5) = 41 y 51 años	376.90	156.08	Significativo
Medias (4 y 5) = 42 y 51 años	363.80	173.13	Significativo

4.3 Producción de oxígeno en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades en Puerto Almendra

En el cuadro 7 y en la figura 1, se observan los resultados de la producción de oxígeno (O₂) por la población de plantaciones de 14 años, 25 años, 41 años, 42 años y 51 años de *Cedrelinga cateniformis*, obteniendo la mayor producción de O₂ en las edades de 51 años, 42 años y 41 años con 2568,98 Kg/árbol, 1598,72 Kg/árbol y 1563,80 Kg/árbol. Siendo el de menor producción de 14 años de establecido con 273,36 Kg/árbol.

Según el cuadro 8 del análisis de varianza con un margen de error de $(p) = 0,05$ es significativo, es decir, que los tratamientos influyen para tener un mayor o menor producción de oxígeno. Pero al hacer las comparaciones de las medias de los años de establecimiento de las plantaciones demuestra que solo los de 14 años comparados con los de 25 años; 41 años comparados con los de 42 años no son significativos, es decir, no son influenciados por la edad.

Cuadro 7. Producción de oxígeno en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis*

N° Orden	14 Años	25 Años	41 Años	42 Años	51 Años
	Oxígeno (kg/árbol)	Oxígeno (kg/árbol)	Oxígeno (kg/árbol)	Oxígeno (kg/árbol)	Oxígeno (kg/árbol)
1	268.06	456.19	1517.57	998.72	5459.92
2	351.09	825.59	1444.09	2491.34	2028.95
3	198.61	576.24	1961.36	762.46	1903.67
4	343.11	630.64	1672.92	2054.46	2428.73
5	393.88	466.76	1615.23	927.40	2716.10
6	158.87	864.73	707.60	2099.96	1672.92
7	149.38	607.76	1543.47	1789.32	2465.35
8	306.53	174.31	1776.14	1110.64	1818.89
9	326.97	1095.58	1844.06	2154.15	1665.96
10	448.15	528.22	2500.17	0.00	1961.36
11	266.28	0.00	1514.94	0.00	2383.17
12	223.38	0.00	892.74	0.00	2623.58
13	186.73	0.00	1339.11	0.00	5188.58
14	233.00	0.00	0.00	0.00	1648.52
15	263.32	0.00	0.00	0.00	0.00
16	203.77	0.00	0.00	0.00	0.00
17	241.32	0.00	0.00	0.00	0.00
18	164.12	0.00	0.00	0.00	0.00
19	321.67	0.00	0.00	0.00	0.00
20	235.89	0.00	0.00	0.00	0.00
21	456.53	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio	273.36	622.60	1563.80	1598.72	2568.98

