

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental



**TESIS**

**ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN EL  
HUARANGO (*Acacia macracantha*), EN EL DISTRITO DE  
CELENDÍN.**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Presentado por:**

**Bachiller:**

Segundo Evelio Acosta Marín.

**Asesor:**

Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori.

**Cajamarca – Perú**

**2021**





## UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962

"Norte de la Universidad Peruana"

### FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

-----000-----

### ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los **veintitrés** días del mes de julio del año dos mil veintiuno, se reunieron en la Plataforma Virtual de la Universidad Nacional de Cajamarca, a través del Google Meet, los miembros del Jurado, designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 177-2021-FCA-UNC, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN EL HUARANGO (*Acacia macracantha*) EN EL DISTRITO DE CELENDÍN**", ejecutado(a) por el Bachiller en Ciencias Ambientales, don SEGUNDO EVELIO ACOSTA MARIN para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las *dieciocho (18)* horas y *cinco (05)* minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la *aprobación por unanimidad* con el calificativo de *DIECISEIS (16)*; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites y se le otorgue el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

A las *diecinueve (19)* horas y *cuarenta (40)* minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Ing. M. Sc. José Ramiro Díaz Cumpén  
PRESIDENTE

Ing. Nehemías Sangay Martos  
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Darywin Díaz Mori  
VOCAL

## **DEDICATORIA**

A mis padres por haberme dado la vida, el amor, el cariño, la formación básica, espiritual y material durante mi formación profesional.

A todos mis compañeros, amigos y conocidos con quienes tuve el gusto de compartir gratos momentos dentro y fuera de aulas.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco a Dios por la vida y la salud, por darme la fortaleza y sabiduría para afrontar nuevos retos.

A mis padres Manuel V. Acosta Silva y María F. Marín Chávez por su incondicional apoyo durante mi formación profesional y en la ejecución del presente trabajo; asimismo, a mis hermanos Florentina, Clodomiro, Alfredo y José, por la motivación y el apoyo para lograr mis metas trazadas.

Al Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori por su tiempo dedicado como asesor y por su aporte constructivo en el presente trabajo.

A todos los docentes de mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca – Filial Celendín, por haberme brindado los conocimientos para desempeñarme como profesional.

A los señores representantes de las comunidades campesinas de Chuclalas, La Represa, La Llave y Llanguat por permitirme realizar el presente trabajo en las áreas geográficas de su propiedad.

A todos mis amigos y conocidos que generosamente me apoyaron en las diferentes etapas de la ejecución del presente trabajo.

## CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>CONTENIDO.....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiv</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>5</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes .....	5
2.2. Bases teóricas .....	9
2.2.1. Cambio climático.....	9
2.2.2. Bosque.....	10
2.2.3. Bosque tropical estacionalmente seco (BTES).....	13

2.2.4.	Efecto invernadero .....	14
2.2.5.	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	16
2.2.6.	Carbono.....	17
2.2.7.	El carbono en ecosistemas forestales .....	18
2.2.8.	El ciclo del carbono .....	19
2.2.9.	Captura de carbono .....	20
2.2.10.	Proceso de captura de carbono.....	21
2.2.11.	Clases diamétricas.....	22
2.2.12.	Ecuaciones alométricas .....	22
2.2.13.	Fotosíntesis y respiración.....	25
2.2.13.1.	Fotosíntesis .....	25
2.2.13.2.	Respiración .....	26
2.2.14.	Biomasa vegetal .....	27
2.2.15.	Métodos para estimar biomasa vegetal .....	28
2.2.15.1.	Método directo o destructivo.....	28
2.2.15.2.	Método indirecto.....	29
2.2.16.	Biomasa aérea .....	29
2.2.17.	Biomasa subterránea .....	29
2.2.18.	Stock y flujo de carbono .....	30
2.2.18.1.	Stock de carbono .....	30
2.2.18.2.	Flujo de carbono .....	31

