

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAPTURA
DE CO₂ EN PLANTACIONES DE *Guadua angustifolia* Kunth PARA
DIÁMETRO Y ALTURA, EN ARAMANGO, AMAZONAS, 2020.**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: WENDOLY JESUS OBLITAS PINEDO

Asesor:

M.Sc. VITOLY BECERRA MONTALVO

Cajamarca – Perú

2022

COPYRIGHT © 2022 by
WENDOLY JESUS OBLITAS PINEDO
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

**ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAPTURA
DE CO₂ EN PLANTACIONES DE *Guadua angustifolia* Kunth PARA
DIÁMETRO Y ALTURA, EN ARAMANGO, AMAZONAS, 2020**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: WENDOLY JESUS OBLITAS PINEDO

JURADO EVALUADOR

M.Cs. Vitoly Becerra Montalvo
Asesor

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

M.Cs. Jimy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2022



**Universidad Nacional de
Cajamarca**

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 060-2018-SUNEDUC/D

Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU




PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


Siendo las 16.50 horas, del día 05 de setiembre de dos mil veintidós, reunidos en el aula 1A del local del Centro de Idiomas de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, **Dr. EDÍN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, **M.Cs. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**; y en calidad de Asesor el **M.Cs. VITOLY BECERRA MONTALVO**, Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **"ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAPTURA DE CO2 EN PLANTACIONES DE *Guadua angustifolia* Kunth PARA DIÁMETRO Y ALTURA, EN ARAMANGO, AMAZONAS, 2020"**, presentada por la **Bachiller en Ciencias Forestales WENDOLY JESUS OBLITAS PINEDO**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBADA con la calificación de DIECISIETE (17) la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bachiller en Ciencias Forestales WENDOLY JESUS OBLITAS PINEDO**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 18.2 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
M.Cs. Vitoly Becerra Montalvo
Asesor


.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador


.....
Dr. Edm Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Jimy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

A la señora Juana Pinedo Paredez, mi madre, porque su perseverancia es la mía

A la memoria de mi hermano mayor Jhimy Omar, quien compartió conmigo la dicha de
empezar el posgrado

A mis hermanos Sonia Maribel y Diego Alejandro

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mi vida y ser el artífice de todos mis logros.

A la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén, por las facilidades brindadas para realizar los análisis de laboratorio durante la realización de esta investigación.

Agradezco a mi asesor el Ms. Ing. Vitoly Becerra Montalvo, por formar parte de mi desarrollo profesional, tanto a nivel de pregrado como de posgrado, por su tiempo y sobre todo por compartir conmigo sus conocimientos a lo largo de este periodo.

Agradezco a los docentes de la maestría en Gestión Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Agradezco al señor Ramos Paucar Villareal por incondicional apoyo para realizar esta investigación en la fase de campo en sus plantaciones de guadua.

Mi agradecimiento al ingeniero Nander Calle Iparraguirre y a Diego Centurión García por su importante apoyo, acompañamiento en los trabajos de campo y laboratorio de mi tesis.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	vi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes de la Investigación	3
2.2. Bases Teóricas	8
Guadua angustifolia Kunth	8
Clasificación Taxonómica	8
Descripción general de la Especie	8
Descripción Botánica de la Especie en Amazonas	9
Importancia de Guadua angustifolia Kunth	10
Biomasa Forestal	11
Emisión de GEI	13
El ciclo del Carbono	13
Ecuaciones Alométricas	14
Determinación de Ecuaciones Alométricas para Captura de CO ₂	14
Ecuaciones alométricas para captura de carbono	15
2.3. Términos Básicos	17
Calentamiento Global	17
Gases de Efecto Invernadero (GEI)	17
Dióxido de Carbono (CO ₂)	17
Sector LULUCF	18
Biocarbón	18
Servicios Ecosistémicos	18
Pago por Servicios Ecosistémicos	18
Sumidero de Carbono	19
Bonos de Carbono	19
Mitigación	19

Biomasa Aérea	19
Fuente de Carbono	20
Métodos Destructivos.....	20
Dasometría	20
Inventarios Forestales.....	21
CAPÍTULO III	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Localización del Estudio.....	22
3.2. Materiales y equipos.	23
3.3. Metodología.....	23
Fase de Campo	23
Fase de Laboratorio.....	26
Fase de Gabinete.	27
CAPÍTULO IV	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Dendrometría de la especie.....	29
4.1.1 Existencia potencial de la especie	29
4.1.2 Variables dendrométricas de la especie.....	30
4.2 Ecuaciones alométricas para bambú	32
4.3 Estadísticos de las ecuaciones alométricas	35
CAPÍTULO V.....	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
5.1. Conclusiones.....	40
5.2. Recomendaciones	41
CAPÍTULO VI.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
CAPÍTULO VII.....	52
ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	16
<i>Ecuaciones más empleadas para la estimación de volumen, biomasa o carbono (VBC) de árboles, arbustos y palmas</i>	
Tabla 02	29
<i>Existencia potencial de la especie</i>	
Tabla 3	30
<i>Datos dendrométricos de la muestra</i>	
Tabla 4	32
<i>Ecuaciones alométricas para la altura de la guadua</i>	
Tabla 5	32
<i>Ecuaciones alométricas para Diámetro de la guadua</i>	
Tabla 6	35
<i>Resumen de las ecuaciones alométricas para captura de carbono con variable altura</i>	
Tabla 7	36
<i>Resumen de las ecuaciones alométricas para captura de carbono con variable diámetro</i>	
Tabla 8	58
<i>Inventario muestral de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth</i>	
Tabla 9	59
<i>Resultados del contenido de humedad (CH_{bh}) de las alícuotas</i>	
Tabla 10	60
<i>Resultados de la biomasa aérea y CO_2</i>	
Tabla 11	68
<i>Resultado de CO_2 con la aplicación de las ecuaciones alométricosdesarrolladas</i>	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	24
<i>Delimitación de parcelas</i>	
Figura 2.....	25
<i>Pesado de hojas y ramas</i>	
Figura 3.....	27
<i>Alícuotas en la estufa</i>	
Figura 4.....	52
<i>Toma de puntos de parcelas e inventario</i>	
Figura 5.....	52
<i>Cosecha de guaduas</i>	
Figura 6.....	53
<i>Desrame y recojo de hojas</i>	
Figura 7.....	53
<i>Medición y pesado de culmos</i>	
Figura 8.....	54
<i>Pesado de alicuota de culmo, ramas y hojas</i>	
Figura 9.....	54
<i>Secado de alicuotas de culmo, ramas y hojas en la estufa</i>	
Figura 10.....	55
<i>Pesado de alicuotas secas</i>	
Figura 11.....	56
<i>Plano de localización de la plantación</i>	
Figura 12.....	57
<i>Plano de ubicación de las parcelas muestreadas</i>	
Figura 13.....	63
<i>Ecuación polinómica de grado dos para diámetro</i>	
Figura 14.....	63
<i>Residuo de la ecuación polinómica de grado 2</i>	
Figura 15.....	63
<i>Ecuación polinómica de grado tres para diámetro</i>	
Figura 16.....	63
<i>Residuo de la ecuación polinómica de grado 3</i>	

Figura 17.....	64
<i>Ecuación lineal para diámetro</i>	
Figura 18.....	64
<i>Residuo de la ecuación lineal</i>	
Figura 19.....	64
<i>Ecuación potencial para diámetro</i>	
Figura 20.....	64
<i>Residuo de la ecuación potencial</i>	
Figura 21.....	65
<i>Ecuación exponencial para diámetro</i>	
Figura 22.....	65
<i>Residuo de la ecuación exponencial</i>	
Figura 23.....	65
<i>Ecuación polinómica de grado dos para altura</i>	
Figura 24.....	65
<i>Residuo de la ecuación polinómica de grado 2 para altura</i>	
Figura 25.....	66
<i>Ecuación polinómica de grado tres para altura</i>	
Figura 26.....	66
<i>Residuo de la ecuación polinómica de grado 3 para altura</i>	
Figura 27.....	66
<i>Ecuación lineal para altura</i>	
Figura 28.....	66
<i>Residuo de ecuación lineal para altura</i>	
Figura 29.....	67
<i>Ecuación potencial para altura</i>	
Figura 30.....	67
<i>Residuo de la ecuación potencial para altura</i>	
Figura 31.....	67
<i>Ecuación exponencial para altura</i>	
Figura 32.....	67
<i>Residuo de la ecuación exponencial para altura</i>	

LISTA DE ABREVIATURAS

FAO	: Organismo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GEI	: Gases de Efecto Invernadero
IBI	: International Biochar Initiative (Iniciativa Internacional de Biocarbón)
INBAR	: Organismo Internacional del Bambú y el Ratán
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
LULUCF	: Land Use, Land-Use Change and Forestry (Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura)
ODS	: Objetivos de Desarrollo Sostenible
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OSINFOR	: Organismo de supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre
SERFOR	: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
SERNANP	: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
UNEP	: United Nations Environment Program (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)

RESUMEN

Considerando que la región Amazonas cuenta con grandes áreas de plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth y conociendo su importancia medio ambiental, así como su potencial para captura de carbono, se propuso determinar una ecuación para la estimación de captura de CO₂ en las plantaciones de guadua de la región Amazonas. Se realizó un inventario con el fin de conocer el número de guaduas por hectáreas y la dendrometría de la especie, así como la biomasa aérea por el método destructivo; como resultados se encontró que las guaduas evaluadas tienen un diámetro basal entre 5.73 cm a 13.69 cm, una altura entre 8.94 m a 16.75 m, y un peso húmedo entre 14.03 kg a 59.04 kg. Con los valores de biomasa aérea obtenidos del peso seco se determinó el contenido de CO₂ con el que se formularon 5 ecuaciones alométricas para estimación de captura de CO₂ utilizando como variable independiente el diámetro basal de la guadua y 5 ecuaciones alométricas utilizando como variable independiente la altura de la guadua; luego del análisis estadístico de estas ecuaciones se concluyó que la mejor ecuación alométrica es la ecuación polinómica de grado tres de la variable diámetro basal, $CO_2 = -0.1164D^3 + 3.7850D^2 - 35.1011D + 113.6483$ con un coeficiente de determinación R² de 81%.

Palabras claves: Guaduas, dióxido de carbono, ecuación alométrica

ABSTRACT

Considering that the Amazon region has large areas of *Guadua angustifolia* Kunth plantations and knowing its environmental importance, and potential for carbon sequestration, it was proposed to determine an equation for estimating CO₂ sequestration in guadua. An inventory was carried out to know the number of guaduas per hectare and the dendrometry of the species, in addition to the aerial biomass by the destructive method; therefore, it was found that the guaduas evaluated have a basal diameter between 5.73 cm to 13.69 cm, a height between 8.94 m to 16.75 m, and a wet weight between 14.03 kg to 59.04 kg. With the aerial biomass values collected from the dry weight, the CO₂ content was determined allowing 5 allometric equations were formulated to estimate CO₂ sequestration, applying as an independent variable the basal diameter of the guadua and the 5 allometric equations proving as independent variable the height of the guadua; afterwards the statistical analysis of these equations, it was concluded that the best allometric equation of degree three of the basal diameter variable, $CO_2 = -0.1164D^3 + 3.7850D^2 - 35.1011D + 113.6483$ with a determination coefficient R^2 of 81 %

Keywords: Guaduas, carbon dioxide, allometric equation.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La gran cantidad de CO₂ en la atmosfera y los efectos que causa al medio ambiente son uno de los problemas más importantes en la actualidad.

Según consenso general se estima que a mayor concentración de gases con efecto invernadero se producirá mayor aumento en la temperatura de la tierra. A partir de 1979 los científicos comenzaron a afirmar que un aumento al doble en la concentración del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera supondría un calentamiento medio de la superficie de la tierra de entre 1,5 y 4,5 °C. (Espíndola y Valderrama, 2012, p. 174)

La guadua además de su importancia económica y social es reconocido por las ventajas y aportes que brinda al ambiente. Cumple un rol ecológico muy importante por la cantidad y calidad de servicios ecosistémicos, que aporta a nivel de suelo, aire, agua, microclima, biodiversidad y paisajes (Añazco y Rojas, 2015). Es un importante capturador de CO₂ atmosférico, debido a su rápido crecimiento, renovación y capacidad para el secuestro de carbono en su biomasa (Organización Internacional del Bambú y el Ratón [INBAR], 2020).

Tomando en cuenta la problemática y los beneficios de la guadua, y considerando que las ecuaciones alométricas para captura de CO₂ nos permiten obtener resultado de forma rápida y evitando los métodos invasivos a futuro, se realizó este trabajo de investigación que tuvo como problema a resolver la interrogante: ¿Qué ecuaciones alométricas se pueden utilizar para la estimación de captura de CO₂ de plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth para diámetro basal y altura, en Aramango, Amazonas 2020? Planteando como hipótesis que es posible generar ecuaciones alométricas para estimar la

captura del CO₂ en plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth para diámetro basal y altura, en Aramango, Amazonas, 2020.

Para la ejecución de esta investigación se planteó como objetivo general, generar ecuaciones alométricas para la estimación de captura de CO₂ en plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth, para diámetro basal y altura, en Aramango, Amazonas, 2020, así mismo se consideraron los siguientes objetivos específicamente, determinar por métodos destructivos la dendrometría de la especie para construir las ecuaciones alométricas; elaborar las diversas ecuaciones alométricas usando diámetro basal y altura de la especie; comprobar estadísticamente las diversas ecuaciones alométricas elaboradas y establecer la más recomendable para mediciones de captura de CO₂; cuyo desarrollo se presenta en este informe dividido en 5 capítulos, el primer capítulo contempla la introducción del trabajo realizado, el segundo capítulo correspondiente al marco teórico, describe las investigaciones que anteceden a esta y se conceptualiza la información, definiendo términos que puedan permitir comprender el desarrollo de la investigación; el capítulo III se detalla los materiales y equipos utilizados así como también se explica el desarrollo de los métodos de trabajo para la obtención de las ecuaciones alométricas; el IV capítulo describe los resultados obtenidos en la investigación y se discuten los mismo evaluando investigaciones anteriores, permitiendo resolver el problema planteado para llegar al capítulo V que detalla las conclusiones a las que se ha llegado luego del procesamiento de resultados, y brindar recomendaciones para futuras investigaciones que deseen continuar con el tema.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Ordóñez et al. (2022) en su investigación “Estimación e inventario de biomasa y carbono del bambú nativo *Guadua aculeata* Rupr. en Puebla, México”, con el objetivo de inventariar y estimar el carbono almacenado en rodales, cuya metodología consistió en realizar un muestreo de biomasa y necromasa mediante sitios de muestreo de 100 m² y se determinó el contenido de carbono en culmos, ramas, hojas, raíz y hojarasca. Determinando que la biomasa base seca total fue en promedio de 308.05 ±10.13 miligramos por hectárea, de la cual 139.09 ±6.81 miligramos por hectárea correspondiente al carbono almacenado; en el área de estudio se estimaron 19714.91 ±61.87 t de biomasa base seca y 8901.63 ±435.78 de carbono almacenado, siendo el carbono fijado de 46 ±0.4 %, 44 ±0.4%, 42 ±0.2%. 42 ±0.5% y 38 ±1.0% para culmos, ramas, follaje, raíz y hojarasca, respectivamente; siendo diferente el carbono en culmo y ramas con el encontrado en follaje, raíz y hojarasca. Concluyendo que los bosques naturales de *G. aculeata* Rupr. tiene un alto contenido de carbono, similar al de especies arbóreas.

Benavides et al. (2021) en su artículo “Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono aéreos de *Cedrela odorata* L. en plantaciones forestales” con el objetivo de generar ecuaciones para estimar biomasa aérea y la concentración de carbono en la región costera de Jalisco y Colima, tomando muestras de madera y hojas, las cuales se llevaron a laboratorio para determinar su peso seco y concentración de carbono. Los datos del análisis de las muestras se extrapolaron a la sección y componente estructural correspondiente; mediante la adición de los valores resultantes, se estimó la

concentración total de biomasa y carbono por individuo. Probando varios modelos, pero al final se ajustaron al modelo potencial: $Y=bX^k$, donde Y (BS: biomasa aérea en kg; CC: concentración de carbono en kg) es la variable respuesta y X (DN: diámetro normal en cm) la variable predictora. Siendo las ecuaciones alométricas generadas: $BS=0.00341DN^{3.38248}$, para estimar biomasa aérea, y $CC=0.001562DN^{3.389696}$, para la concentración de carbono; ambas con un coeficiente de determinación ajustado $R^2_a=0.978$. concluyendo que, a partir del valor de los estimadores estadísticos, se puede afirmar que las ecuaciones generadas son adecuadas y confiables para usarse en individuos de *C. odorata* en condiciones de similar crecimiento.