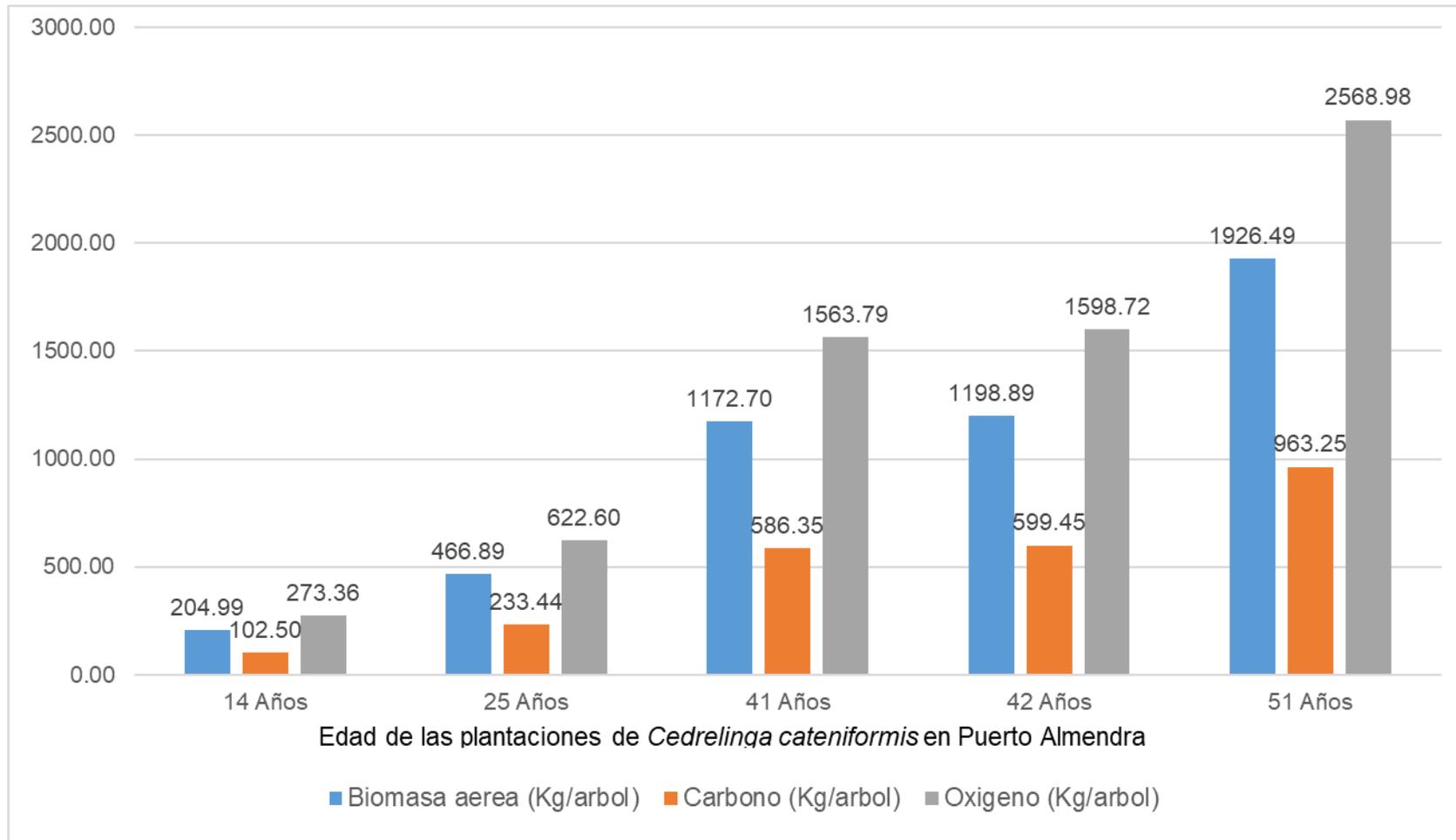
Cuadro 8 Análisis de varianza de producción de oxígeno en *Cedrelinga cateniformis*.

F. de V.	GL	SQ	QM	F	(p)	Significancia
Tratamientos	4	506.79 e+05	126.70 e+05	30.2533	0	Significativo
Error	62	259.65 e+05	418.79 e+03			

Cuadro 9. Comparación de medias producción de oxígeno. Prueba de Bonferroni

Edad de las plantaciones	Producción (kg/árbol)		
Media 14 años (Columna 1) =	273.36	---	---
Media 25 años (Columna 2) =	622.60	---	---
Media 41 años (Columna 3) =	1563.80	---	---
Media 42 años (Columna 4) =	1598.72	---	---
Media 51 años (Columna 5) =	2568.98	---	---
Bonferroni:	Dif. Medias	B	(p)
Medias (1 y 2) = 14 y 25 años	349.24	415.23	No Significativo
Medias (1 y 3) = 14 y 41 años	1290.44	381.39	Significativo
Medias (1 y 4) = 14 y 42 años	1325.35	430.57	Significativo
Medias (1 y 5) = 14 y 51 años	2295.61	372.88	Significativo
Medias (2 y 3) = 25 y 41 años	941.20	454.58	Significativo
Medias (2 y 4) = 25 y 42 años	976.11	496.56	Significativo
Medias (2 y 5) = 25 y 51 años	1946.38	447.46	Significativo
Medias (3 y 4) = 41 y 42 años	34.92	468.63	No Significativo
Medias (3 y 5) = 41 y 51 años	1005.18	416.26	Significativo
Medias (4 y 5) = 42 y 51 años	970.26	461.73	Significativo