2.2.19.	Sumidero y fuente de carbono .....	33
2.2.19.1.	Sumidero de carbono .....	33
2.2.19.2.	Fuente de carbono.....	33
2.2.20.	Relación biomasa, carbono y dióxido de carbono .....	34
2.2.21.	<i>Acacia macracantha</i> Willd. ....	34
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>36</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>36</b>
3.1.	Ubicación geográfica de la investigación.....	36
3.2.	Tipo de investigación .....	38
3.3.	Población y muestra .....	38
3.4.	Operacionalización de variables.....	38
3.5.	Materiales .....	40
3.5.1.	Material biológico.....	40
3.5.2.	Materiales.....	40
3.5.3.	Equipos .....	41
3.6.	Metodología .....	41
3.6.1.	Trabajo de campo.....	41
3.6.1.1.	Selección de los árboles.....	42
3.6.1.2.	Medición de variables.....	43
3.6.1.3.	Corte de individuos y separación de componentes.....	47
3.6.1.4.	Pesaje de componentes .....	47



3.6.2.	Trabajo de laboratorio.....	47
3.6.3.	Trabajo de gabinete.....	47
3.6.3.1.	Determinación de la biomasa seca y porcentaje de humedad .....	48
3.6.3.2.	Generación de ecuaciones alométricas .....	49
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>50</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>50</b>
4.1.	CARACTERÍSTICAS ALOMÉTRICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO .....	50
4.1.1.	Densidad poblacional y clases diamétricas.....	50
4.1.2.	Variables dasométricas de los árboles seleccionados .....	53
4.2.	ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA BIOMASA Y CARBONO .....	55
4.2.1.	Biomasa de los componentes de los 12 árboles seleccionados.....	55
4.2.2.	Obtención de muestras para análisis en laboratorio.....	56
4.2.3.	Resultados de laboratorio.....	58
4.2.4.	Datos para la generación de ecuaciones alométricas .....	61
4.3.	CARBONO ALMACENADO EN LA ESPECIE .....	65
4.3.1.	Relación biomasa, carbono y dióxido de carbono .....	65
<b>CAPITULO V .....</b>		<b>68</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>68</b>
5.1.	Conclusiones .....	68
5.2.	Recomendaciones.....	70
<b>CAPITULO VI.....</b>		<b>71</b>

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPITULO VII .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>82</b>
7.1. Datos de ubicación de parcelas .....	82
7.2. Registro del número de árboles por parcela .....	85
7.3. Biomasa y carbono total.....	93
7.4. Panel fotográfico .....	94
7.5. Constancias de identificación de muestras botánicas.....	100
7.6. Resultados de laboratorio .....	101
7.7. Formato de registro de datos de campo.....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Fuentes generadoras de los principales gases de efecto invernadero (GEI). .....	15
<b>Tabla 2:</b> Distribución estimada de los depósitos mundiales de carbono. ....	17
<b>Tabla 3:</b> Consideraciones a tener en cuenta para la elaboración de ecuaciones alométricas. ....	24
<b>Tabla 4:</b> Modelos matemáticos para la estimación de biomasa de raíces. ....	30
<b>Tabla 5:</b> Coordenadas de ubicación de las comunidades donde se instaló las parcelas.....	36
<b>Tabla 6:</b> Operacionalización de variables. ....	39
<b>Tabla 7:</b> Densidad poblacional por parcela. ....	50
<b>Tabla 8:</b> Registro de clases diamétricas. ....	52
<b>Tabla 9:</b> Árboles seleccionados y sus variables dasométricas. ....	54
<b>Tabla 10:</b> Peso fresco obtenido de cada componente por árbol cortado. ....	55
<b>Tabla 11:</b> Peso fresco de muestras por componente de cada árbol. ....	57
<b>Tabla 12:</b> Peso seco y % de carbono presente en el componente fuste.....	58
<b>Tabla 13:</b> Peso seco y % de carbono presente en el componente ramas. ....	59
<b>Tabla 14:</b> Peso seco y % de carbono presente en el componente hojas.....	60
<b>Tabla 15:</b> Datos para la generación de ecuaciones alométricas. ....	62
<b>Tabla 16:</b> Biomasa y carbono por parcela y total.....	66
<b>Tabla 17:</b> Coordenadas de ubicación y altitud de la parcela 01. ....	82
<b>Tabla 18:</b> Coordenadas de ubicación y altitud de la parcela 02. ....	83
<b>Tabla 19:</b> Coordenadas de ubicación y altitud de la parcela 03. ....	83
<b>Tabla 20:</b> Coordenadas de ubicación y altitud de la parcela 04. ....	84
<b>Tabla 21:</b> Árboles de la parcela 01. ....	85