Patiño et al. (2018) en su investigación "Captura de carbono en biomasas en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero – Guayabal, Tolima, Colombia" con el objeto de estimar la biomasa total, almacenamiento y fijación de carbono en Parcelas forestales (PF) y Sistemas Agroforestales (SAF), lograron estimar el almacenamiento y fijación de carbono en la biomasa aérea (BA) y abajo del suelo (BAS) en siete PF y en SAF, midiendo la altura total y el diámetro a la altura del pecho (DAP), de los árboles con DAP mayor a 10 cm y el diámetro a de 30 cm de altura (D_{30}) en las plantas de cacao en parcelas temporales, estimaron la BA con modelos alométricos o alternativas con factores de expansión de biomasa y la estimación de la BAS se realizó con un modelo general recomendado por el IPCC. Con lo cual obtuvieron como resultado que las PF entre 5 y 25 años almacenaron entre 18.6 a 64.4 $mg \cdot C \cdot ha^{-1}$; mientras que los SAF de entre 10 a 15 años capturaron 85 $mg \cdot C \cdot ha^{-1}$; cuya tasa de fijación de carbono promedio fue de 1.4 y 4.9 $mg \cdot C \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ tanto para SAF como para PF. Concluyendo que las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales capturan 18.6 Mg y 85.9 mg de carbono atmosférico por hectárea respectivamente.

Ching et al. (2018) en su investigación “El bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) como medio de absorción de CO₂ en Guayaquil” cuyo objeto de estudio pretendía valorar la contribución que hace la especie de bambú *Guadua angustifolia* Kunth, en la reducción de la huella de carbón, mediante la implantación de islas y cinturones forestales de guaduas, en la ciudad mencionada, llegando a la conclusión de que la calidad del aire de Guayaquil mejoraría ostensiblemente distribuyendo guaduas en el 35 % de los espacios de vegetación de la ciudad obteniendo una capacidad de almacenamiento de 23848 toneladas de Dióxido de Carbono, generadas por la emisión del parque automotor y las industrias.

Fernández Lozada (2017) en su trabajo de especialización “Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenadas en bosques naturales”, con el objetivo de describir dos métodos utilizados para la estimación de captura de carbono en bosques naturales y que se ajusten a condiciones y características de los bosques de Colombia, y trabajando con una metodología en tres fases, primero identificación de métodos para la estimación de carbono, segundo establecer el proceso necesario para la aplicación de los métodos y tercero selección de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa aérea en bosques naturales según el método indirecto. Obteniendo como resultado una descripción detallada de los métodos directo e indirecto para captura de carbono, concluye que, aunque los métodos directos sean los más comunes no son los adecuados para el ambiente y que actualmente la generación de modelos alométricos constituya una herramienta básica y eficiente.

Fonseca y Rojas (2016) en su investigación “Acumulación y predicción de biomasa y carbono en plantaciones de bambú en Costa Rica” tuvo como objetivo estimar biomasa y carbono acumulado en rodales artificiales de *Dendrocalamus latiflorus*,

Guadua angustifolia y *Guadua aculeata* y a su vez desarrollar modelos matemáticos para estimar estos lo cual lograron utilizando el método destructivo, que consistió en la cosecha del material para obtener el peso húmedo. La fracción de carbono promedio fue de 43.3 % a 47.2 % entre hojas, ramas, raíz y tronco en un mismo culmo y de 36.4 a 46.7 % en vegetación herbácea, en la necromasa fina y gruesa. El porcentaje de carbono en el suelo fue de 2.45 %. El carbono almacenado (incluido el suelo) por hectárea en plantaciones de *D. latiflorus* fue de 186.73 miligramos por hectárea y de 117.74 miligramos por hectárea en *G. angustifolia* y *G. aculeata*. Los culmos representan más del 87 % del carbono de la biomasa total y más del 34 % a nivel de ecosistema-por componente del culmo, mientras que para uno completo no presentaron buenos ajustes y se desestimaron concluyendo que los modelos para estimar la biomasa vegetal y el carbono en la biomasa vegetal por unidad de área presentan mejor ajuste con un $R^2 > 76$ %.

García et al. (2015) en su investigación “Determinación de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa aérea de *Guadua sarcocarpa* Londoño & P. M. Peterson de la comunidad nativa Bufe Pozo, Ucayali, Perú”; buscó generar una ecuación alométrica para estimar la biomasa de *Guadua sarcocarpa*, una especie abundante de los bosques de la comunidad nativa Bufe Pozo, en el departamento de Ucayali; utilizando como método de trabajo, el método destructivo, obteniendo como resultados que el 68 % de la biomasa pertenecía al tallo, el 16.4 % a las ramas y el 15.6 % a las hojas y que la ecuación que mejor se ajusta al cálculo de biomasa es aquella que utiliza como variable predictora el diámetro del primer culmo (DC).

Arango Arango (2015) en su trabajo titulado “huella de carbono y aproximación a la definición de sostenibilidad del recurso Guadua. Caso de estudio finca Yarima

Pereira”, tuvo por objetivo determinar la huella de carbono y evaluar la sostenibilidad de una empresa productora de guadua rolliza en el eje cafetalero de Colombia. Obteniendo como resultado final que la huella de carbono para la empresa es positiva, ya que las emisiones derivadas de los procesos de aprovechamiento son inferiores a las fijaciones netas de carbono de los guaduales, además de acuerdo al valor establecido de huellas de carbono por productos y por culmos, la producción de guaduas es sostenible en el tiempo siempre y cuando garantice la permanencia de los procesos actuales o se disminuya la presión sobre los recursos utilizados para la producción. En suma, el manejo sostenible de bosques contribuye a que la carga ambiental del sistema sea menor, teniendo en cuenta la poca dependencia de los insumos comprados, por lo que se concluye que el cálculo de huella de carbono, como herramienta de gestión, es importante, permitiendo indicar el potencial de reducción de emisiones en los sistemas productivos, los cuales se pueden traducir en ahorro de costos al mejorar la eficiencia de la empresa.

Ortega y Villareal (2014) en su tesis de pregrado “Caracterización forestal y productiva de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), en los municipios de Saladoblanco y Timana al sur del departamento de Huila” con los objetivos de realizar la caracterización forestal productiva de la guadua, identificar y georreferenciar los predios de los productores, realizar un inventario forestal de los guaduales y analizar la producción de guadua en los municipios, utilizando el método inductivo y deductivo, lograron identificar mediante encuestas que los agricultores hacen uso de la guadua con sus conocimientos empíricos de manejo y aprovechamiento. Encontrando mediante inventario una densidad de 3439 a 3445 tallos por hectárea, concluyendo que la ausencia de manejo apropiado hace que haya más rebrotes de lo ideal lo que impide el incremento del cultivo, además recomiendan un aprovechamiento adecuado para generar ingresos a los municipios.

2.2. Bases Teóricas

Guadua angustifolia Kunth

Es el bambú endémico de América y es una de las tres especies más grandes de bambú en el mundo. Debido a la versatilidad, ligereza, flexibilidad, dureza, resistencia de su culmo, como a la adaptabilidad climática, crecimiento rápido y fácil manejo en su cultivo, es ampliamente utilizado en las industrias de papel, carbón, y de construcción. (Durango et al., 2015, p.536)

La *Guadua angustifolia* Kunth aparte de sus nombres comunes guadua o bambú y más conocida en zona (amazonas) como caña de guayaquil.

Clasificación Taxonómica

Según el sistema de clasificación de Arthur Cronquist, la especie *Guadua angustifolia* Kunth, pertenece a la clase Liliopsoda Cronquist, Takht & Zimmerm, a la subclase Commeliniadae Takht, al orden Cyperales G. T. Burnett, a la familia de las Poaceae Barnhart, al género *Guadua* (Cronquist, 1981).

Según la actualización del grupo de filogenia de angiospermas del sistema de clasificación APG IV, la especie *Guadua angustifolia* Kunth, pertenece a la clase Equisetopsida C. Agardh, a la subclase Magnolidae Novák ex Takht, al orden Poaceae Barnhart, al género *Guadua* Kunth (Byng et al., 2016).

Descripción general de la Especie

Características dasométricas.

“la guadua, es un bambú recto, apicalmente – arqueado. El culmo tiene una altura de 15 a 20 metros, y un diámetro de entre 7 – 14 centímetros” (Londoño, 2010, p. 10).

Ecología

La *Guadua angustifolia* Kunth, crece desde el nivel del mar hasta los 2600 m.s.n.m. Su rango óptimo de altitud está entre los 600 m.s.n.m. (clima cálido) y los 2 000 m.s.n.m. Las zonas de vida donde esta especie puede establecerse son: el Bosque muy húmedo tropical (BMH-T), Bosque seco Tropical (BS-T), Bosque muy húmedo Subtropical (BMH-ST) y Bosque muy húmedo Montano Bajo (BMH-MB). (Castaño y Moreno, como se citó en Corrales, 2017, p.4)

Suelo.

La mayor parte de los bambúes se desarrollan en suelo franco arenoso y suelo franco arcilloso y con un buen drenaje; aun cuando, también se encuentran en los lechos húmedos de cursos de agua y suelos arenosos. Cada especie tiene un hábitat definido, siendo por esta razón en muchos casos indicadoras de distintos tipos de bosque. (Ministerio de agricultura, 2008, p. 10).

Descripción Botánica de la Especie en Amazonas.

“Rizoma paquimorfo, con apariencia de lagarto, con longitud entre 20 – 40 cm, ancho de 20 cm, cuello del rizoma de 17 a 20 cm de longitud” (Londoño, 2010, p. 21).

El culmo (tallo) de la *Guadua angustifolia*, es la porción más útil del bambú, representa el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma, pueden llegar a medir un promedio de 15 m. de altura y 10 cm de diámetro, formando por el cuello, nudos y entrenudos, con un espesor de paredes de 1,5 a 2 cm en la base. El cuello es la unión entre el rizoma y el culmo; los nudos (punto de unión de entrenudos) son la parte más resistente del tallo, posee una doble banda pubescente blanca, muy característica de la especie; los entrenudos son a su vez la porción del tallo(hueca) ubicada entre dos nudos, cuya longitud

es menor en la base, aumentando en la punta. Es posible encontrar presencia de agua en la cavidad interna de la caña (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2021).

La guadua, tiene una ramificación intravaginal; rama primaria solitaria y con espinas, desarrolla 1 a 3 espinas por nudo; se puede describir en 3 partes, en el 1/3 basal se puede desarrollar entre 0 a 2 ramas con espinas, observando siempre la presencia de una yema en cada nudo la cual se desarrolla en una espina solitaria, gruesa, ahusada y muy puntuda; en el 1/3 medio no desarrollan ramas con follaje ni con espinas, pero hay yemas en cada nudo la cual se convierte en una espina gruesa, ahusada y puntuda, y en el 1/3 superior se desarrolla las ramas con follaje; hojas con lámina linear lanceolada, con ausencia de aurículas y fimbrias en el Summit de la vaina (Londoño, 2010).

Importancia de Guadua angustifolia Kunth

El bambú es la planta de rápido crecimiento y la más versátil de la tierra, juega un papel indispensable en la vida de las personas de países tropicales, es materia prima renovable y regenerativa. Con excelentes propiedades tecnológicas que le permiten abrirse paso en la industria de la construcción. Además, las fibras del bambú son un material valioso para la pulpa y el papel, sumado a esto la sobreexplotación de los bosques naturales y la demanda de material leñoso, le dan gran importancia como sustituto de la madera (Liese y Kohl, 2015).

El uso del bambú tiene un creciente desarrollo sostenible de las poblaciones rurales pobres; es cultivado y reverenciado en la mayoría del mundo, lo usan diariamente 2500 millones de personas; a nivel nacional, el bambú ingresó a los sistemas productivos peruanos como un recurso secundario, sin embargo se debe tener en cuenta que a nivel

mundial se estima que más 1000 millones de personas viven en casa de bambú o que utilizan este material como principal elemento para la estructura, el revestimiento exterior o la techumbre (Añazco y Rojas, 2015).

El bambú más que por su importancia económica y social, es reconocido por las ventajas y aportes que brinda al ambiente, destacando la cantidad y calidad de servicios ecosistémicos que aporta al suelo, aire, agua, microclima, biodiversidad y paisaje (Añazco y Rojas, 2015). “Disminuye los efectos del cambio climático, creando microclimas” (Díaz et al., 2017, p. 11). Su importancia radica en la rapidez de su crecimiento, renovación y capacidad de secuestro de carbono en su biomasa, considerándose como un importante capturador de CO₂ atmosférico (INBAR, 2020).

Estos antecedentes permiten identificar al bambú como una especie muy útil y de gran producción en la actualidad; lo que hace que su estudio sea de muy pertinente, en especial su relación con temas actuales como cambio climático, ya que la especie es de potencial importancia en la regulación de gases de efecto invernadero, como es la captura y retención de CO₂; de esta manera el productor de bambú puede acceder a las ventajas que otorga esta externalidad positiva y generar algún beneficio económico.

Biomasa Forestal.

Se denomina biomasa forestal al peso o estimación de la materia orgánica existente en un determinado ecosistema forestal, puede ser biomasa aérea (sobre el suelo) o subterránea (rizosfera del árbol), normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde (biomasa húmeda) o seco (biomasa seca). Es frecuente separar la biomasa en componentes como, masa del fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca y madera muerta (Rodríguez, 2013).

La cuantificación de la biomasa vegetal es clave para determinar el carbono almacenado por los ecosistemas y conocer así su potencial para la mitigación del cambio climático. La bibliografía describe dos métodos de estimación con variaciones como el tamaño o forma de las unidades de muestreo, la inclusión o no de componente (hojas, ramas, raíces o necromasa), diámetro inventariado, entre otras; dependiendo de la biomasa a estimar (Fonseca, 2017).

En el caso del bambú, la biomasa se incrementa por el constante reclutamiento de nuevos culmos con su diámetro inicial definido, ya que contrario a los árboles, el bambú, no presenta incremento diamétrico culmo después del primer año, esto incrementa a su vez del carbono almacenado. Aun cuando los culmos sobre maduros entran en deterioro después de un periodo natural y mueren liberando el carbono, la biomasa debajo del suelo sigue en aumento preservando mucho del carbono capturado, una manera efectiva para la reserva del carbono, punto de vista que le otorga mayor ventaja en comparación con los árboles (Lobovikov, como se citó en Briceño, 2017).

Las técnicas de monitoreo de biomasa recomendadas en 1996 por el IPCC, son dos: una es el modelaje o método indirecto que corresponde al cálculo de la biomasa del árbol mediante ecuaciones o modelos matemáticos por medio de variables del árbol y análisis de regresión, utilizando en su desarrollo datos como el diámetro, la altura comercial y total, crecimiento diamétrico, área basal y densidad específica de la madera; y dos es el método directo o mediciones de campo, es aquel también llamado destructivo, consiste cosechar el árbol y pesar la biomasa, para luego determinar su peso en seco (Fonseca, 2017). Este último método tiene la ventaja de logra determinar el valor de biomasa aérea de manera precisa, sin embargo, su desventaja es que son poco operativos y al evaluar recursos naturales, podrían ser una fuente de disturbio para el sistema natural

(Mónaco et al., 2015). Pudiendo variar esta premisa si la utilización de este medio se realizara aprovechando la cosecha de plantaciones con fines comerciales, dependiendo también de la zona y características a evaluar.

Emisión de GEI

A nivel nacional la fuente principal de emisión de GEI es la conversión de bosques a agricultura y pastos. En 1990 el Perú llegó a un máximo de 97 millones de toneladas de CO₂ emitida, disminuyendo para el 2010 con una emisión de 154 millones de toneladas de CO₂, de los cuales 45 y 71 millones correspondieron al sector LULUCF en esos años (Zanetti et al., 2017).