Figura 1. Producción de biomasa oxígeno y carbono almacenado en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis*



CAPITULO V. DISCUSION

De acuerdo con los resultados obtenidos de biomasa aérea, Carbono almacenado y producción de oxígeno en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de 14 años, 25 años, 41 años, 42 años y 51 años; encontró mayor cantidad de biomasa promedio en la plantación de 51 años, seguido de 42 años y 41 años con 1926,49 Kg/árbol; 1198,89 Kg/árbol; y 1172,70 Kg/árbol respectivamente; principalmente se debe a la edad de la plantación, y sobre todo, se sabe, que a esta edad la especie se encuentra estable y con un grosor de diámetro adecuado y por lo tanto tienen una buena capacidad de producir más biomasa; mientras Gonzales, (2013, pp. 64-67) realizando trabajos en la zona en plantaciones de *Vochysia lomatophylla* (standl) “quillosa” de diferentes edades en el CIEFOR Puerto Almendra encontró biomasa aérea similares para plantaciones de 13 años, 22 años, 33 años, con 148,88 Kg/árbol, 386,54 Kg/árbol y 413 Kg/árbol respectivamente; además, de las características de las parcelas como la extrema acidez del suelo 3,5-4,0 de pH y elevada concentración de hierro (1113,20 Kg/ha/año-7942,00 Kg/ha/año) que inmoviliza la presencia e los nutrientes, como lo menciona (Quintana, 2006, p. 59); finalmente la plantación de 14 años con un promedio de 204,99 Kg/árbol es el de menor productividad debido a que esta edad los individuos son jóvenes y se encuentran en competencia de espacio y nutrientes las cuales disminuye la capacidad de generar biomasa como menciona Gonzales, (2013, p. 42).

La cantidad de carbono almacenado por los árboles depende ampliamente del sitio de las plantaciones, la edad, la estructura, la función los factores ambientales y socioeconómicos como manifiesta (Vogt *et al.*, 1996; Albrecht & Kandji. 2003; Scott *et al.*, 2004; citado por Gonzales, 2013, p. 43), coincidiendo

con estos autores se demostró mediante los resultados obtenidos que la mayor cantidad de carbono almacenado se encontró en la plantación de 51 años con un promedio de 963,25 Kg/árbol, seguido de la plantación de 42 años y 41 años con 599,45 Kg/árbol y 586,35 Kg/árbol respectivamente y finalmente la plantación de 14 años se encontró menor cantidad de carbono almacenado (102,50 Kg/árbol) principalmente se debe a la edad de la plantación, la cantidad de biomasa y el secuestro de dióxido de carbono que absorbe de la atmosfera, las características que presenta cada parcela; de esta manera (ICRAF, 2003 citado por Gonzales 2013, p. 43); menciona que la cantidad del secuestro de CO₂ se relaciona a la capacidad del bosques de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectáreas, la cual está en función a su heterogeneidad y está determinada por las condiciones del suelo y clima.

Finalmente se encontró mayor producción de oxígeno (O₂) en la plantación de 51 años con 2568,98 Kg/O₂/árbol; seguido por la plantación de 42 años y 41 años con 1598,72 Kg/O₂/árbol y 1563,80 Kg/O₂/árbol respectivamente y con la menor producción se ha encontrado en la plantación de 14 años con 273,36 Kg/O₂/árbol, dando a conocer que a mayor edad la plantación genera más biomasa, más carbono y produce más O₂, debido que los árboles se encuentra estables y con un grosor de diámetro adecuado y esto está influenciado por las edades y a las características que presenta cada plantación; en cambio el de menor edad la plantación todavía se encuentra joven y están en proceso de competencia de sitio y alimento y su proceso de generar biomasa, almacenar carbono y producción de O₂ es mínima. No debe importar a que edad almacena más carbono lo importante es dar a conocer el beneficio que puede generar este servicio para el desarrollo humano y ambiental.