<b>Tabla 22:</b> Árboles de la parcela 02.....	87
<b>Tabla 23:</b> Árboles de la parcela 03.....	89
<b>Tabla 24:</b> Árboles de la parcela 04.....	91
<b>Tabla 25:</b> Resultados para biomasa y carbono total.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Proceso de fotosíntesis y respiración. ....	25
<b>Figura 2:</b> Diagrama simplificado de los flujos(f) y almacenes(a) de carbono en un ecosistema forestal. ....	32
<b>Figura 3:</b> Ubicación de parcelas. ....	37
<b>Figura 4:</b> Procedimiento del trabajo de campo y gabinete para la obtención de datos. ....	42
<b>Figura 5:</b> Casos particulares que se presentan en la medición del DAP. ....	44
<b>Figura 6:</b> Casos particulares que se presentan en la medición de la altura. ....	46
<b>Figura 7:</b> Densidad de la especie por parcela. ....	51
<b>Figura 8:</b> Árboles existentes por clase diamétrica. ....	52
<b>Figura 9:</b> % de biomasa por componente. ....	56
<b>Figura 10:</b> Porcentaje de carbono por componente. ....	61
<b>Figura 11:</b> Gráfica biomasa vs DAP. ....	63
<b>Figura 12:</b> Grafica contenido de carbono vs DAP. ....	64

## ÍNDICE DE FOTOS

<b>Foto 1:</b> Determinación de la orientación de la parcela.....	94
<b>Foto 2:</b> Medición de coordenadas (centro y vértices) de la parcela. ....	94
<b>Foto 3:</b> Identificación, medición y registro del DAP .....	95
<b>Foto 4:</b> Medición para ubicación de los vértices de la parcela.....	95
<b>Foto 5:</b> Recolección y preparación de muestras botánicas para su identificación. ....	96
<b>Foto 6:</b> Medición de la altura.....	97
<b>Foto 7:</b> Corte, separación y pesado de componentes.....	98
<b>Foto 8:</b> Toma de muestras (fuste, ramas y hojas) para análisis. ....	99
<b>Foto 9:</b> Preparación de las muestras para envío a laboratorio. ....	99

## RESUMEN

El principal objetivo de la investigación fue estimar el contenido de carbono almacenado en la especie *Acacia macracantha* Willd (Huarango), en el distrito de Celendín, delimitando 4 parcelas de 20 m por 20 m en las comunidades de Llanguat, La Llave, La Represa y Chuclalas considerando una parcela en cada comunidad, así mismo se trabajó con 3 árboles en cada parcela, siendo en total 12 árboles de esta especie; además se aplicó el método directo el cual implica cortar árboles a nivel del suelo de un total de 140 árboles existentes dentro de las parcelas delimitadas y con una densidad poblacional de 875 árboles/hectárea, estos fueron separados en sus componentes fuste, ramas y hojas, donde solo se ha considerado árbol en pie dejando de lado el contenido de carbono de la hojarasca, así mismo se recolectó muestras de cada componente para ser analizadas en laboratorio los parámetros de peso seco y carbono, registrando un peso seco de 278.46 kg para los 12 árboles, un porcentaje de humedad de 47.06% y un 52.87% de carbono.

En la determinación de ecuaciones alométricas de biomasa y carbono, se utilizaron el DAP, la biomasa seca y el contenido de carbono, de esta forma los modelos que más se ajustaron quedan registrados como la ecuación  $B = 0.218DAP^{2.396}$ , con un  $R^2 = 0.9677$  para la biomasa y la ecuación  $CC = 0.1158DAP^{2.3935}$ , con un  $R^2 = 0.9712$  para carbono respectivamente; así mismo de los 140 árboles registrados en las 4 parcelas se obtuvo 3.87 toneladas de biomasa seca de *Acacia macracantha* Willd siendo equivalente a 2.05 toneladas de carbono y 7.51 toneladas de CO<sub>2</sub> en un área de 1600 m<sup>2</sup>, además para una hectárea se obtuvo 12.81 toneladas de carbono, equivalente a 46.94 toneladas de CO<sub>2</sub>.

## ABSTRACT

The main objective of the research was to estimate the content of carbon stored in the species *Acacia macracantha* Willd (Huarango), in the district of Celendín, delimiting 4 plots of 20 m by 20 m in the communities of Lllanguat, La Llave, La Represa and Chuclalas considering a plot in each community, likewise we worked with 3 trees in each plot, with a total of 12 trees of this species; In addition, the direct method was applied which involves cutting trees at ground level from a total of 140 existing trees within the delimited plots and with a population density of 875 trees/hectare, these were separated into their stem, branches and leaves components, where Only a standing tree has been considered, leaving aside the carbon content of the litter, likewise samples of each component were collected to be analyzed in the laboratory for the dry weight and carbon parameters, registering a dry weight of 278.46 kg for the 12 trees , a humidity percentage of 47.06% and a 52.87% carbon.