Durante las últimas décadas, la emisión de GEI se mantuvo brevemente entre el 2014 y 2016; su emisión total en el 2018, englobando las que derivan del cambio del uso de la tierra, alcanzaron una cifra de 55.3 Giga toneladas de CO₂; de igual manera la emisión de CO₂ de combustibles fósiles destinados al consumo de energía y a los procesos industriales, aumentaron en un 2 % y posicionándose con 37.5 GtCO₂e por año (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2019).

La absorción de CO₂ por los bosques en su papel de sumideros de carbono representa una función importante para la determinación de acumulación de gases de efecto invernadero (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018).

El ciclo del Carbono

El concepto de ciclo del carbono recoge el flujo del carbono y los procesos físicos, químicos y biológicos que lo controlan entre los diferentes almacenes de ese

elemento del sistema Tierra, esos almacenes se encuentran en la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera, la rizosfera y la litosfera. (Martín, 2010, p. 36)

El ciclo global del carbono se describe tomando en cuenta los intercambios entre la atmósfera y la biosfera continental, así como las modificaciones causadas por las actividades humanas: deposiciones nitrogenadas, aumento del CO₂ atmosférico y el calentamiento climático inducido. Estos cambios globales tienen como consecuencia un aumento de producción vegetal y un almacenamiento de carbono en la biomasa de los árboles y en la materia orgánica del suelo (Saugier y Pontailier, 2006).

Ecuaciones Alométricas

También llamadas modelos alométricos, son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, biomasa o el carbono de los árboles en función de variables dendrométricas como el diámetro o la altura (Segura y Andrade, 2008).

La relación existente en los modelos alométricos, es el resultado del desarrollo ontogénico de los individuos y es el mismo para todos, salvo por la particularidad de la variable asociada a la historia de cada uno. Lo cual permite que las proporciones o relaciones alométricas entre el diámetro y la altura con el volumen o la biomasa, sigan una regla que presume es la misma para todas las especies que crezca en condiciones iguales a las de su estudio inicial (Terán Muenala, 2022).

Determinación de Ecuaciones Alométricas para Captura de CO₂

Para desarrollar una ecuación alométrica, primero se deben seleccionar las especies y el número de individuos que sea necesario talar. Una vez seleccionados los árboles, se mide el diámetro a la altura de pecho (DAP) y la altura (total o comercial). Luego, se cortan los árboles seleccionados, separando los troncos, ramas y hojas, cuando

es posible y deseable, también las raíces. Con ayuda de una balanza en campo, se pesa cada una de estas partes para conocer la biomasa fresca, de la cual se extrae una muestra para ser llevada al laboratorio y conocer su peso seco, que será denominado, biomasa seca (Rügnitz et al., 2009, p. 55).

Después obtener los datos de campo y laboratorio se realiza la exploración gráfica de los mismos, lo cual consiste en visualizar las relaciones entre las variables identificar los modelos que posterior mente se ajustaran y se analizaran estadísticamente (Picard et al., 2012). Es así que mediante el programa Excel, teniendo los datos de biomasa total y captura de CO₂ por árbol, se realiza una línea de tendencia, donde se obtendrá un modelo matemático, mediante regresión lineal y obteniendo un coeficiente de determinación "R²", expresando el modelo en función al DAP y la altura (Torres, 2008).

Ecuaciones alométricas para captura de carbono.

Las ecuaciones son generadas a partir de los análisis de regresión, donde se estudian las relaciones entre la masa (peso seco) de los árboles y sus datos dimensionales (altura, diámetro). Dependiendo del número de variables independientes (datos dimensionales) la ecuación puede ser una regresión lineal simple (una variable) o una regresión lineal múltiple (más de dos variables) (Rügnitz et al., 2009). Ejemplos de ecuaciones en la tabla 1.

Tabla 1

Ecuaciones más empleadas para la estimación de volumen, biomasa o carbono (VBC) de árboles, arbustos y palmas.

Nombre	Ecuación
Berkhout	$VBC = a + b *dap$
Kopezky	$VBC = a + b *dap^2$
Hohenadl – Krenn	$VBC = a + b * dap + c*dap^2$
Husch	$\ln VBC = a + b * \ln dap$
Spurr	$VBC = a + b *dap^2 + h$
Stoate	$VBC = a + b *dap^2 + c * dap^2 *h + d * h$
Meyer	$VBC = a + b *dap^2 + c * dap * h + d*dap^2 *h$
Shumacher – Hall	$\ln VBC = a + b * \ln dap + c * \ln * h$

Notas: VBC = volumen (m³/árbol), biomasa (kg/árbol) o carbono (kg/árbol); DAP = diámetro a la altura del pecho (o a otra altura de referencia; cm); h = altura total o comercial (m); a, b, c, d = parámetros del modelo; ln = logaritmo base e. Fuente: Loetsch et al. (como se citó en Segura y Andrade, 2008, p. 92).

2.3. Términos Básicos

Calentamiento Global

Aumento estimado de la temperatura media global en superficie promediada durante un periodo de 30 años o durante el periodo de 30 años centrados en un año o decenio particular, expresado en relación con los niveles preindustriales o menos que se especifica de otra manera (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2019).

Gases de Efecto Invernadero (GEI)

“Son catalogados GEI: el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano; siendo el primero el de mayor interés por su abundancia y que tiene mayor incidencia en el calentamiento global” (Cielsa, como se citó en Ching et al., 2018, p. 37).

Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono es una molécula que ha estado presente en la tierra desde su formación hasta nuestros días y participa en los diferentes ciclos de transformación del carbono, el mas importantes es el asociado a la conversión de carbono inorgánico a carbono orgánico a través del proceso de fotosíntesis catalizado por la enzima rubisco, lo que permitió el origen de la vida en la tierra y el almacenamiento de energía solar durante millos de años en lo que hoy llamamos combustibles fósiles (Mondragón, 2021, p.833). “El CO₂ es un gas que se forma por oxidación de los átomos de carbono; es uno de los gases causantes del efecto invernadero” (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2015, p. 8).

Sector LULUCF

Las siglas en inglés LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry) cuyo significado en español es Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) que hacen referencia al sector del inventario de gases de efecto invernadero que cubre las emisiones y eliminaciones de los gases nocivos debido a la acción directa humana sobre el uso de la tierra, el cambio de uso o cambio de uso (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2021). A excepción del sector agrícola.

Biocarbón

Material que se produce en un entorno de poco oxígeno (pirólisis), se genera por el calentamiento de la biomasa y es rico en carbono, puede reducir la emisión de gases de efecto invernadero procedentes de la biomasa o el suelo (International Biochar Initiation [IBI], 2018).

Servicios Ecosistémicos

Son aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos o indirectos, que se obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas, estos servicios constituyen el patrimonio de la nación (Resolución Ministerial N° 014-2021-MINAM, 2021).

Pago por Servicios Ecosistémicos

La compensación por servicios ambientales se refiere al intercambio voluntario de un servicio ecosistémico definido por una transferencia monetario o en especies, y se concreta cuando el comprador se asegura de la provisión del servicio ambiental (Organismo de supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre [OSINFOR], 2021).

Sumidero de Carbono

Son depósitos naturales que absorben o capturan dióxido de carbono, por ejemplo, en un bosque si el cambio en el stock del carbono es positivo, es decir aumenta con el paso del tiempo, este es considerado un sumidero de carbono (Honorio y Baker, 2010).

Bonos de Carbono

Toda actividad humana (transporte, alimentación, diversión, entre otras) y en mayor medida la de las empresas genera la emisión de gases de efecto invernadero GEI, al aire, también llamada HUELLA DE CARBONO, que puede calcularse en toneladas de carbono. Para compensar este impacto causado, las empresas tienen la opción de adquirir “BONOS O CRÉDITOS DE CARBONO” en un mercado voluntario a través de proyectos que disminuyen la emisión de gases al ambiente, contribuyendo a reducir el efecto invernadero que causa el calentamiento global (Servicio Nacional de Áreas Nacionales Protegidas por el Estado [SERNANP], 2021).

Mitigación

“El contexto con el cambio climático la mitigación está relacionada con la intervención del hombre para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero” (United Nations Environment Program [UNEP], 2021, p. 13).

Biomasa Aérea

“la biomasa aérea es toda la biomasa viva por encima del suelo, incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas” (Molina y Montealegre, 2018).

Fuente de Carbono

“Es considerada como fuente de carbono el área de bosque que no mantiene su stock de carbono, sino que disminuye con el tiempo” (Honorio y Baker, 2010, p.13).

Métodos Destructivos

También llamado método directo o mediciones en campo, que consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa, para luego determinar su peso seco (Fonseca, 2017).

La ventaja de estos métodos en el campo es que logra determinan el valor de biomasa aérea de manera precisa, sin embargo, su desventaja es que son poco operativos y al evaluar recursos naturales, podrían ser una fuente de disturbio para el sistema natural. (Mónaco et al., 2015, p. 297)

Dasometría

Román y Ramírez (como se citó en Reyes, 2021) describe la dasometría en base a la definición del diccionario enciclopédico UTEHA, indicando que es una parte de la estereometría y se ocupa de la medida del monte, proviene de las palabras griegas “daso”, que significa bosque y “metron” que significa medida, es decir se encarga de la medida del bosque en general, sus símbolos son: c (circunferencia), d (diámetro), r (radio), g (área basal), h (altura), i (incremento), t (edad del árbol), n (número de árboles), v (volumen de un árbol), p (porcentaje de incremento), f (factor de forma), cf (coeficiente de forma), s (superficie o área), G (área basimétrica de una masa en m²/ha)), N (número total de árboles por unidades de superficie), V (volumen total por unidad de superficie en m³/ha). Mientras que la dendrometría es parte de la dasometría, ya que estudia las mediciones de un árbol individual y expresa sus resultados como tal.

Inventarios Forestales

“Los inventarios forestales constituyen uno de los instrumentos más importantes para registro de información en la evaluación de recursos forestales, pues muestran estado situacional de los bosques desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo” (SERFOR, 2019, p. 5).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del Estudio

La investigación se realizó en el distrito de Aramango, provincia de Bagua, departamento de Amazonas, en una plantación de *Guadua angustifolia* Kunth.

Ubicación Geográfica

Limita por el norte con el distrito de Imaza; por el oeste con la provincia de Utcubamba; por el sur con el distrito de La Peca y el distrito de Copallín; la localización del estudio se muestra en el mapa de los anexos 2 y 3.

Aspectos Climatológicos y Geológicos

El clima de la zona es cálido y húmedo en la parte baja y templado o moderadamente frío en la parte alta, la temperatura oscila entre 35° y 38°, en la parte baja y entre 25° y 28° en la parte alta, siendo la época más calurosa entre los meses de octubre a diciembre y la de mayor precipitación promedio anual de 733 mm, el período comprendido entre enero a marzo (Municipalidad Distrital de Aramango, 2016).

La red hidrográfica del departamento de Amazonas comprende principalmente un sector de la cuenca alta del río Marañón donde los principales afluentes de la margen derecha de este río son el Utcubamba, Chiriaco y Nieva, mientras que en la margen izquierda destacan los ríos Cenepa y Santiago. El clima predominante es cálido y húmedo. (Gobierno Regional de Amazonas e Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, 2010, p. 15)

3.2. Materiales y equipos.

Materiales y equipos de campo

Machete, sierra de arco, cinta métrica, balanza, GPS.

Equipos de laboratorio

Estufa, balanza analítica.

Materiales y equipos de gabinete

Calculadora, computadora, impresora.

3.3. Metodología

Fase de Campo

Muestreo y selección de individuos. Para la selección de los individuos se siguieron los siguientes pasos: Instalación de 12 parcelas de 100 m² (distribuidas al azar); medición y codificación de todos los individuos dentro de cada parcela; estratificación de todos los individuos por grupos de evaluación. Para determinar el tamaño de la muestra se realizó con la metodología de poblaciones infinitas (N).

$$n = \frac{T^2 \times Cv^2}{E^2} = 98.01 \cong 98$$

Dónde:

n : número de plantas de guadas.

Cv : coeficiente de variabilidad a 25 %

E : error de 5 %

T : de Student igual a 1.98

Figura 1

Delimitación de parcelas



Procedimiento en Campo.

Se realizó un inventario (12 parcelas de 100 m²) las técnicas que se utilizaron fueron, la observación directa e indirecta y la medición.

Para la colección de muestras, se utilizó el método destructivo (Fonseca, 2017), es decir, una vez encontrado el tamaño de la muestra, según la formula ($n = 98$), se decidió talar 100 plantas de guadua de la plantación, para realizar las mediciones correspondientes.

- **Mediciones:** Las mediciones de diámetro basal de la guadua se realizaron a 15 centímetros de la base del suelo, las mediciones de altura se realizaron después del apeo o talado de la planta de guadua.
- **Corte de los individuos y extracción de muestra:** una vez cortada o apeada la planta de guadua, se separó del culmo, las ramas y hojas para su cuantificación.

Los culmos se dividieron en secciones de 1.5 m de largo para facilitar su pesado en fresco y determinar la biomasa húmeda de las plantas de guadua (Bh). Las ramas y hojas se colectaron en su totalidad, y fueron pesadas en fresco por separado. Con el objetivo de obtener el contenido de humedad del culmo, ramas y hojas, se colectó una alícuota de 50 a 100 gramos de cada parte de la planta de guadua, las mismas que fueron colocadas en bolsas herméticas y luego trasladadas a laboratorio para el ensayo de humedad.

Se denomina biomasa húmeda al peso húmedo del culmo, ramas y hojas de la planta de guadua.

$$BH_a = BH_c + BH_{rh}$$

Donde:

BH_a : Biomasa húmeda aérea.

BH_c : Biomasa húmeda del culmo.

BH_{rh} : Biomasa húmeda de ramas y hojas.

Figura 2

Pesado de hojas y ramas



Fase de Laboratorio

El método utilizado en este trabajo es el método destructivo, el cual consistió en la obtención de las muestras, descrita en la fase anterior. En esta fase se realizó el pesado y secado de las muestras obtenidas de cada parte de la planta de guadua y conservadas en las bolsas herméticas. Se procedió a pesar la muestra húmeda y luego las muestras fueron llevadas a estufa durante 48 horas con temperaturas de 103 ± 2 grados centígrados, hasta obtener un peso constante y determinar el peso seco, esto según lo establecido en la NTP 251.010:2014 MADERA.

Utilizando la fórmula recomendada en la NTP 251.010:2014 MADERA se determinó el contenido de humedad (CH):

$$CH = \frac{Pi (g) - Ps(g)}{Pi (g)} \times 100$$

Donde:

CH : Contenido de humedad de la muestra en porcentaje

Pi : Peso inicial húmedo de la muestra en gramos

Ps : Peso final seco de la muestra en gramos

Una vez obtenido el contenido de humedad, se procedió a determinar el peso de la biomasa seca (BS); para esto, los pesos obtenidos en campo del culmo, ramas y hojas se considera como biomasa húmeda (BH), y la suma de todas ellas es la biomasa húmeda aérea (BHa). La biomasa seca se estima de acuerdo con la expresión descrita por Márquez (como se citó en Arango y Camargo, 2010).

$$BS = BH - (BH * C.H.)$$

Se denomina biomasa seca al peso seco de culmo, ramas y hojas de la planta de guadua; la biomasa seca aérea (BSa), está constituida por la sumatoria de la biomasa seca de las partes de la guadua.

$$BSa = BSc + BSrh$$

Donde:

BSa : Biomasa seca aérea.

BSc : Biomasa seca del culmo.

BSrh : Biomasa seca de ramas y hojas.

Figura 3

Alícuotas en la estufa



Fase de Gabinete.

Se realizó la tabulación de los datos de biomasa seca obtenida en la fase de laboratorio, en función a esto se obtuvo el peso de carbono almacenado en las plantas de

guadua, para esto se utilizó la relación biomasa seca: peso de carbono almacenado, que según el IPCC corresponde a 0.5 o 50 %. Con el peso de carbono almacenado se calcula el peso del CO₂ almacenado, en función a la relación de pesos moleculares del carbono y del CO₂.

$$CO_2 \text{ almacenado} = \text{Peso de C almacenado} * 3.67$$

Donde:

CO₂ almacenado : Dióxido de carbono almacenado en la planta de guadua en Kg.