VI. CONCLUSIONES

1. Se encontró la mayor producción de biomasa aérea en las edades de 51 años, 42 años y 41 años con 1926,49 Kg/árbol, 1198 Kg/árbol y 1172,70 Kg/árbol respectivamente. Siendo el de menor producción de 14 años de establecido con 204,99 Kg/árbol.
2. Las mayores cantidades de carbono almacenado por los árboles de las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis*, fueron en las edades de 51 años, 42 años y 41 años con 963,25 Kg/árbol, 599,45 Kg/árbol y 586,35 Kg/árbol respectivamente. Siendo el de menor producción de 14 años de establecido con 102,50 Kg/árbol.
3. La mayor producción de O₂ se encontró en las edades de 51 años, 42 años y 41 años con 2568,98 Kg/árbol, 1598,72 Kg/árbol y 1563,80 Kg/árbol. Siendo el de menor producción de oxígeno se ha determinado en la plantación de 14 años de establecido con 273,36 Kg/árbol.
4. Se comprobó que la mayor producción de biomasa, carbono almacenado y producción de oxígeno, varía con el aumento de la edad de la plantación, existiendo una relación directamente proporcional.
5. De acuerdo al análisis estadístico se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna, existiendo diferencia significativa entre la producción de biomasa, carbono almacenado y la producción de oxígeno en plantaciones de 14 años, 25 años, 41 años, 42 años y 51 años de *Cedrelinga cateniformis* en el CIEFOR Puerto Almendra, Iquitos – Perú.
6. Algunos árboles no fueron incluidos en los cálculos estadísticos debido a que no se encontraban en la línea de la plantación poniéndoles como regeneración natural.

VII. RECOMENDACIONES

1. Continuar con este tipo de investigación con otras plantaciones de especies forestales que existen dentro del CIEFOR Puerto Almendra Rio Nanay para conocer con mayor detalle una estimación de la biomasa y su servicio ambiental
2. Incentivar a las poblaciones asentadas en la zona rural a conservar los bosques ya que brinda los servicios ambientales, y trae consigo un beneficio económico- ambiental.
3. Dar un especial manejo a la plantación de 25 años y 41 años, de tal manera mejorar las condiciones de almacenamiento de carbono de los individuos y generar un mayor valor ambiental.
4. Incluir otras variables no consideradas en el presente estudio, como el análisis de suelo, para un mejor ajuste de los resultados.

CAPITULO VIII. FUENTES DE INFORMACION

- Cabudivo, K. 2017. Secuestro de CO₂ y producción de oxígeno en árboles y palmeras urbanos de la av. Abelardo Quiñones - distrito San Juan Bautista, Loreto – Perú, 2016. Tesis para optar el título de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 70. pág.
- Céspedes, T. 2017. Evaluación de los servicios ecosistémicos prestados por los árboles al campus de la Pontificia Universidad Javeriana, (Bogotá, Colombia). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Carrera de Ecología. Bogotá. 88 pág.
- Cortes, J. H., Matías, E. V. 2019. Estimación de la capacidad potencial de fijación de CO₂ y producción de O₂, como servicio ecosistémico suministrado por el arbolado del parque los Fundadores y la Alameda de la avenida 40 en el municipio de Villavicencio (Meta). para optar al título de Ingeniero Ambiental. Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Ambiental Villavicencio. Meta. Colombia. 92 pág.
- De la Cruz, J. L. 2014. Cuantificación de Carbono y Producción de Oxígeno en una Plantación de Tres Procedencia de *Pinus cembroides* Zuce., en Arteaga, Coahuila, México. División de Agronomía. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Para Obtener el título de Ingeniero Forestal. Saltillo. Coahuila. México. 50 pág.
- Gonzales, P. G. 2013. Valoración económica del secuestro de CO₂ en plantaciones de *Vochysia lomatophylla* (standl) “quillosa” de diferentes edades en el CIEFOR-Puerto Almendra, Iquitos – Perú. Tesis para optar