In the determination of allometric equations for biomass and carbon, the DAP, dry biomass and carbon content were used, in this way the models that fit the most are recorded as the equation  $B = 0.218DAP^{2.396}$ , with an  $R^2 = 0.9677$  for biomass and the equation  $CC = 0.1158DAP^{2.3935}$ , with an  $R^2 = 0.9712$  for carbon respectively. 9712 for carbon respectively; likewise, of the 140 trees registered in the 4 plots, 3.87 tons of dry biomass of *Acacia macracantha* Willd were obtained, equivalent to 2.05 tons of carbon and 7.51 tons of CO<sub>2</sub> in an area of 1600 m<sup>2</sup>, and for one hectare, 12.79 tons of carbon were obtained, equivalent to 46.94 tons of CO<sub>2</sub>.



## GLOSARIO

**BIOMASA:** Cantidad de materia orgánica de una especie o de todas las especies presentes en un área definida, generalmente es expresada como peso seco por área, por encima y por debajo del suelo.

**BOSQUE:** Ecosistemas arbóreos complejos que integran factores biológicos y bioclimáticos permitiendo el desarrollo de numerosas formas de vida.

**BOSQUE SECO:** Definidos como una formación vegetal donde la precipitación es menor a 1600 mm/año, con al menos de 5 a 6 meses recibiendo menos de 100 mm de precipitación.

**CARBONO:** “Elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmosfera, el suelo y el subsuelo” (Rügnitz *et al.* 2009:1).

**CCT:** Contenido de carbono total.

**DAP:** Diámetro a la altura del pecho, diámetro en el punto del tronco de un árbol, 1.30 m sobre el suelo.

**DC:** Diámetro de copa.

**ECUACIONES MATEMÁTICAS:** “Relacionan la biomasa con variables del árbol medibles en pie, tales como el DAP, altura total y diámetro de copa, principalmente” (Salas 2018:9).

**FLUJOS DE CARBONO:** son aquellos procesos que afectan el stock de carbono.

**FUSTE:** Tronco de un árbol.

**R<sup>2</sup>:** Coeficiente de correlación.

**STOCK DE CARBONO:** cantidad de carbono que se encuentra almacenado en los diferentes componentes de un bosque.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

El aumento constante de las concentraciones de gases de efecto invernadero ha acarreado graves consecuencias en el desarrollo de la vida en el planeta, frente a ello es necesario la implementación de acciones mitigables, la búsqueda de fuentes de energía que generen menos gases de efecto invernadero; almacenar o secuestrar el CO<sub>2</sub> de tal forma que se logre niveles aceptables en la atmosfera, en tal sentido Yaranga y Custodio (2013:314), mencionan que “la fijación de carbono, es un servicio ecosistémico que cumple funciones importantes para el bienestar humano, basandose en el proceso de transformación del carbono atmosférico a carbono orgánico, siendo este almacenado en el suelo y en los sistemas vegetales”.

Esta investigación se desarrolló teniendo en cuenta la falta de información referente a la importancia, la protección y a la cantidad de carbono que almacena la especie *Acacia macracantha* Willd, la cual es una de las especies representativas de ecosistemas de bosques estacionalmente secos, siendo deforestada en su gran mayoría para la obtención de leña.

Los bosques así como son grandes almacenes de carbono también son grandes fuentes de carbono, ya que al ser perturbados, sea por fenómenos naturales o antropogénicos; se convierten en fuentes de carbono, tal es el caso de los incendios forestales que se han producido de forma incontrolada; los cuales han arrasado con gran parte de la

vegetación de la zona donde se han producido, destruyendo no solo especies de flora, sino también especies de fauna, hábitats e incluso quizá han causado la extinción de especies donde han ocurrido, esto ha permitido que el carbono secuestrado en las estructuras leñosas de la vegetación se libere a un ritmo acelerado mayormente en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