C almacenado : Carbono almacenado en la planta de guadua en Kg.

3.67 : Relación entre el peso molecular del carbono y el dióxido de carbono

De esta manera se completa la obtención de las variables tanto independientes como son las mediciones de diámetro basal y altura como dependientes que son la biomasa seca total y el dióxido de carbono almacenado total del bambú.

Con los datos tabulados de las variables, se procedió a establecer relaciones de regresión entre ellas, siguiendo el procedimiento de cuadrados mínimos, utilizando el software Excel V2019. Se obtuvieron ecuaciones de regresión de los tipos: lineal, potencial, exponencial, polinómica de segundo grado y polinómica de tercer grado; con el objetivo de establecer la idoneidad de la ecuación, se determinó el coeficiente de determinación (R²). Estas ecuaciones se realizaron para cada una de las variables independientes (diámetro basal y altura del culmo) con la variable dependiente (dióxido de carbono almacenado). Luego se calculó los residuos de cada una de las regresiones de manera tabular. Las regresiones y la dispersión de los residuos se representaron de manera gráfica y se muestran en los resultados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Dendrometría de la especie

4.1.1 Existencia potencial de la especie

Tabla 02

Existencia potencial de la especie

Nº	Descripción	Área (m ²)	Existencia (número de plantas de guadua)
01	Existencia promedio por parcela	100	53.6
02	Existencia total muestreada	1200	643
03	Existencia promedio por hectárea	10000	5358

Los resultados obtenidos para las existencias promedio por hectárea con una diferencia mínima en comparación a lo que obtuvo Caro (2014), quien, en su investigación, encontró en promedio de 5 700 guaduas (bambú) por hectárea, esta diferencia se da, porque el inventario que se realizó en la investigación no se consideraron la guaduas secas, mientras que la plantación mencionada por el autor se contabilizó dentro de su inventario las matas secas, como menciona en su investigación, considerando además la diferencia de zonas.

Se difiere también con los datos encontrados en su proceso investigación Gonzales (2005) quien para *Guadua angustifolia* K. encontró 3200 guaduas por hectárea, diferencia notable debido a que en su inventario solo contabilizaron las guaduas comerciales de 6 m mientras que, en el inventario hecho para este informe, no se hizo diferencias y se realizó al azar, contabilizando guaduas maduras, verdes, de altura comercial y segundas.

En comparación con uno de los inventarios hechos de la especie, específicamente en Aramango, la Asociación Peruana del Bambú (2009) reportó 4300 guaduas por hectárea, a diferencia del inventario presentado en esta investigación, esto debido a que el inventario realizado por los autores no incluyó los brotes, datos que se tomaron en cuenta en los resultados del inventario para este informe.

En contraste con este último autor, Molina y Montealegre (2018) reportó como resultado de su inventario 5466 guaduas, datos idénticos a los dados expresados en la tabla 2.

4.1.2 Variables dendrométricas de la especie

En la siguiente tabla se detallan los datos dendrométricos obtenidos de la muestra.

Tabla 3

Datos dendrométricos de la muestra

N°	Peso de las guaduas (Kg)	Diámetro basal de las guaduas (cm)	Altura de las guaduas (m)	Edad (años)
Máximo	59.04	13.69	16.75	5
Mínimo	14.03	5.73	8.50	3
Promedio	27.77	8.94	11.71	4

En la tabla 3 se muestran los resultados de peso, diámetro basal y altura de las 100 plantas de guadua medidas según la muestra establecida; diámetros parecidos al promedio encontrado en este trabajo, los estimó Briceño (2017) en Costa Rica, cuyo resultado de inventario arrojó un diámetro promedio de 8.14 cm para las plantas de guadua evaluadas.

Diferentes valores promedio de diámetros a los encontrados en esta investigación, reporta Caro (2014) quien encontró en su inventario diámetros promedios de 14.3 cm, debido a la variación de la zona, pero sobre todo porque el estudio se centró en las medidas de guaduas comerciales (aprovechables o maduras), y en este informe se han considerado tanto las guaduas aprovechables, como las verdes.

La dendrometría de la especie descrita en esta investigación es similar a la expuesta por el SERFOR (2021) en su manual de majo, hecho específicamente en la zona de Amazonas, cuya descripción de los datos morfológicos de la especie, entre ellos su dendrometría, expresa que la altura promedio para bambú es de 15 metros y el diámetro promedio de 10 cm, datos entre los que oscilan las guaduas inventariadas para este informe.

La tabla 3 describe los valores de diámetro basal y altura mínimos y máximos encontrados en la plantación de estudio, los cuales son parecidos a los encontrados Molina y Montealegre (2018) quienes obtuvieron como resultado de su estudio un diámetro mínimo de 5.66 cm y una altura promedio de 16.52 m; de igual manera, López et al. (2011) encontraron como resultado del proceso de su investigación un diámetro de 10.9 cm y una altura total de 13.9 m, datos que se encuentran entre los valores resultantes de la muestra.

4.2 Ecuaciones alométricas para bambú

Tabla 4

Ecuaciones alométricas para la altura de la guadua

N°	Nombre	Modelo	b0	b1	b2	b3
1	Polinómica de grado 2	$CO_2 = b_2 \text{altura}^2 + b_1 \text{altura} - b_0$	21.1159	3.1936	0.0295	
2	Polinómica de grado 3	$CO_2 = b_3 \text{altura}^3 + b_2 \text{altura}^2 - b_1 \text{altura} + b_0$	179.7958	46.3324	4.0361	-0.1062
3	Lineal	$CO_2 = b_1 \text{altura} - b_0$	25.6729	3.9344		
4	Potencial	$CO_2 = b_0 \text{altura}^{b_1}$	0.0950	2.1689		
5	Exponencial	$CO_2 = b_0 e^{b_1 * \text{altura}}$	2.4851	0.1754		

Donde:

CO_2 : Es dióxido de carbono kg

Altura : Largo del culmo en metros

b_0, b_1, b_2, b_3 : Parámetros que miden la influencia de las variables (Anexos 5 y

6)

Tabla 5

Ecuaciones alométricas para Diámetro de la guadua

N°	Nombre	Modelo	b0	b1	b2	b3
1	Polinómica de grado 2	$CO_2 = b_2 D^2 + b_1 D - b_0$	22.9723	4.6842	0.04794	
2	Polinómico grado 3	$CO_2 = b_3 D^3 + b_2 D^2 - b_1 D + b_0$	113.6483	35.1011	3.7850	-0.1164
3	Lineal	$CO_2 = b_1 D - b_0$	16.4515	4.1212		
4	Potencial	$CO_2 = b_0 D^{b_1}$	0.5868	1.6061		
5	Exponencial	$CO_2 = b_0 e^{b_1 * D}$	3.6744	0.1860		

Donde:

CO₂ : Es dióxido de carbono kg

D : Diámetro basal del culmo en cm

b0, b1, b2, b3 : Parámetros que miden la influencia de las variables (Anexos 5 y 6)

Luego del procesamiento de los datos dendrométricos de la muestra se construyó 5 modelos alométricos tanto para altura como para diámetro basal, tal como se muestran en las tablas 4 y 5; ecuaciones muy parecidas a los expuestos por Segura y Andrade (2008) en su bibliografía con la única diferencia que llevan nombres generados por los autores, estos fueron las ecuaciones Berkhout, Kopezky, Hohenadl -Krenn y Hush descritos en la Tabla 1.

Diferentes ecuaciones desarrollaron Ramírez y Pelaez (2016), quienes obtuvieron como resultado para cálculo de biomasa, carbono, y dióxido de carbono, dos ecuaciones exponenciales [$M=0,118 \text{ DAP}^{2,0078}$] y [$M=0,1135 \text{ DAP}^{2,025}$], la diferencia de parámetros se debe a que estas ecuaciones fueron propuestas para especies diferentes a la del presente estudio, tratándose de las especies *Polylepis incana* y *Ploylepis sericea*. De igual manera Arone (2018) obtuvo que la ecuación alométricos $E8=0.1183D^{2.53}$ de tipo potencial es la mejor para su estudio, modelo que se describe en la tabla 5, cuya diferencia de parámetros se debe a que el estudio fue hecho para especies diferentes.

Por su parte, Córdoba Alvarado (2021), obtuvo como ecuación alométrica para captura de carbono $\text{Ln(carbono)} = -2.71956 + 1.37898 \cdot \text{Ln}(D.\text{basal}) + 0.76294 \cdot \text{Ln}(L)$, la cual es una ecuación logarítmica linealizada que considera las variables dendrométricas diámetro y altura de la planta de guadua.

En resumen, de los modelos desarrollado los más adecuados son los que usan la variable diámetro basal por la facilidad de la medición de este; teniendo en cuenta que se trabajó con estas variables buscando la facilidad de la obtención de sus datos y evitar volver a realizar los cálculos directos, es decir, es más fácil medir el diámetro basal en campo que la altura, la cual solo estima con la planta en pie.

4.3 Estadísticos de las ecuaciones alométricas

Para validar las ecuaciones alométricas se calcularon los indicadores estadísticos: la suma de los cuadrados de los residuos SCE, la desviación estándar, el error residual ajustado y el R^2 de regresión o coeficiente de determinación; estos criterios de validación estadística de las ecuaciones alométricas es recomendado por scchlaegel, Parresol y tedeschi, citado por Picard et al. (2012)

Tabla 6

Resumen de las ecuaciones alométricas para captura de carbono con variable altura

N°	Nombre	Ecuaciones	CO ₂ estimado (kg/100 guaduas)	R ² de ajuste	SCE	σ
0	Calculo directo	CO ₂ = (((Pcs+Prhs)0.5)3,67)	2038.4183*			
1	Polinómica de grado 2	CO ₂ = 0.0295 altura ² + 3.1936altura -21.1159	2038.1842	R ² = 0.7872	998.3341	3.1597
2	Polinómica de grado 3	CO ₂ = -0.1062altura ³ + 4.0361altura ² - 46.3324altura + 179.7958	2044.8596	R ² = 0.7998	940.56105	3.0669
3	Lineal	CO ₂ = 3.9344altura - 25.6729	2038.3973	R ² = 0.7870	1001.3347	3.1644
4	Potencial	CO ₂ = 0.0950altura ^{2.1689}	2016.2631	R ² = 0.7813	1035.0908	3.2173
5	Exponencial	CO ₂ = 2.4851e ^{0.17544altura}	2017.7641	R ² = 0.7589	1158.5962	3.4038

Donde:

CO₂ : Es dióxido de carbono en kg

Pcs : Peso del culmo seco

Prhs : Peso de ramas y hojas secas

Altura : Largo del culmo en metros

* : Valor medido de manera directa

R² : Coeficiente de determinación

SCE : Suma de cuadrados del error (de los residuos)

σ : Desviación o raíz del error.

Tabla 7.*Resumen de las ecuaciones alométricas para captura de carbono con variable diámetro*

Nº	Nombre	Modelo	CO ₂ estimado (kg/ 100 guaduas)	R ² de ajuste	SCE	σ
0	Calculo directo	CO ₂ = (((Pcs+Prhs)0.5)3,67)	2038.4183*			
1	Polinómica de grado 2	CO ₂ = 0.47947D ² - 4.6842D + 22.9723	2038.4181	R ² = 0.7916	977.6786	3.1268
2	Polinómico grado 3	CO ₂ = -0.1164D ³ + 3.7850D ² - 35.1011D + 113.6483	2041.8458	R ² = 0.8077	903.2705	3.0054
3	Lineal	CO ₂ = 4.1212D - 16.4515	2038.4283	R ² = 0.7408	1217.8843	3.4898
4	Potencial	CO ₂ = 0.5868D ^{1.6061}	2002.8310	R ² = 0.7661	1181.3630	3.4371
5	Exponencial	CO ₂ = 3.67440e ^{1860D}	2009.4487	R ² = 0.7823	1037.0007	3.2202

Donde:

CO₂ : Es dióxido de carbono en kg

Pcs : Peso del culmo seco

Prhs : Peso de ramas y hojas secas

D : Diámetro basal del culmo en cm

* : Valor medido de manera directa

R² : Coeficiente de determinación

SCE : Suma de cuadrados del error (de los residuos)

σ : Desviación o raíz del error.

Luego del análisis estadístico se realizó la comparación del resultado del coeficiente de determinación de las ecuaciones y error de los mismos (residuos) que se pudo ver en la tabla 5 y 6, encontrando que para las ecuaciones con la variable independiente altura, la ecuación Polinómica de grado tres: $CO_2 = -0.1062\text{altura}^3 + 4.0361\text{altura}^2 - 46.3324\text{altura} + 179.7958$ es la que más se ajusta ya que tiene un coeficiente de determinación R^2 igual a 0.7870 y que para las ecuaciones con la variable independiente diámetro basal se identificó que la ecuación Polinómica de grado tres: $CO_2 = -0.1164D^3 + 3.7850D^2 - 35.1011D + 113.6483$ es la que más se ajusta, ya que tiene un CO_2 estimado muy parecido al CO_2 calculado de forma directa por método destructivo, además su R^2 de ajuste es de 0.8077 siendo el más alto.

Comparando las dos ecuaciones resultantes una con diámetro basal y otra con altura, se encontró como resultado final que la ecuación polinómica de grado tres que utiliza como variable independiente el diámetro basal de la especie, es mejor, ya que cuenta con un R^2 al 0.81 que indica que el 81 % de los datos se encuentran ajustados dentro de la ecuación; considerando además, que el cotejo del diámetro basal en campo tienen mayor exactitud y son de fácil medición, determinándose así que el modelo más factible es $CO_2 = -0.1164D^3 + 3.7850D^2 - 35.1011D + 113.6483$

Similares resultados encuentran García et al. (2015) en su investigación, quienes consideran que la ecuación que mejor se ajusta al cálculo de biomasa es aquella que utiliza como variable predictora el diámetro del culmo, $BST (kg) = -3.614311904 + 2.558090732DC$ con un R^2 DE 0.89, respaldando el punto de vista de esta investigación en el que luego de la comparación estadística se optó por la ecuación con variable independiente diámetro debido al mayor porcentaje de ajuste de datos y la precisión de la medida de esta variable en campo y la facilidad de la misma.

Datos parecidos con respecto al coeficiente de determinación, muestra Fonseca y Rojas (2016) quienes construyeron modelos alométricos para estimar biomasa vegetal y carbono por unidad de área, presentando como ecuación con mejor ajuste la que tiene un R^2 mayor a 76% con una diferencia en sus ecuaciones, obteniendo como ecuación para carbono en culmo ($C_{culmo} = 6,30893 + 0.815235G$) y carbono en biomasa total ($C_{bttotal} = 10,7197 + 0,813445G$), donde G significa área basal en m^2/ha . A diferencia de lo trabajado en este informe, las ecuaciones propuestas por los autores, trabajaron con el área de la guadua necesitando tanto la altura como el diámetro, lo que discrepa del resultado expresado en este informe ya que se optó por una ecuación polinómica de grado dos por tener un coeficiente de determinación mayor, por trabajar con una variable independiente de fácil medición, cumpliendo con el objeto de desarrollo de un modelo alométricos, simplicidad y evasión de métodos directos.

Córdoba Alvarado (2021), en su evaluación realizada obtuvo una ecuación alométrica logarítmica linealizada, y como es de esperar el ajuste es alto ($R^2 = 0.94$), $\ln(\text{carbono}) = -2.71956 + 1.37898\ln(D.\text{basal}) + 0.76294\ln(L)$; esta ecuación alométrica a pesar que tiene mejor ajuste, no es más recomendable que la obtenida en la presente investigación como la mejor, en función que para esta ecuación se tendría que medir las dos variables dendrométricas, diámetro y altura de la planta de guadua, y considerando que solo el diámetro se mide de manera directa y la altura se estima, los resultados pueden traer consigo errores de medición, mientras que para la ecuación propuesta como la mejor en la presente investigación solo se tiene que medir el diámetro, lo cual es una medición directa y confiable.