- el título de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales. Facultad de Ciencias Forestales. UNAP. Iquitos. 87 pág.
- Honorio, E., Baker T. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana / Universidad de Leeds. Lima, 54 pág.
- Maylle, E. 2017. Determinación de cantidades de carbono secuestrado por las áreas verdes del distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, Ucayali 2015. Tesis para optar el grado académico de Maestro en medio ambiente, Gestión sostenible y responsabilidad social. Pucallpa. Universidad Nacional de Ucayali. Escuela de Posgrado. 156 pág.
- MINAM, 2015. Ministerio del Ambiente Inventario y evaluación de los bosques de las cuencas de los ríos Itaya, Nanay y Tahuayo en el departamento de Loreto / Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural -- Lima: Perú. 136 pág.
- Mozombite, M. A. 2015. Valoración económica del secuestro de CO₂ y de la producción de oxígeno en plantaciones de *Mauritia flexuosa* L. f. en Puerto Almendra, Iquitos-Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 87 pág.
- Muñoz, M. E. y Vásquez, E. G. 2020. Estimaciones del potencial de captura de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO₂ vehicular en Cuenca, Ecuador. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Salesiana. Cuenca. Ecuador. 148 pág.
- NOWAK, D. J., HOEHN, R., & CRANE, D. E. 2007. Oxygen Production by

Urban Trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*.

33(3):220–226 Obtenido de:

http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2007/nrs_2007_nowak_001.pdf

Quiceno, N. J., & Tangarife, G. M. 2016. Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un area de bosque primario en el resguardo indigena Piapoco Chiguirochatare de Barrancominas, Departamento del Guainía. Trabajo de grado (Magister en desarrollo sostenible y medio Ambiente). Barrancominas-Colombia. Universidad de Manizales. Maestria en desarrollo Sostenible y Medio Ambiente 84 Pág.

Ribeyro, T. M. M. 2021. Estructura diamétrica y stock de carbono en las especies comerciales de un bosque de terraza baja del distrito de Morona, Loreto. 2019. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Tesis Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales. Iquitos. 104. pág.

A N E X O

Anexo 1: Mapa de ubicación de la zona de muestreo, CIEFOR-Puerto Almendra



Anexo 2. Producción de biomasa carbono y oxígeno de *Cedrelinga cateniformis* de 14 años de edad plantación 63.

N° árbol	DAP (cm)	HT (m)	DB (g/cm ³)	Biomasa (kg/árbol)	Carbono (kg)	CO ₂ (kg)	O ₂ (kg)
1	35.00	18.00	0.42302	201.02	100.509179	368.567161	268.057982
2	38.00	20.00	0.42302	263.28	131.641955	482.731048	351.089093
3	31.00	17.00	0.42302	148.94	74.4679576	273.074	198.606043
4	42.00	16.00	0.42302	257.30	128.65175	471.765966	343.114216
5	45.00	16.00	0.42302	295.37	147.686958	541.568073	393.881116
6	33.00	12.00	0.42302	119.13	59.5670729	218.432456	158.865383
7	32.00	12.00	0.42302	112.02	56.0116461	205.394706	149.38306
8	41.00	15.00	0.42302	229.87	114.936007	421.470338	306.534331
9	41.00	16.00	0.42302	245.20	122.598408	449.568361	326.969953
10	48.00	16.00	0.42302	336.07	168.034938	616.184119	448.149181
11	37.00	16.00	0.42302	199.69	99.8436765	366.126762	266.283085
12	35.00	15.00	0.42302	167.52	83.7576495	307.139301	223.381651
13	32.00	15.00	0.42302	140.03	70.0145576	256.743383	186.728825
14	37.00	14.00	0.42302	174.73	87.3632169	320.360916	232.997699
15	38.00	15.00	0.42302	197.46	98.731466	362.048286	263.31682
16	34.00	14.50	0.42302	152.81	76.4052093	280.177903	203.772693
17	37.00	14.50	0.42302	180.97	90.4833318	331.802378	241.319046
18	30.00	15.00	0.42302	123.07	61.5362323	225.653364	164.117132
19	42.00	15.00	0.42302	241.22	120.611015	442.280593	321.669578
20	42.00	11.00	0.42302	176.90	88.4480779	324.339102	235.891024
21	47.00	17.00	0.42302	342.35	171.175565	627.700798	456.525233