El desarrollo de la investigación se realizó en las comunidades campesinas de Chuclalas, La Represa, La Llave y Llanguat, pertenecientes al distrito de Celendín, donde se utilizó para la investigación a la especie *Acacia macracantha* Willd (huarango), de la cual se estimó el carbono almacenado, para ello se aplicó el método directo, lo que implicó cortar varios ejemplares de la especie antes mencionada, separar sus componentes (fuste, ramas y hojas), determinar su biomasa seca y contenido de carbono, además a partir de ello obtener ecuaciones alométricas de biomasa y carbono. Ya que, Concha *et al.* (2007:76), mencionan que “las plantas utilizan CO<sub>2</sub> y liberan O<sub>2</sub> durante el proceso de la fotosíntesis; así mismo, almacenan carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados de tiempo, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono”.

Por otro lado, se describe el trabajo de campo realizado para la obtención de datos, los cuales una vez analizados y procesados nos permitieron la obtención de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y el carbono existente en la especie *Acacia macracantha* Willd, pretendiendo así dar un valor ambiental frente al cambio climático a esta especie, además de incentivar a la restauración y reforestación de las zonas que han sido con el tiempo despojadas de individuos de esta especie. En tal sentido Gayoso *et al.* citado por Cuellar y Salazar (2016:33), destacan la importancia de contar con la cuantificación de carbono en base a la información diferenciada por especie y

componentes del árbol, ya que lo consideran como un dato biológico que refleja y determina un porcentaje representativo de la cantidad de carbono secuestrado.

## **PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

En la provincia de Celendín se cuenta con bosques tropicales estacionalmente secos (BTES), estos durante el tiempo se han convertido en almacenes y fuentes de carbono, careciendo de indicadores de captura de carbono, por tal motivo es necesario desarrollar investigaciones pertinentes sobre este tema; ya que contar con información clasificada por especie existente en la zona es importante para conocer el flujo de carbono en estos ecosistemas forestales, de esta forma contribuir a la conservación y recuperación de estos ecosistemas, asimismo contribuir a mitigar el cambio climático.

La necesidad de satisfacer necesidades familiares de la población de la zona, la falta de control y manejo de estas áreas ha causado la deforestación incontrolada de esta especie para la obtención de madera y leña, además del sobrepastoreo en estas zonas; así mismo parte de los ecosistemas donde habita esta especie han sido y son víctimas de incendios forestales en su mayoría provocados, esta especie *Acacia macracantha* Willd comúnmente conocida en la zona con el nombre de “Huarango”, en esta investigación ha sido utilizada como muestra representativa para estimar el almacenamiento de carbono en el BTES de la parte baja de la microcuenca del Rio Grande; buscando de esta manera contribuir a la conservación de dicha especie.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la cantidad estimada de carbono almacenado en *Acacia macracantha* Willd (huarango), en los bosques estacionalmente secos del distrito de Celendín?

## **OBJETIVO GENERAL**

Estimar el contenido de carbono almacenado en *Acacia macracantha* Willd (Huarango), en los bosques estacionalmente secos del distrito de Celendín.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Determinar las características alométricas de los árboles de *Acacia macracantha* Willd (Huarango).
- ❖ Establecer ecuaciones alométricas para la especie *Acacia macracantha* Willd (huarango).
- ❖ Determinar el carbono almacenado en la especie *Acacia macracantha* Willd (huarango).

## **HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

La estimación del almacenamiento del carbono en *Acacia macracantha* Willd (Huarango), en los bosques estacionalmente secos del distrito de Celendín supera el 50% de su peso seco.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes

Si bien en el Perú existen muy pocas investigaciones relacionadas a captura de carbono en especies vegetales que habitan ecosistemas xerofíticos, a nivel internacional se han realizado varias investigaciones en cuanto a la estimación de la captura de carbono en especies vegetales, tales como las siguientes:

Alfaro (2007), en su tesis “Captura de carbono en rebrotes de *Eucalyptus globulus* Labill “eucaliptus” en Montil, provincia de Otuzco del departamento de la Libertad-Perú”, estimó la captura de carbono en la biomasa aérea de rebrotes de plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, concluyendo que los rebrotes de *Eucalyptus globulus* Labill, en Montil, provincia de Otuzco del departamento de la Libertad-Perú captan el 48% de carbono respecto a la biomasa en seco.