Aplicando la ecuación seleccionada como la mejor ($\text{CO}_2 = -0.1164D^3 + 3.7850D^2 - 35.1011D + 113.6483$) para estimar el peso del CO_2 capturado y almacenado en una hectárea de plantación de bambú, y considerando que según el inventario realizado hay una existencia promedio de 5358 plantas de guadua por hectárea, se obtiene 102.75 toneladas de CO_2 almacenado por hectárea, valor que es muy cercano al proyectado con las mediciones directas realizadas que fue de 109.22 toneladas de CO_2 por hectárea, por lo que se puede decir que la ecuación seleccionada es confiable para su aplicación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La dendrometría de la especie es de 27.77 kg peso promedio, 8.94 cm de diámetro basal promedio y 11.71 m de altura promedio, los mismos que fueron determinados por métodos destructivos.

Las ecuaciones alométricas para la captura de CO₂ en *Guadua angustifolia* Kunth realizadas, fueron cinco modelos alométricos utilizando la variable diámetro basal y cinco modelos utilizando la variable altura, los modelos son aplicables para plantas de 4 años de edad en promedio.

El mejor modelo es la ecuación alométrica de grado tres con la variable independiente diámetro basal, $CO_2 = -0.1164D^3 + 3.7850D^2 - 35.1011D + 113.6483$ por tener un R² ajustado de 0.81, considerando también, que la variable independiente diámetro tiene mayor exactitud y facilidad a la hora de su medición en campo.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar nuevos muestreos en otras áreas de plantaciones de *guadua angustifolia* Kunth en la región amazonas para obtener una ecuación alométrica promedio para toda la región.

En nuevas investigaciones de ecuaciones alométricas para *Guadua angustifolia* Kunth utilizar otras variables independientes como variables dasométricas, como densidad de la plantación, diámetros promedios por ha, alturas promedio por ha y factor de forma de la caña, con el objetivo de optimizar las ecuaciones alométricas.

Se recomienda tomar en cuenta la ecuación alométricas seleccionada para poder calcular de manera indirecta el carbono retenido en las plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth, la misma que puede ser utilizada en la formulación de informe o expedientes técnicos.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Cadena, J. F., Ramírez Valverde, B. y Cadena Iñiguez, J. (2018). Biomasa y carbono en *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhamii* en dos comunidades de la sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista de biología Tropical*, 66(4), 1701-1708.
<https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v66n4/0034-7744-rbt-66-04-1701.pdf>
- Añazco Romero, M. y Rojas, S. (2015). Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú (*Guadua angustifolia*). Red Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR).
<https://bambuecuador.files.wordpress.com/2018/01/2015-estudio-de-la-cadena-desde-la-producciocc81n-al-consumo-del-bambucc81-en-perucc81.pdf>
- Arango Arango, A. M. y Camargo, J. C. (2010) Bosques de guadua del Eje Cafetalero de Colombia: oportunidades para su inclusión en el mercado voluntario de carbono y en el programa REDD+. *Recursos naturales y ambiente*, (61),77-85
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8445>
- Arango Arango, A. M. (2015). *Huella de Carbono y aproximación a la definición de sostenibilidad del recurso Guadua. Caso de estudio Finca Yarima Pereira*. [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira].
<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/5c284818-b846-4358-9b35-4cb3ddf205fb/content>
- Arone Quispe, O. (2018). *Modelo alométrico y la estimación de captura de carbono de las especies Eucalyptus globulus y Pinus radiata, y su valoración económica, en la zona sur de Ayacucho-Perú, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión].

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2109/Oscar_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Asociación Peruana del Bambú (2009). Promoción de la rehabilitación, manejo y uso sostenible de los bosques tropicales de bambú en la región Noroccidental del Perú: Inventario de bosques de Bambú en el ámbito del proyecto PD428/REV.2(F).

<https://docplayer.es/23477993-Promocion-de-la-rehabilitacion-manejo-y-uso-sostenible-de-los-bosques-tropicales-de-bambu-en-la-region-noroccidental-del-peru.html>

Benavides Solorio, J., Torres García, O., Flores Garnica, J. G.; Acosta Mireles, M. y Rueda Sánchez, A. (2021). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono aéreo de *Cedrela odorata* L. en plantaciones forestales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(65), 89-111.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v12n65/2007-1132-remcf-12-65-89.pdf>

Briseño Elizondo, E. (2017). *Desarrollo de un modelo de producción de bambú guadua mediante la aplicación de técnicas silviculturales óptimas para la cuantificación del crecimiento y la capacidad de almacenamiento de carbono en plantaciones (Guadua angustifolia) en la zona sur de Costa Rica* [Informe técnico, Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela de Ingeniería Forestal]

<https://core.ac.uk/download/pdf/129488003.pdf>

Byng, J., Chase, M., Christenhusz, M., Fay, M., Judd, W., Mabberley, D., Sennikov, A., Soltis, D., Soltis, P. y Stevens, P. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical journal of the linnean Society*, 181, 1-20.

<https://doi.org/10.1111/boj.12385>

Caro Mejiá, J. A. (2014). *Manejo específico por sitio en el aprovechamiento de Guadua angustifolia: Implementación de un SIG para la trazabilidad de los tallos de guadua en la hacienda Maravélez, municipio de la Tebaida, Quindío-Colombia* [Tesis de posgrado, Universidad San Francisco de Quito]

Ching C., Zambrano Farías, I., Ávila Beneras, J. y Rodríguez R. A. (2018). El bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) como medio de absorción de CO₂ en Guayaquil. *Espiraes revista multidisciplinaria de investigación*, 2(18), 35-44

<https://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/314/234>

Córdoba Alvarado, M. (2021). Monitoreo y reporte de captura de carbono en plantaciones de bambú *Guadua angustifolia* Kunth en Costa Rica. *Revista Trimestral sobre la Actualidad Ambiental*, (278), 24-29.

<https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/35527/005-Cordoba.pdf>

Corrales, H. (2017). *Establecimiento in vitro del bambú Guadua angustifolia Kunth bajo seis tratamientos de desinfección aplicados en segmentos nodales procedentes de ramas primarias*. [Tesis de pregrado Universidad Nacional Agraria la Molina]

Cronquist, A. (1981). An integrated System of Classification of Flowering Plants. C. *Columbia University Press. New York*, 248-250.

Díaz Flores, Y., Mendoza Cienfuegos, E. e Inga Santillan, C. (2017) *Manual Técnico del Bambú (Guadua angustifolia Kunth) para Productores*, Editorial Fundación AVSI.

<https://es.scribd.com/document/372716454/Manual-Tecnico-del-Bambu-para-Productores-pdf>

- Durango Alvarez. E. S., Gallarfo Cabrera, C. y Contreras Contreras, A. (2015). Estudio para el aprovechamiento potencial de hojas de *Guadua angustifolia* Kunth (Poaceae), para el sector cosmético. *Revista cubana de farmacia*, 49(3), 535-542.
- Espíndola, C. y Valderrama J. (2012). Huella del carbón. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1), 163-176.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- Fernández Losada, M. Y. (2017). *Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenadas en bosques naturales* [Proyecto de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]
<http://hdl.handle.net/10654/16394>
- Fonseca González, W. y Rojas Vargas, M. (2016). Acumulación y predicción de biomasa y carbono en plantaciones de bambú en Costa Rica. *Ambiente Y Desarrollo*, 20(38), 85-98.
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-38.apbc>
- Fonseca González, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de ciencias ambientales*, 51(2), 91-109.
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/9481/11248>
- García Soria, D., Abanto Rodríguez, C. y Del Castillo Torres, D. (2015). Determinación de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa aérea de *Guadua sarcocarpa* Londoño & P. M. Peterson de la comunidad nativa Bufe Pozo, Ucayali, Perú. *Folia Amazónica*, 24(2), 139 – 144.

- Gonzales Mora, H. E. (2005). Elaboración de una propuesta para el aprovechamiento y la transformación del Bambú en el ámbito del PRODAPP (Puerto Inca - Oxapampa), Universidad Nacional Agraria la Molina
<https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/GRFFS/35.pdf>
- Gobierno Regional de Amazonas e Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. (2010) Propuesta de Zonificación ecológica y económica del departamento de Amazonas.
file:///C:/Users/woblitas/Downloads/estudio_de_la_propuesta_de_zee.pdf
- Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2019). Calentamiento global de 1,5 °C, resumen para responsables de políticas.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- Honorio Coronado, E. N. y Baker, T. R. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana.
http://rainfor.org/upload/ManualsSpanish/Honorio_Baker2010%20Manual%20carbono.pdf
- International Biochar Initiative [IBI]. (2018). Frequently Asked Questions About Biochar: ¿ What is biochar?
<https://biochar-international.org/faqs>.
- Londoño, X. (2010). Identificación Taxonómica de los Bambúes de la Región Noroccidental del Perú. Ministerio de Agricultura. Dirección General forestal y de Fauna Silvestre. Ministerio de Agricultura.
http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/INFORME%20TAXONOMIA%20BAMB%C3%9A.pdf

- López Martell, A., Catusas Guerra, L., Arcia Chavez, M., Romero Martinez, R., Rodriguez Valdez, O. y García Hernández, C. (2011). Índices Dasométricos de *Guadua angustifolia* Kunth en la cuenca del Arroyo Cupaynicu en el municipio de Guisa. *Revista forestal Baracoa*, 30(2), 33-36.
- http://www.actaf.co.cu/revistas/rev_forestal/Baracoa2011/FAO2%202011/%C3%8DNDI CES%20DASOM%C3%89TRICOS%20DE%20GUADUA%20ANGUSTIFOLIA.pdf
- Martín Chivelet, J. M. (2010). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. Fundamentos conceptuales y didácticos. *Enseñanzas de las ciencias de la Tierra*, 28(2), 33-46.
- Ministerio de Agricultura (2008). Plan Nacional de Promoción del Bambú 2008- 2020. Dirección General de Competitividad Agraria. Perú.
- <https://www.serfor.gob.pe/portal/wpcontent/uploads/2017/04/Plan%20Nacional%20del%20Bambu.pdf>
- Molina Calderón, D. S. y Montealegre Rojas, W, S., (2018). *Cuantificación de biomasa aérea utilizando medidas dasométricas para la guadua (Guadua angustifolia Kunth) en la cuenca hidrográfica del río Guarapas en el municipio de Pitalio Huila, como aporte a la cuantificación de captura de carbono orgánico en guaduales*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]
- <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28636>
- Mónaco, N., Rosa, M. J., Santa, V., Autrán, V. y Heguiabehere, A. (2015). Utilización de estimadores para determinación de Biomasa a campo. *European Scientific Journal*, 11(33).
- Mondragón, F. (2021). Ciclos del dióxido de carbono en la formación y utilización de combustibles fósiles y su efecto en el cambio climático. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(176), 833-849.

- Municipalidad Distrital de Aramango. (2016). Memoria descriptiva: proyecto de creación del servicio de agua potable y saneamiento básico
<https://xdocs.pl/doc/municipalidad-distrital-de-aramango-loyw2jmx0m83>
- Organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2015). Instrumentos Básicos para la fiscalización ambiental. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978.8
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). *El Estado de los Bosques del Mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Roma.
<https://www.fao.org/3/i9535es/i9535es.pdf>
- Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR). (2021). Servicios ambientales
<https://www.osinfor.gob.pe/serviciosambientales/#:~:text=Un%20pago%20por%20servicios%20ambientales,decir%2C%20solo%20si%20se%20asegura>
- Organismo Internacional del Bambú y el Ratán [INBAR]. (2020). El bambú para combatir el cambio climático: 5 maneras de cómo usarlo.
<https://www.inbar.int/es/el-bambu-para-combatir-el-cambio-climatico-5-maneras-de-como-usarlo/>
- Ordoñez Prado, C., Tamarit Uriasll, J. C., Buendía Rodríguez, E. & Orozco Gutiérrez, G. (2022). Estimación e inventario de biomasa y carbono del bambú nativo *Guadua aculeata* Rupr. en Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(47), 1-14.
<https://www.researchgate.net/publication/359122529>
- Ortega F. J. y Villarreal Artunduaga, J. R. (2014). *Caracterización Forestal y Pruductiva de la guadua (Guadua angustifolia Kunth), en los municipios de Saladoblanco y Timana al sur del departamento del Huila*. [Tesis de pregrado, Universidad Abierta y a Distancia]

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/8620/12240404.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Patiño Forero, S., Suárez Santos, L. N., Andrade Castaneda, H. J. y Segura M. (2018). Captura de Carbono en Biomasa en Plantaciones Forestales y Sistemas Agroforestales en Amero-Guayabal, Tolima, Colombia. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 122-133.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2312/2838>

Picard N., Saint-André, L., Henry, M. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción*.
<https://rmportal.net/library/content/manual-ecuaciones-alometricas-volumen-biomasa-arboles/view>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2019). Informe sobre la disparidad en las emisiones del 2019.
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30798/EGR19ESSP.pdf?sequence=17>

Ramírez Apolinario, E. y Pelaez Pelaez, F. (2016). Modelo alométrico para estimar el potencial de captura de carbono en *Polylepis spp* en Poccrac, Ancash. *Revista de Investigaciones de la Universidad le Cordon Bleu*, 5(1), 105-115.
<https://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/view/100/243>

Reátegui Silva, J. (2014). Pueblo indígena y adaptación al cambio climático. En Instituto de Estudios Internacionales (IDEI). *Conferencia sobre el cambio climático (COP 20) Las perspectivas y los temas críticos para el Perú* (pp. 197-217)
<http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/39925>

Resolución ministerial N° 014-2021-MINAM. Lineamientos para el diseño e implementación de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos.

Reyes Flores, F. G, Alonzo Serrano, E. A. y Castro Marín, G. (2021). Manual de fórmulas forestales. Universidad Nacional Agraria.

<https://repositorio.una.edu.ni/4324/1/NK10R457.pdf>

Rodríguez Santos, N. (2013). Guía para la cuantificación de la biomasa y el carbono forestal, generación de modelos y uso de herramientas para su estimación. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.

<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade19e5bcb8e.pdf>

Rügnitz Tito, M., Chacón León, M. y Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales.

<http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>

Saugier, B. y Pontailier, J. (2006). El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano Boliviano. *Ecología en Bolivia*, 41(3), 71-85.

<https://ecologiaenbolivia.com/documents/04CicloGlobal41-3.pdf>

Segura, M. y Andrade, A. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas*, (46), 89- 96.

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2019). informe de inventario nacional forestal y de fauna silvestre del Perú. Lima - Perú.