Anexo 3. Producción de biomasa carbono y oxígeno de *Cedrelinga cateniformis* de 25 años de edad plantación 5.

N° árbol	DAP (cm)	HT (m)	DB (g/cm ³)	Biomasa (kg/árbol)	Carbono (kg)	CO ₂ (kg)	O ₂ (kg)
1	40	19	0.46999	342.10	171.05121	627.244787	456.193577
2	46	26	0.46999	619.12	309.557676	1135.148	825.590323
3	40	24	0.46999	432.13	216.064686	792.309204	576.244518
4	41	25	0.46999	472.92	236.461418	867.104018	630.642601
5	36	24	0.46999	350.02	175.012396	641.770455	466.75806
6	49	24	0.46999	648.46	324.23207	1188.959	864.72693
7	45	20	0.46999	455.76	227.880724	835.638614	607.75789
8	22	24	0.46999	130.72	65.3595676	239.673534	174.313967
9	52	27	0.46999	821.59	410.792985	1506.37787	1095.58489
10	40	22	0.46999	396.12	198.059296	726.283437	528.224141

Anexo 4. Producción de biomasa carbono y oxígeno de *Cedrelinga cateniformis* de 41 años de edad plantación 16.

N° árbol	DAP (cm)	HT (m)	DB (g/cm ³)	Biomasa (kg/árbol)	Carbono (kg)	CO ₂ (kg)	O ₂ (kg)
1	53	36	0.47000	1138.03	569.01706	2086.58556	1517.5685
2	54	33	0.47000	1082.94	541.46764	1985.56184	1444.0942
3	62	34	0.47000	1470.83	735.416456	2696.77214	1961.35569
4	62	29	0.47000	1254.53	627.266977	2300.18801	1672.92103
5	62	28	0.47000	1211.27	605.637081	2220.87118	1615.2341
6	39	31	0.47000	530.63	265.315092	972.910444	707.595351
7	55	34	0.47000	1157.46	578.729131	2122.19972	1543.47059
8	59	34	0.47000	1331.94	665.96896	2442.10818	1776.13922
9	105	34	0.47000	4218.50	2109.25245	7734.62874	5625.37629
10	64	30	0.47000	1382.87	691.436418	2535.49735	1844.06093
11	70	34	0.47000	1874.89	937.445534	3437.61277	2500.16724
12	59	29	0.47000	1136.06	568.032348	2082.97462	1514.94227
13	52	22	0.47000	669.47	334.734454	1227.47124	892.736788
14	52	33	0.47000	1004.20	502.10168	1841.20686	1339.10518

Anexo 5. Producción de biomasa carbono y oxígeno en *Cedrelinga cateniformis* de 42 años de edad plantación 33.

N° árbol	DAP (cm)	HT (m)	DB (g/cm ³)	Biomasa (kg/árbol)	Carbono (kg)	CO ₂ (kg)	O ₂ (kg)
1	55.00	22.00	0.47000	748.94	374.471791	1373.18806	998.716266
2	77.00	28.00	0.47000	1868.27	934.136903	3425.48002	2491.34312
3	47.00	23.00	0.47000	571.77	285.887126	1048.34809	762.460966
4	74.00	25.00	0.47000	1540.65	770.325892	2824.78505	2054.45915
5	53.00	22.00	0.47000	695.47	347.732648	1275.13562	927.402972
6	78.00	23.00	0.47000	1574.77	787.386726	2887.34712	2099.9604
7	72.0	23.00	0.47000	1341.82	670.9094	2460.22477	1789.31537
8	35.0	24.00	0.47000	330.86	165.431565	606.637549	441.205984
9	58.0	22.00	0.47000	832.87	416.43739	1527.07591	1110.63852
10	48.0	23.00	0.47000	596.36	298.181955	1093.43323	795.251275
11	79.0	23.00	0.47000	1615.41	807.705548	2961.85625	2154.1507

Anexo 6. Producción de biomasa carbono y oxígeno en *Cedrelinga cateniformis* de 51 años de edad plantación 29.

N° árbol	DAP (cm)	HT (m)	DB (g/cm ³)	Biomasa (kg/árbol)	Carbono (kg)	CO ₂ (kg)	O ₂ (kg)
1	105.00	33	0.4700	4094.43	2047.21562	7507.13966	5459.92405
2	65.00	32	0.4700	1521.52	760.760122	2789.70737	2028.94724
3	62.00	33	0.4700	1427.57	713.78656	2617.45532	1903.66876
4	68.00	35	0.4700	1821.32	910.661376	3339.39527	2428.73389
5	79.00	29	0.4700	2036.82	1018.41134	3734.5144	2716.10305
6	62.00	29	0.4700	1254.53	627.266977	2300.18801	1672.92103
7	74.00	30	0.4700	1848.78	924.391071	3389.74206	2465.35099
8	67.00	27	0.4700	1364.00	682.000067	2500.89424	1818.89418
9	58.00	33	0.4700	1249.31	624.656084	2290.61386	1665.95778
10	62.00	34	0.4700	1470.83	735.416456	2696.77214	1961.35569
11	74.00	29	0.4700	1787.16	893.578035	3276.75065	2383.17262
12	82.00	26	0.4700	1967.44	983.721357	3607.30622	2623.58486
13	98.00	36	0.4700	3890.95	1945.4752	7134.05757	5188.58237
14	65.00	26	0.4700	1236.24	618.117599	2266.63723	1648.51964

Anexo 7. Censo de la Plantación 63 de *Cedrelinga cateniformis*- de 14 años de edad.

N° árbol	Diámetro altura pecho (cm))	Altura comercial (m)	Altura total (m)	Georreferenciación	
				Este (X)	Norte (Y)
1	19	7	14	383421	7337805
2	21	4	13	383421	7337806
3	35	6	18	383421	7337805
4	38	11	20	383420	7337809
5	31	10	17	383421	7337806
6	27	6.5	12	383425	733785
7	42	6	16	383421	7337805
8	45	2.5	16	383421	7337805
9	33	6	12	383421	7337805
10	32	7	12	383508	7337775
11	41	8	15	383518	7337778
12	24	7	10	383525	7337788
13	41	5	16	383523	7337794
14	48	4	16	383515	7337802
15	37	8	16	383534	7337794
16	35	5	15	383529	7337795
17	32	4	15	383557	7337804
18	37	3	14	383564	7337817
19	29	7	13	383565	7337820
20	38	7	15	383562	7337825
21	34	6	14.5	383567	7337822
22	37	6	14.5	383581	7337820
23	30	7	15	383603	7337829
24	42	5	15	383601	7337840
25	42	2.5	11	383618	7337834
27	47	12	17	383646	7337814

Anexo 8. Censo de la Plantación 5 de *Cedrelinga cateniformis*-de 25 años de edad.

N° árbol	Diámetro altura pecho (cm))	Altura comercial (m	Altura total (m)	Georreferenciación	
				Este (Y)	Norte (Y)
1	40	6	19	382585	7337492
2	46	13	26	382572	7337478
3	40	8	24	382565	7337465
4	41	16	25	382545	7337461
5	36	16	24	382554	7337451
6	49	12	24	382548	7337451
7	45	14	20	382532	7337431
8	22	16	24	382524	7337438
9	52	14	27	382527	7337416
10	40	13	22	382514	7337419

Anexo 9. Censo de la Plantación 16 de *Cedrelinga cateniformis*-de 41 años de edad.