<https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2020/03/INFORME-DEL-INFFS-PANEL-1.pdf>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2021). Manual de manejo integral del bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) Experiencia en la región Amazonas.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2364306/Manual%20de%20manejo%20integral%20del%20bambu%CC%81%20%28pag%29.pdf.pdf>

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP]. (2021). Preguntas y respuestas sobre bonos de Carbono en ANP. <https://old.sernanp.gob.pe/sernanp/contenido.jsp?ID=2068>

Terán Muenala, C. (2022). Estimación de carbono aéreo en bosques secos de dos parroquias ubicadas en la cuenca media del río Mira. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]

United Nations Climate Change [UNCC]. (2021). Lexique des changements climatiques, acronymes et termes. <https://unfccc.int/fr/processus-et-reunions/la-convention/lexique-des-changements-climatiques-acronymes-et-termes#>

United Nations Environment Programme [UNEP]. (2021). Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On - A Word of climate Promises Not Yet Delivered. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2021>

Zanetti E., Gómez García, J. J., Mostacedo J. y Reyes O. (2017). *Cambio climático y políticas públicas forestales en América Latina*. CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40922/S1601346_es.pdf?sequence=4&isAllowed=y

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1: Panel fotográfico

Figura 4

Toma de puntos de parcelas e inventario



Figura 5

Cosecha de guaduas



Figura 6

Desrame y recojo de hojas



Figura 7

Medicion y pesado de culmos



Figura 8

Pesado de alicuota de culmo, ramas y hojas



Figura 9

Secado de alicuotas de culmo, ramas y hojas en la estufa



Figura 10

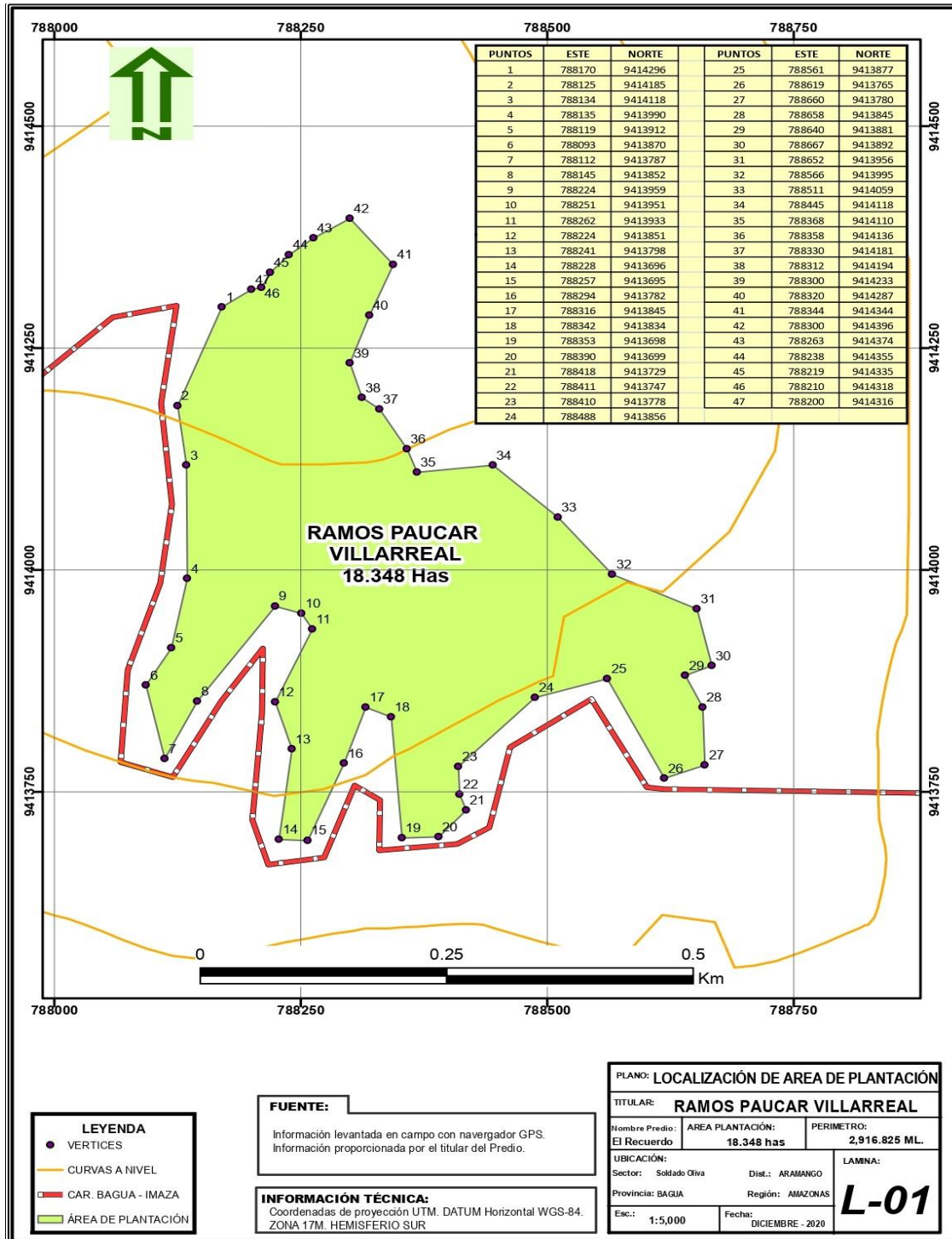
Pesado de alicuotas secas



Anexo 2: plano del predio

Figura 11

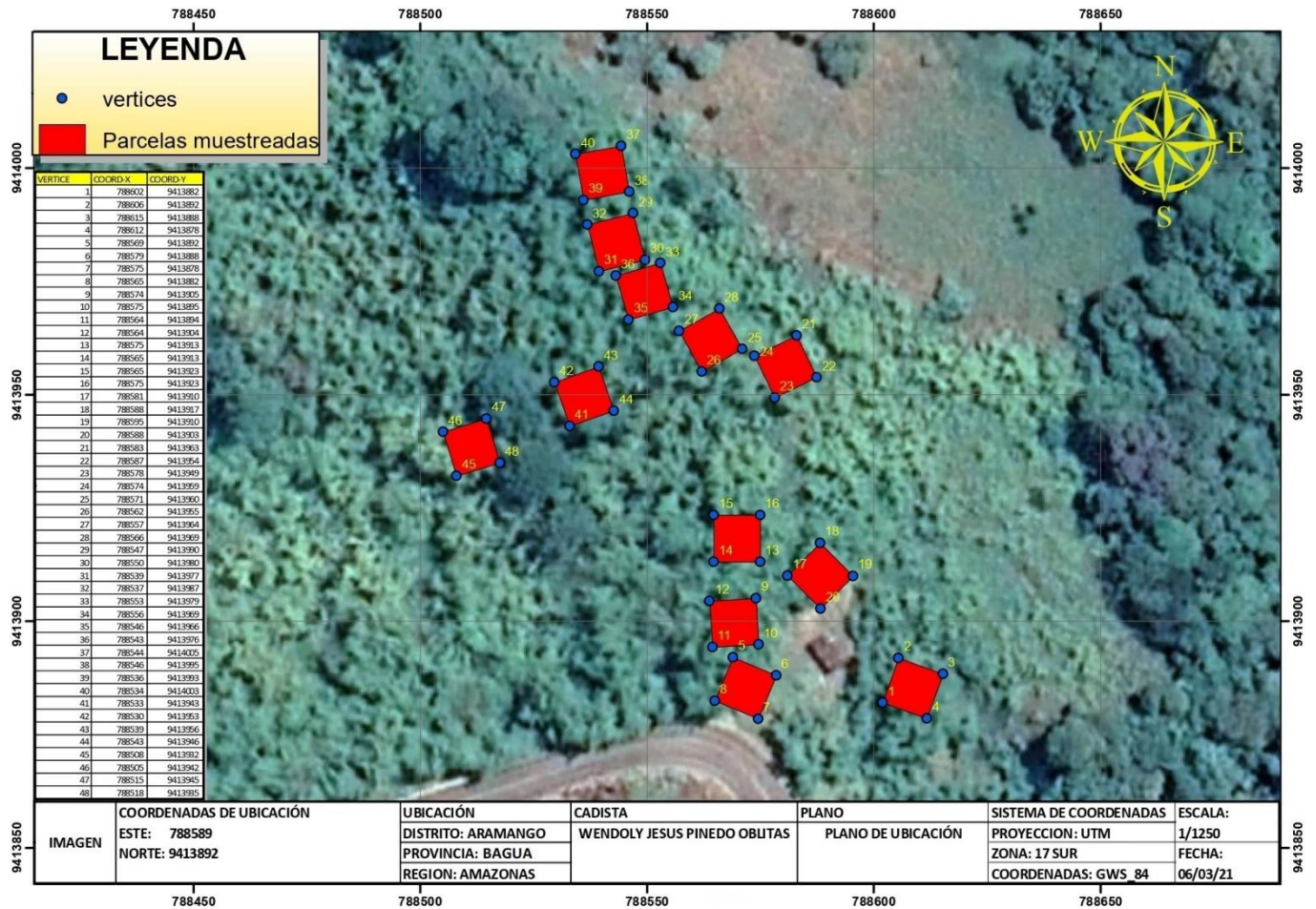
Plano de localización de la plantación



Anexo 3: plano de parcelas

Figura 12

Plano de ubicación de las parcelas muestreadas



Anexo 4: Instrumentos de recolección de datos.

Tabla 8

Inventario muestral de Guadua angustifolia Kunth

parcela	Numero de cañas		
	madura /aprovechable	remanente/verde	total
1	35	29	64
2	19	21	40
3	30	25	55
4	26	22	48
5	35	31	66
6	30	13	43
7	50	23	73
8	23	20	43
9	32	25	57
10	37	24	61
11	23	18	41
12	32	20	52
sumatoria	372	271	643
promedio	31	22.6	53.6

Tabla 9*Resultados del contenido de humedad (CH_{bh}) de las alícuotas*

Parcela /muestra	peso húmedo culmo (g)	peso húmedo ramas y hojas (g)	peso seco culmo (g)	peso seco ramas y hojas (g)	CHbh culmo (%)	CHbh ramas y hojas (%)
1	60	79	29.65	27.21	50.58%	65.55%
2	70	76	28.40	34.82	59.43%	54.18%
3	100	98	49.19	40.71	50.81%	58.46%
4	82	55	34.85	25.47	57.49%	53.69%
5	89	65	40.93	28.18	54.01%	56.64%
6	86	55	27.63	20.81	67.87%	62.17%
7	94	74	36.77	32.14	60.88%	56.57%
8	105	80	35.29	34.25	66.39%	57.18%
9	94	70	33.13	31.14	64.76%	55.52%
10	81	70	22.60	25.13	72.09%	64.10%
11	105	72	37.91	29.37	63.90%	59.21%
12	85	56	38.13	24.34	55.14%	56.54%
PROMEDIO	87.6	70.8	34.5	29.5	60.28%	58.32%
					0.6028	0.5832

Tabla 10*Resultados de la biomasa aérea y CO₂*

N°	Biomasa húmeda aérea	Biomasa Seca Aérea de la Guadua	Peso C (kg)	Peso Del CO ₂ Por Caña (Kg)	Diámetro basal	Altura Total			
De cañas	Peso de culmo (Kg)	Peso de ramas y hoja (Kg)	Peso seco de culmo (Kg) Pcs	Peso seco de ramas y hoja (Kg) Prhs	Biomasa seca aérea (Kg)	(Bsa*0.5)	((Pcs+Prhs)*0.5 *3,67)	cm	m
1	28.37	5.34	11.27	2.23	13.50	6.75	24.76	9.55	11.90
2	31.86	4.09	12.66	1.70	14.36	7.18	26.35	9.87	12.23
3	22.62	5.84	8.99	2.43	11.42	5.71	20.96	9.55	11.97
4	20.83	6.26	8.27	2.61	10.88	5.44	19.97	8.91	11.74
5	18.66	3.57	7.41	1.49	8.90	4.45	16.33	9.23	10.23
6	23.45	5.02	9.31	2.09	11.41	5.70	20.93	9.55	11.98
7	17.13	4.71	6.80	1.96	8.77	4.38	16.09	9.55	11.16
8	21.25	5.56	8.44	2.32	10.76	5.38	19.74	9.23	11.14
9	16.47	2.94	6.54	1.22	7.77	3.88	14.25	7.00	11.92
10	20.17	2.58	8.01	1.08	9.09	4.54	16.67	7.64	11.47
11	27.17	0.50	10.79	0.21	11.00	5.50	20.19	9.55	12.38
12	33.65	6.10	13.36	2.54	15.91	7.95	29.19	10.82	13.80
13	19.29	3.50	7.66	1.46	9.12	4.56	16.74	7.96	11.50
14	36.30	5.21	14.42	2.17	16.59	8.30	30.44	9.55	15.42
15	16.10	2.40	6.40	1.00	7.40	3.70	13.57	5.73	11.80
16	16.57	3.01	6.58	1.25	7.83	3.92	14.38	6.68	11.41
17	24.80	3.86	9.85	1.61	11.46	5.73	21.03	8.91	12.25
18	28.51	4.01	11.32	1.67	13.00	6.50	23.85	9.23	11.53
19	39.21	5.70	15.57	2.38	17.95	8.98	32.94	11.78	14.75
20	18.35	3.20	7.29	1.33	8.62	4.31	15.82	7.64	11.00
21	24.10	3.10	9.57	1.29	10.86	5.43	19.94	8.28	10.50
22	37.70	6.10	14.97	2.54	17.52	8.76	32.14	10.82	13.20
23	17.50	3.25	6.95	1.35	8.31	4.15	15.24	7.64	10.95
24	16.92	3.35	6.72	1.40	8.12	4.06	14.89	7.64	10.40
25	17.79	3.30	7.07	1.38	8.44	4.22	15.49	8.59	10.65
26	32.51	4.40	12.91	1.83	14.75	7.37	27.06	10.19	13.00
27	30.19	4.20	11.99	1.75	13.74	6.87	25.22	9.55	11.18
28	23.65	3.12	9.39	1.30	10.69	5.35	19.62	8.28	11.40
29	18.83	2.90	7.48	1.21	8.69	4.34	15.94	8.28	11.50

30	20.65	3.40	8.20	1.42	9.62	4.81	17.65	9.55	11.20
31	39.30	4.64	15.61	1.93	17.54	8.77	32.19	11.14	12.80
32	26.18	4.20	10.40	1.75	12.15	6.07	22.29	9.55	12.20
33	23.13	5.05	9.19	2.11	11.29	5.65	20.72	9.55	11.82
34	19.41	2.90	7.71	1.21	8.92	4.46	16.36	7.96	10.36
35	18.16	3.50	7.21	1.46	8.67	4.34	15.91	8.59	10.00
36	21.85	5.05	8.68	2.11	10.78	5.39	19.79	9.87	11.00
37	35.35	5.20	14.04	2.17	16.21	8.10	29.74	10.50	13.45
38	37.00	5.05	14.70	2.11	16.80	8.40	30.83	10.50	13.02
39	15.90	3.10	6.32	1.29	7.61	3.80	13.96	9.55	10.13
40	16.16	2.70	6.42	1.13	7.54	3.77	13.84	8.59	10.34
41	18.78	3.40	7.46	1.42	8.88	4.44	16.29	7.96	11.30
42	20.33	4.23	8.08	1.76	9.84	4.92	18.05	8.28	10.20
43	20.45	3.03	8.12	1.26	9.39	4.69	17.22	7.96	11.52
44	12.35	2.96	4.91	1.23	6.14	3.07	11.27	6.68	9.40
45	16.47	2.92	6.54	1.22	7.76	3.88	14.23	7.96	10.33
46	13.00	2.56	5.16	1.07	6.23	3.12	11.43	7.64	9.90
47	17.78	2.68	7.06	1.12	8.18	4.09	15.01	9.23	10.18
48	18.23	4.32	7.24	1.80	9.04	4.52	16.59	8.28	10.10
49	18.27	3.47	7.26	1.45	8.70	4.35	15.97	8.91	10.35
50	13.37	2.40	5.31	1.00	6.31	3.16	11.58	7.64	9.50
51	19.89	2.58	7.90	1.08	8.98	4.49	16.47	9.23	11.20
52	21.36	4.06	8.48	1.69	10.17	5.09	18.67	8.91	11.30
53	14.90	2.50	5.92	1.04	6.96	3.48	12.77	6.37	9.60
54	11.58	2.45	4.60	1.02	5.62	2.81	10.31	6.68	8.50
55	21.07	2.89	8.37	1.20	9.57	4.79	17.57	8.28	11.40
56	19.85	2.90	7.88	1.21	9.09	4.55	16.69	9.23	10.40
57	43.90	7.70	17.44	3.21	20.65	10.32	37.89	12.41	15.47
58	50.99	8.05	20.25	3.36	23.61	11.80	43.32	13.69	16.10
59	43.63	7.05	17.33	2.94	20.27	10.13	37.19	12.10	16.75
60	18.77	3.80	7.46	1.58	9.04	4.52	16.59	8.28	10.75
61	14.41	2.98	5.72	1.24	6.96	3.48	12.78	7.32	10.40
62	15.40	2.87	6.12	1.20	7.31	3.66	13.42	9.23	9.85
63	20.16	2.58	8.01	1.08	9.08	4.54	16.67	7.64	11.40
64	33.65	6.10	13.36	2.54	15.91	7.95	29.19	10.82	13.80
65	19.20	3.50	7.63	1.46	9.09	4.54	16.67	7.96	11.90
66	36.30	5.21	14.42	2.17	16.59	8.30	30.44	9.55	15.42
67	16.84	2.40	6.69	1.00	7.69	3.84	14.11	6.37	11.90
68	16.70	3.01	6.63	1.25	7.89	3.94	14.47	6.68	11.26
69	24.80	3.86	9.85	1.61	11.46	5.73	21.03	8.91	12.25
70	28.60	4.01	11.36	1.67	13.03	6.52	23.91	9.23	11.55
71	39.31	5.70	15.61	2.38	17.99	9.00	33.01	11.78	14.90
72	18.35	3.20	7.29	1.33	8.62	4.31	15.82	7.64	11.00

73	24.10	3.10	9.57	1.29	10.86	5.43	19.94	8.28	10.50
74	37.89	6.10	15.05	2.54	17.59	8.80	32.28	10.82	13.60
75	17.50	3.25	6.95	1.35	8.31	4.15	15.24	7.64	10.95
76	16.95	3.35	6.73	1.40	8.13	4.06	14.92	7.64	10.40
77	17.95	3.30	7.13	1.38	8.51	4.25	15.61	8.59	10.65
78	32.51	4.40	12.91	1.83	14.75	7.37	27.06	10.19	13.00
79	30.19	4.20	11.99	1.75	13.74	6.87	25.22	9.55	11.18
80	23.70	3.12	9.41	1.30	10.71	5.36	19.66	8.28	11.40
81	18.83	2.90	7.48	1.21	8.69	4.34	15.94	8.28	11.50
82	20.65	3.40	8.20	1.42	9.62	4.81	17.65	9.55	11.20
83	39.36	4.64	15.63	1.93	17.57	8.78	32.24	11.14	12.80
84	26.22	4.20	10.41	1.75	12.17	6.08	22.32	9.55	12.20
85	23.13	5.05	9.19	2.11	11.29	5.65	20.72	9.55	11.82
86	19.41	2.90	7.71	1.21	8.92	4.46	16.36	7.96	10.36
87	18.16	3.50	7.21	1.46	8.67	4.34	15.91	8.59	10.00
88	21.85	5.05	8.68	2.11	10.78	5.39	19.79	9.87	11.00
89	35.35	5.20	14.04	2.17	16.21	8.10	29.74	10.50	13.45
90	37.81	5.05	15.02	2.11	17.12	8.56	31.42	10.50	13.75
91	16.33	3.10	6.48	1.29	7.78	3.89	14.27	9.55	10.63
92	16.35	2.70	6.49	1.13	7.62	3.81	13.98	8.59	10.20
93	28.31	5.34	11.24	2.23	13.47	6.74	24.72	9.55	12.90
94	31.86	4.09	12.66	1.70	14.36	7.18	26.35	9.87	12.30
95	22.62	5.84	8.99	2.43	11.42	5.71	20.96	9.55	12.20
96	20.83	6.26	8.27	2.61	10.88	5.44	19.97	8.91	11.92
97	19.36	3.50	7.69	1.46	9.15	4.57	16.79	7.96	11.60
98	36.30	5.21	14.42	2.17	16.59	8.30	30.44	9.55	15.50
99	17.84	2.40	7.09	1.00	8.09	4.04	14.84	5.73	11.80
100	16.57	3.01	6.58	1.25	7.83	3.92	14.38	6.68	11.25

Anexo 5: Representación de las ecuaciones generadas para variable diámetro basal y sus residuos

Figura 13

Ecuación polinómica de grado dos para diámetro

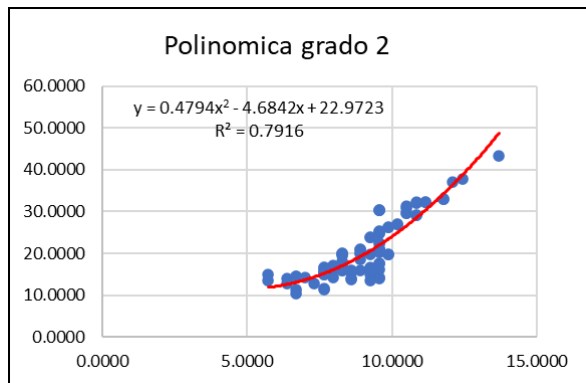


Figura 14

Residuo de la ecuación polinómica de grado 2

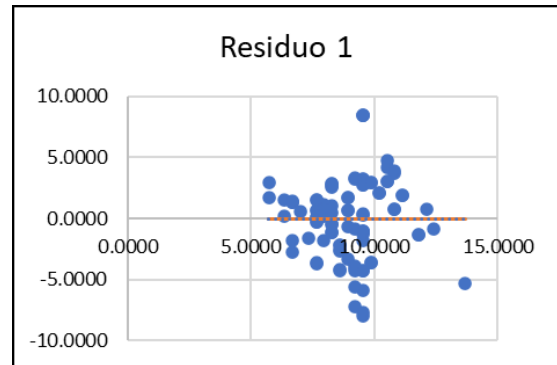


Figura 15

Ecuación polinómica de grado tres para diámetro

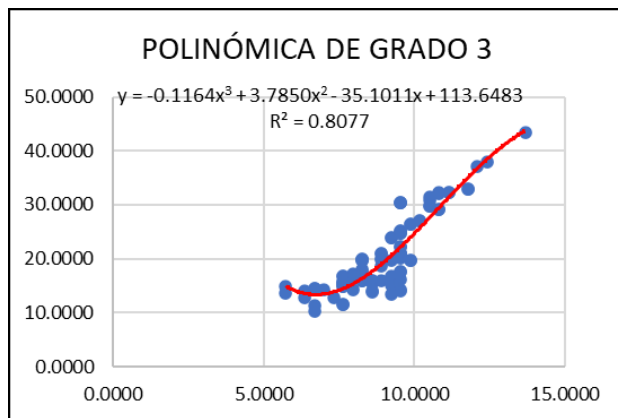


Figura 16

Residuo de la ecuación polinómica de grado 3

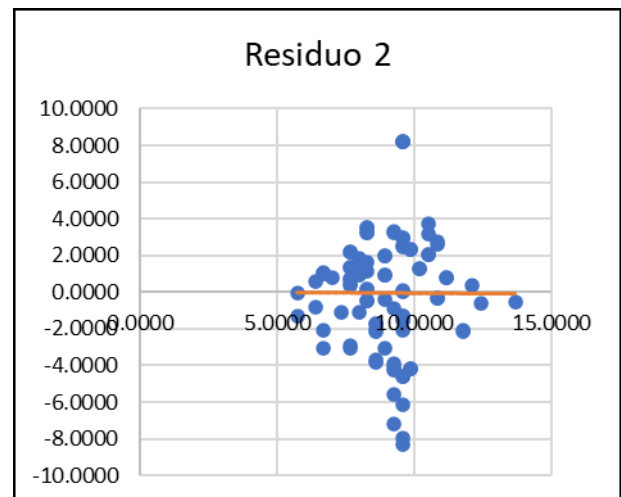


Figura 17

Ecuación lineal para diámetro

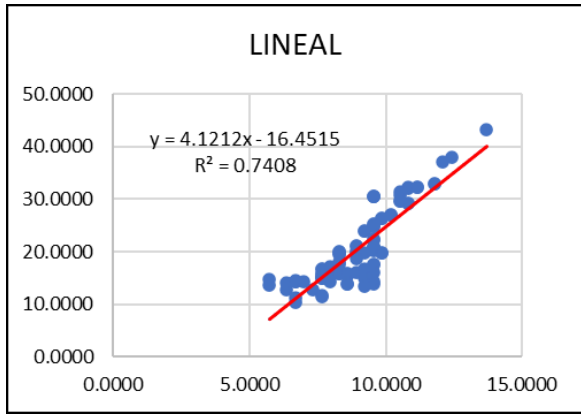


Figura 18

Residuo de la ecuación lineal

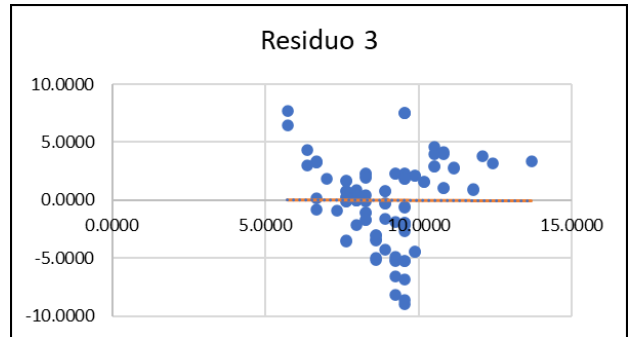


Figura 19

Ecuación potencial para diámetro

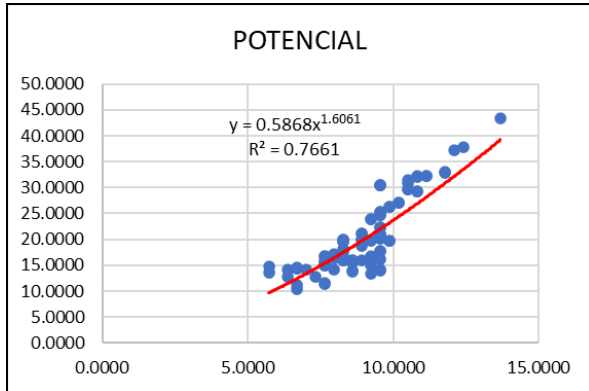


Figura 20

Residuo de la ecuación potencial

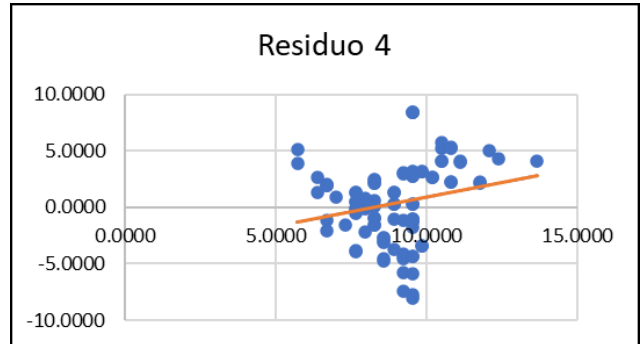


Figura 21

Ecuación exponencial para diámetro

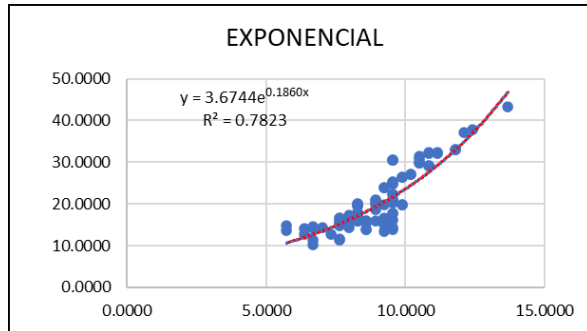
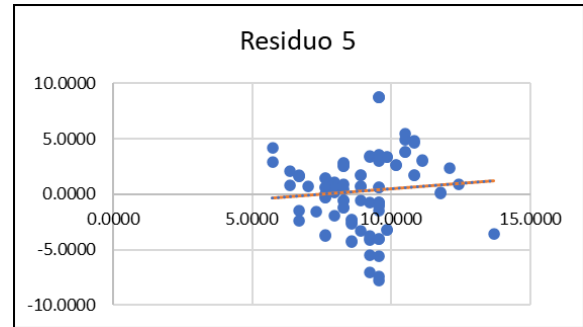


Figura 22

Residuo de la ecuación exponencial



Anexo 6: Representación grafica de ecuaciones generadas para variable altura y sus residuos