N° árbol	Diámetro altura pecho (cm))	Altura comercial (m	Altura total (m)	Georreferenciación	
				Este (Y)	Norte (Y)
1	53	14	36	382851	7337495
2	54	9	33	382843	7337492
3	62	14	34	382841	7337499
4	62	8	29	382842	7337502
5	62	6	28	382831	7337505
6	39	7	31	382831	7337510
7	55	14	34	382835	7337513
8	59	14	34	382830	7337518
9	105	3	34	382813	7337497
10	64	6	30	382819	7337492
11	70	5	34	382833	7337468
12	59	10	29	382824	7337467
13	52	10	22	382827	7337465
14	52	9	33	382825	7337473

Anexo 10. Censo de la plantación 33 de *Cedrelinga cateniformis*-de 42 años de edad.

N° árbol	Diámetro altura pecho (cm))	Altura comercial (m	Altura total (m)	Georreferenciación	
				Este (Y)	Norte (Y)
1	55	8	22	383315	73377658
2	77	14	28	383308	7337759
3	47	11	23	383313	7337766
4	74	7	25	383303	7337774
5	53	14	22	383315	7337787
6	78	20	23	383319	7337784
7	72	10	23	383331	7337782
8	35	9	24	383321	7337754
9	58	11	22	383325	7337755
10	48	7	23	383333	7337759
11	79	5	23	383339	7337767

Anexo 11. Censo de la Plantación 29 de *Cedrelinga cateniformis*-de 51 años de edad.

N° árbol	Diámetro altura pecho (cm))	Altura comercial (m	Altura total (m)	Georreferenciación	
				Este (Y)	Norte (Y)
1	105	10	33	3833215	7337740
2	65	12	32	3833203	7337735
3	62	12	33	3833193	7337730
4	68	16	35	3833179	7337727
5	79	8	29	3833185	7337720
6	62	14	29	3833192	7337716
7	74	16	30	3833194	7337720
8	67	9	27	3833198	73377420
9	58	8	33	3833200	7337728
10	62	17	34	3833199	7337709
11	74	15	29	3833216	7337728
12	82	10	26	3833229	7337737
13	98	12	36	3833235	7337749
14	65	10	26	3833234	7337743

Anexo 12 Medición de diámetro, altura, georreferenciación de las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* "tornillo"



Anexo 13 Programa estadístico BioEstat utilizado en los cálculos-

BioEstat

Archivo Editar Estadísticas Gráficos Sugerencias Configurar Ayuda

Seleccione una prueba

estadística carlos lovera biomasa

	- 1 - Biomasa 14 años	- 2 - Biomasa 25 años	- 3 - Biomasa 41 años	- 4 - Biomasa 42 años	Bio
1	201.020	342.100	1138.030	748.940	
2	263.280	619.120	1082.940	1868.270	
3	148.940	432.130	1470.830	571.770	
4	257.300	472.920	1254.530	1540.650	
5	295.370	350.020	1211.270	695.470	
6	119.130	648.460	530.630	1574.770	
7	112.020	455.760	1157.460	1341.820	
8	229.870	130.720	1331.940	832.870	
9	245.200	821.590	1382.870	1615.410	
10	336.070	396.120	1874.890		
11	199.690		1136.060		

BioEstat

Archivo Editar Estadísticas Gráficos Sugerencias Configurar Ayuda

Seleccione una prueba

CARBONO CARLOS LOVERA

	- 1 - Carbono 14 años	- 2 - Carbono 25 años	- 3 - Carbono 41 años	- 4 - Carbono 42 años	Ca
1	100.510	171.050	569.020	374.470	
2	131.640	309.560	541.470	934.140	
3	74.470	216.060	735.420	285.890	
4	128.650	236.460	627.270	770.330	
5	147.690	175.010	605.640	347.730	
6	59.570	324.230	265.320	787.390	
7	56.010	227.880	578.730	670.910	
8	114.940	65.360	665.970	416.440	
9	122.600	410.790	691.440	807.710	
10	168.030	198.060	937.450		
11	99.840		568.030		