Figura 23

Ecuación polinomial de grado dos para altura

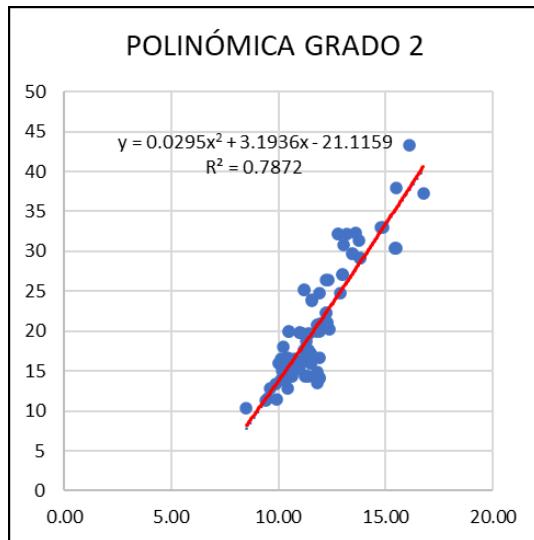


Figura 24

Residuo de la ecuación polinomial de grado 2 para altura

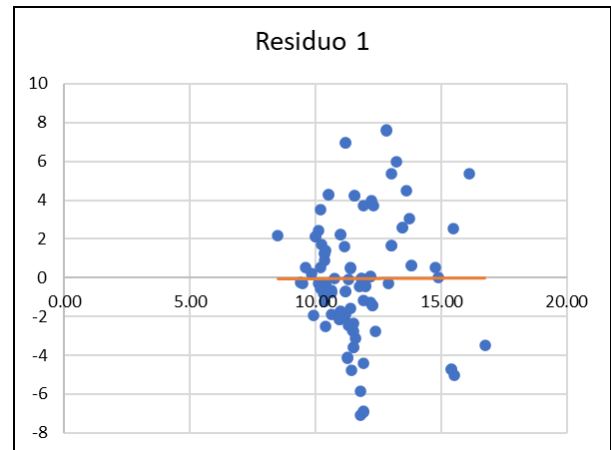


Figura 25

Ecuación polinómica de grado tre para altura

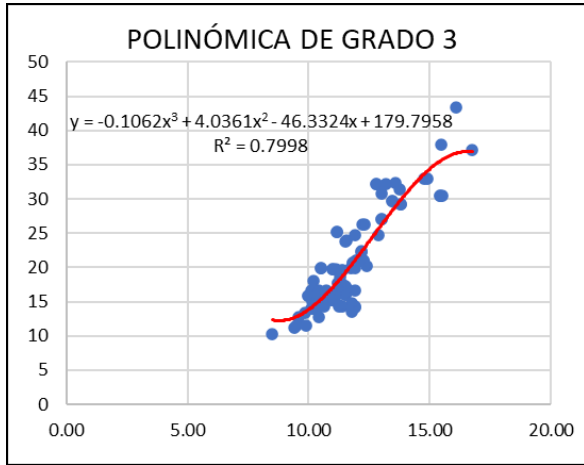


Figura 26

Residuo de la ecuación polinómica de grado 3 para altura

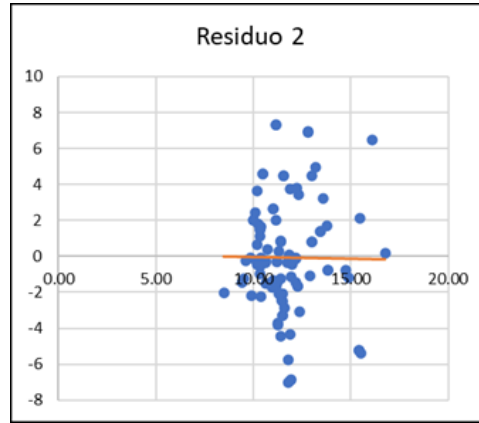


Figura 27

Ecuación lineal para altura

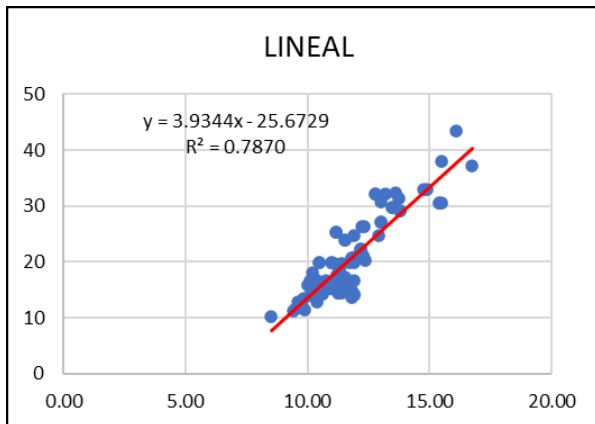


Figura 28

Residuo de ecuación lineal para altura

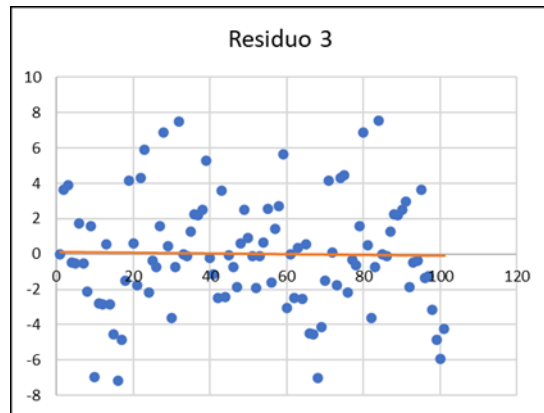


Figura 29

Ecuación potencial para altura

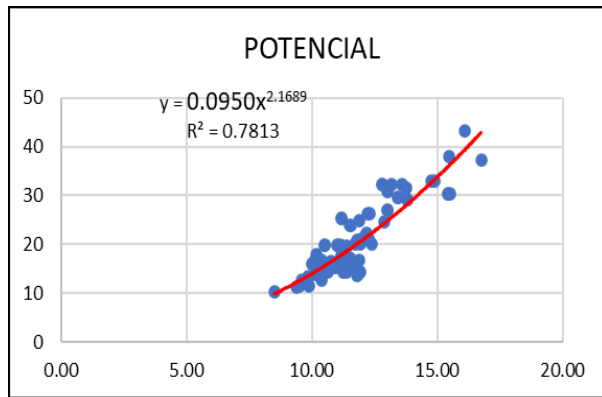


Figura 30

Residuo de la ecuación potencial para altura

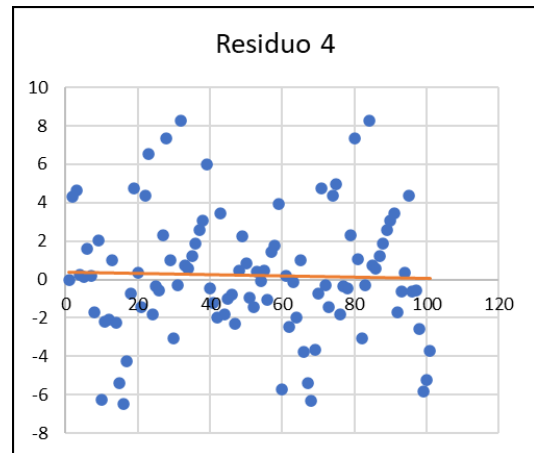


Figura 31

Ecuación exponencial para altura

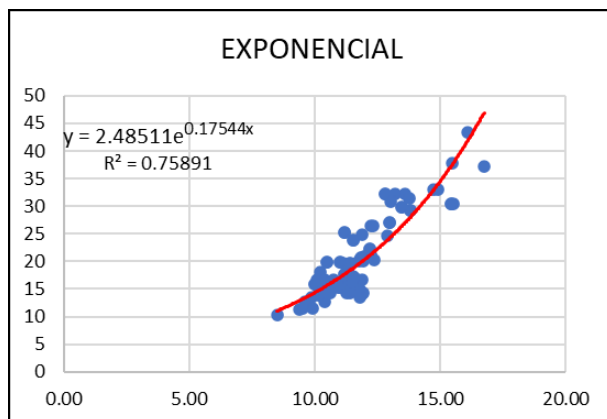
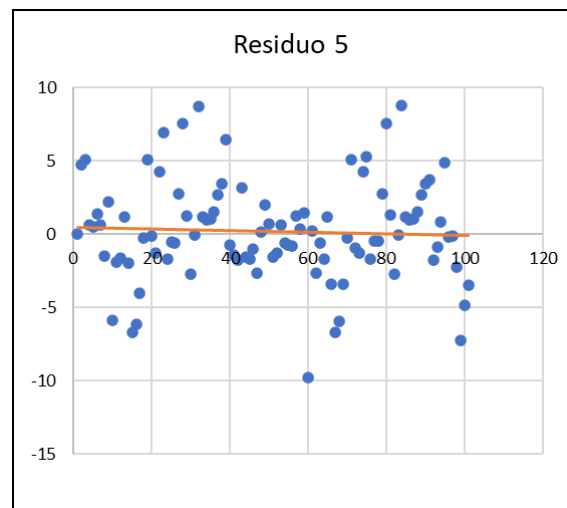


Figura 32

Residuo de la ecuación exponencial para altura



Anexo 7: Resultado del cálculo de las ecuaciones

Tabla 11

Resultado de CO₂ con la aplicación de las ecuaciones alométricas desarrolladas

Nº	Diámetro basal (cm)	Altura (m)	CO ₂ calculo real (kg)	Resultados de las ecuaciones con variable Altura (kg/caña)					Resultados de las ecuaciones con variable Diámetro (kg/caña)				
				Polinómica grado 3	Polinómica grado 3	Lineal	Potencial	Exponencial	Polinómica grado 3	Polinómica grado 3	Lineal	Potencial	Exponencial
1	9.55	11.90	24.76	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	21.07	21.03	21.15	20.44	20.05
2	9.87	12.23	26.35	23.43	23.99	24.21	23.19	23.03	22.35	22.57	22.44	21.69	21.24
3	9.55	11.97	20.96	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	21.34	21.35	21.42	20.70	20.29
4	8.91	11.74	19.97	19.31	19.06	20.28	19.69	19.28	20.44	20.30	20.52	19.85	19.49
5	9.23	10.23	16.33	20.58	20.60	21.59	20.83	20.46	14.64	14.51	14.58	14.72	14.96
6	9.55	11.98	20.93	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	21.38	21.40	21.46	20.74	20.33
7	9.55	11.16	16.09	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	18.20	17.79	18.24	17.78	17.61
8	9.23	11.14	19.74	20.58	20.60	21.59	20.83	20.46	18.12	17.71	18.16	17.71	17.54
9	7.00	11.92	14.25	13.68	13.48	12.41	13.37	13.52	21.14	21.12	21.23	20.51	20.12
10	7.64	11.47	16.67	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	19.40	19.10	19.45	18.87	18.59
11	9.55	12.38	20.19	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	22.94	23.29	23.03	22.27	21.81
12	10.82	13.80	29.19	28.43	29.54	28.15	26.90	27.51	28.57	29.94	28.62	28.18	27.98
13	7.96	11.50	16.74	16.06	15.35	16.34	16.42	16.14	19.51	19.23	19.57	18.98	18.69
14	9.55	15.42	30.44	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	35.14	35.66	35.00	35.86	37.17
15	5.73	11.80	13.57	11.87	14.89	7.16	9.69	10.67	20.68	20.57	20.75	20.07	19.70
16	6.68	11.41	14.38	13.08	13.37	11.10	12.41	12.74	19.16	18.84	19.22	18.66	18.40
17	8.91	12.25	21.03	19.31	19.06	20.28	19.69	19.28	22.43	22.67	22.52	21.77	21.32
18	9.23	11.53	23.85	20.58	20.60	21.59	20.83	20.46	19.63	19.36	19.69	19.09	18.79
19	11.78	14.75	32.94	34.30	35.10	32.09	30.81	32.85	32.41	33.70	32.36	32.56	33.05
20	7.64	11.00	15.82	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	17.58	17.16	17.61	17.23	17.12
21	8.28	10.50	19.94	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	15.67	15.35	15.64	15.58	15.68
22	10.82	13.20	32.14	28.43	29.54	28.15	26.90	27.51	26.18	27.20	26.26	25.59	25.18
23	7.64	10.95	15.24	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	17.39	16.96	17.41	17.07	16.97
24	7.64	10.40	14.89	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	15.29	15.02	15.24	15.26	15.41
25	8.59	10.65	15.49	18.13	17.66	18.97	18.58	18.17	16.24	15.86	16.23	16.07	16.10
26	10.19	13.00	27.06	25.00	25.80	25.53	24.40	24.43	25.39	26.25	25.47	24.76	24.31
27	9.55	11.18	25.22	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	18.28	17.88	18.31	17.85	17.67
28	8.28	11.40	19.62	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	19.12	18.80	19.18	18.62	18.36
29	8.28	11.50	15.94	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	19.51	19.23	19.57	18.98	18.69
30	9.55	11.20	17.65	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	18.35	17.96	18.39	17.92	17.73
31	11.14	12.80	32.19	30.29	31.42	29.46	28.18	29.18	24.60	25.30	24.69	23.94	23.48
32	9.55	12.20	22.29	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	22.24	22.43	22.33	21.57	21.13
33	9.55	11.82	20.72	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	20.75	20.66	20.83	20.14	19.77

34	7.96	10.36	16.36	16.06	15.35	16.34	16.42	16.14	15.14	14.90	15.09	15.13	15.30
35	8.59	10.00	15.91	18.13	17.66	18.97	18.58	18.17	13.77	13.88	13.67	14.02	14.36
36	9.87	11.00	19.79	23.43	23.99	24.21	23.19	23.03	17.58	17.16	17.61	17.23	17.12
37	10.50	13.45	29.74	26.67	27.66	26.84	25.64	25.92	27.17	28.37	27.24	26.66	26.31
38	10.50	13.02	30.83	26.67	27.66	26.84	25.64	25.92	25.47	26.35	25.55	24.84	24.40
39	9.55	10.13	13.96	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	14.26	14.22	14.18	14.41	14.70
40	8.59	10.34	13.84	18.13	17.66	18.97	18.58	18.17	15.06	14.84	15.01	15.07	15.25
41	7.96	11.30	16.29	16.06	15.35	16.34	16.42	16.14	18.74	18.37	18.79	18.27	18.04
42	8.28	10.20	18.05	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	14.53	14.42	14.46	14.63	14.88
43	7.96	11.52	17.22	16.06	15.35	16.34	16.42	16.14	19.59	19.32	19.65	19.05	18.75
44	6.68	9.40	11.27	13.08	13.37	11.10	12.41	12.74	11.51	12.69	11.31	12.26	12.93
45	7.96	10.33	14.23	16.06	15.35	16.34	16.42	16.14	15.02	14.81	14.97	15.04	15.22
46	7.64	9.90	11.43	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	13.39	13.64	13.28	13.71	14.11
47	9.23	10.18	15.01	20.58	20.60	21.59	20.83	20.46	14.45	14.36	14.38	14.57	14.82
48	8.28	10.10	16.59	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	14.15	14.14	14.06	14.32	14.62
49	8.91	10.35	15.97	19.31	19.06	20.28	19.69	19.28	15.10	14.87	15.05	15.10	15.27
50	7.64	9.50	11.58	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	11.89	12.84	11.70	12.54	13.16
51	9.23	11.20	16.47	20.58	20.60	21.59	20.83	20.46	18.35	17.96	18.39	17.92	17.73
52	8.91	11.30	18.67	19.31	19.06	20.28	19.69	19.28	18.74	18.37	18.79	18.27	18.04
53	6.37	9.60	12.77	12.58	13.56	9.78	11.47	12.01	12.26	13.01	12.10	12.83	13.39
54	6.68	8.50	10.31	13.08	13.37	11.10	12.41	12.74	8.16	12.36	7.77	9.85	11.04
55	8.28	11.40	17.57	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	19.12	18.80	19.18	18.62	18.36
56	9.23	10.40	16.69	20.58	20.60	21.59	20.83	20.46	15.29	15.02	15.24	15.26	15.41
57	12.41	15.47	37.89	38.70	38.52	34.71	33.53	36.98	35.35	35.77	35.19	36.11	37.50
58	13.69	16.10	43.32	48.67	43.83	39.96	39.22	46.86	37.95	36.84	37.67	39.37	41.88
59	12.10	16.75	37.19	36.45	36.85	33.40	32.16	34.86	40.65	37.03	40.23	42.90	46.94
60	8.28	10.75	16.59	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	16.62	16.21	16.62	16.40	16.38
61	7.32	10.40	12.78	14.37	13.86	13.72	14.36	14.34	15.29	15.02	15.24	15.26	15.41
62	9.23	9.85	13.42	20.58	20.60	21.59	20.83	20.46	13.20	13.52	13.08	13.56	13.99
63	7.64	11.40	16.67	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	19.12	18.80	19.18	18.62	18.36
64	10.82	13.80	29.19	28.43	29.54	28.15	26.90	27.51	28.57	29.94	28.62	28.18	27.98
65	7.96	11.90	16.67	16.06	15.35	16.34	16.42	16.14	21.07	21.03	21.15	20.44	20.05
66	9.55	15.42	30.44	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	35.14	35.66	35.00	35.86	37.17
67	6.37	11.90	14.11	12.58	13.56	9.78	11.47	12.01	21.07	21.03	21.15	20.44	20.05
68	6.68	11.26	14.47	13.08	13.37	11.10	12.41	12.74	18.58	18.21	18.63	18.13	17.92
69	8.91	12.25	21.03	19.31	19.06	20.28	19.69	19.28	22.43	22.67	22.52	21.77	21.32
70	9.23	11.55	23.91	20.58	20.60	21.59	20.83	20.46	19.71	19.45	19.77	19.16	18.85
71	11.78	14.90	33.01	34.30	35.10	32.09	30.81	32.85	33.02	34.19	32.95	33.28	33.93
72	7.64	11.00	15.82	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	17.58	17.16	17.61	17.23	17.12
73	8.28	10.50	19.94	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	15.67	15.35	15.64	15.58	15.68
74	10.82	13.60	32.28	28.43	29.54	28.15	26.90	27.51	27.77	29.05	27.83	27.31	27.01
75	7.64	10.95	15.24	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	17.39	16.96	17.41	17.07	16.97

76	7.64	10.40	14.92	15.17	14.50	15.03	15.37	15.22	15.29	15.02	15.24	15.26	15.41
77	8.59	10.65	15.61	18.13	17.66	18.97	18.58	18.17	16.24	15.86	16.23	16.07	16.10
78	10.19	13.00	27.06	25.00	25.80	25.53	24.40	24.43	25.39	26.25	25.47	24.76	24.31
79	9.55	11.18	25.22	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	18.28	17.88	18.31	17.85	17.67
80	8.28	11.40	19.66	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	19.12	18.80	19.18	18.62	18.36
81	8.28	11.50	15.94	17.04	16.41	17.66	17.48	17.13	19.51	19.23	19.57	18.98	18.69
82	9.55	11.20	17.65	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	18.35	17.96	18.39	17.92	17.73
83	11.14	12.80	32.24	30.29	31.42	29.46	28.18	29.18	24.60	25.30	24.69	23.94	23.48
84	9.55	12.20	22.32	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	22.24	22.43	22.33	21.57	21.13
85	9.55	11.82	20.72	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	20.75	20.66	20.83	20.14	19.77
86	7.96	10.36	16.36	16.06	15.35	16.34	16.42	16.14	15.14	14.90	15.09	15.13	15.30
87	8.59	10.00	15.91	18.13	17.66	18.97	18.58	18.17	13.77	13.88	13.67	14.02	14.36
88	9.87	11.00	19.79	23.43	23.99	24.21	23.19	23.03	17.58	17.16	17.61	17.23	17.12
89	10.50	13.45	29.74	26.67	27.66	26.84	25.64	25.92	27.17	28.37	27.24	26.66	26.31
90	10.50	13.75	31.42	26.67	27.66	26.84	25.64	25.92	28.37	29.72	28.43	27.96	27.73
91	9.55	10.63	14.27	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	16.17	15.79	16.15	16.00	16.04
92	8.59	10.20	13.98	18.13	17.66	18.97	18.58	18.17	14.53	14.42	14.46	14.63	14.88
93	9.55	12.90	24.72	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	24.99	25.78	25.08	24.35	23.89
94	9.87	12.30	26.35	23.43	23.99	24.21	23.19	23.03	22.63	22.90	22.72	21.96	21.50
95	9.55	12.20	20.96	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	22.24	22.43	22.33	21.57	21.13
96	8.91	11.92	19.97	19.31	19.06	20.28	19.69	19.28	21.14	21.12	21.23	20.51	20.12
97	7.96	11.60	16.79	16.06	15.35	16.34	16.42	16.14	19.90	19.67	19.97	19.34	19.02
98	9.55	15.50	30.44	21.96	22.25	22.90	22.00	21.71	35.47	35.84	35.31	36.26	37.70
99	5.73	11.80	14.84	11.87	14.89	7.16	9.69	10.67	20.68	20.57	20.75	20.07	19.70
100	6.68	11.25	14.38	13.08	13.37	11.10	12.41	12.74	18.55	18.16	18.59	18.10	17.89