García *et al.* (2012), en su estudio “Determinación del stock de carbono en aguajales de la cuenca del río Aguaytía, Ucayali – Perú”, estimaron el stock de carbono orgánico del suelo, la biomasa aérea y la necromasa en los aguajales de la parte baja y alta de la cuenca del río Aguaytía en el departamento de Ucayali, Perú; concluyendo que el mayor aporte al stock de carbono se da en la parte baja, debido a que en la parte alta existe un mayor grado de intervención antrópica, así mismo

recomienda establecer sistemas de conservación y manejo para que estos aguajales se regeneren de forma natural incrementando el stock de carbono de la zona.

Yaranga y Custodio (2013), en su estudio “Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos”, determinaron la capacidad de almacenamiento de carbono en especies de pastos nativos altoandinos, llegando a la conclusión que la concentración de carbono en estas especies fue superior a 30% en promedio; así mismo recomiendan continuar con los estudios de almacenamiento de carbono en pastos naturales alto andinos, abarcando mayor número de área de muestreo y en diferentes pisos altitudinales.

Maquera (2017), en su tesis “Determinación del contenido de carbono por especie forestal en el bosque del CIP Camani – UNA – Puno por titulación”, determinó el contenido de carbono en la producción de biomasa en rodales de eucalipto, ciprés y pino mediante titulación, utilizando el método de combustión húmeda de Walkley and Black, concluyendo que la mayor captura de carbono la tuvo el eucalipto con 1260.55 ton de carbono, seguido por el pino con 489.48 ton y finalmente el ciprés con 320.25 ton de carbono haciendo un total de 2070.28 ton de carbono capturado en todo el bosque, asimismo recomienda realizar investigaciones en especies nativas propias de la zona, como medio de preservación y conservación.

Rimarachín (2017), en su tesis “Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de *Eucalyptus torrelliana* en el sector Indoche, Distrito y Provincia de Moyobamba, Región San Martín” a través de la elaboración de ecuaciones alométricas, estimo el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono de la especie *Eucalyptus torrelliana*, obteniendo como resultado 67.96



Mg/ha de biomasa en el fuste, 8.17 Mg/ha en las ramas y 8.06 Mg/ha en las hojas, haciendo un total de 28.06 Mg/ha de biomasa, además de las ecuaciones alométricas para biomasa expresadas como  $B = 0.008DN^{3.203}$ ,  $\ln(B) = -4.795 + 3.203\ln DN$  y las ecuaciones para contenido de carbono expresadas como:  $C = 0.006DN^{3.106}$  y  $\ln(C) = -4.897 + 3.106\ln DN$ , así mismo recomienda realizar estudios comparativos en diferentes zonas de vida evaluando diferentes especies agrícolas y forestales que permitan elaborar una propuesta para incentivar sistemas agroforestales en la amazonia, con énfasis en la captura de carbono.

Gayoso y Guerra (2005), en su estudio “Contenido de carbono en la biomasa aérea de boques nativos en Chile”, determinaron el contenido de carbono en fuste, ramas, hojas y corteza en 16 especies del bosque nativo en Chile, los contenidos promedio de carbono orgánico en las especies fluctuaron entre 34.9 y 48.3%, y el promedio simple alcanzo a  $43.7 \pm 0.16\%$ ; mientras el carbono total mostro ser en promedio  $5.5 \pm 0.76\%$  mayor que el contenido de carbono orgánico, además encontraron diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico entre grupos de especies y entre componentes del árbol; el carbono del fuste ( $44.4 \pm 0.16\%$ ), en general, para todas las especies resulto ligeramente mayor que en las ramas, hojas y corteza ( $43.5 \pm 0.21\%$ ), siendo mayor la variabilidad en estos últimos, debido a que las diferencias entre carbono orgánico y total en este estudio presentan una fuerte variación, se sugiere aumentar el número de ensayos y estudiar la posibilidad de obtener valores más precisos por conglomerados de tejidos o especies.

Díaz-Franco *et al.* (2007), en su estudio “Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Et Cham”, generaron dos ecuaciones alométricas; una para estimar la biomasa aérea total y otra para estimar el carbono aéreo total a partir del diámetro normal (DN) en *Pinus patula* Schl. Et.

Cham, la ecuación determinada para estimar la biomasa de *Pinus patula* Schl. Et Cham, quedo expresada como:  $B = 0.0357DN^{2.6916}$  y la ecuación para estimar el contenido de carbono quedo expresada como:  $CC = 0.021DN^{2.6451}$ .

Rodríguez-Laguna *et al.* (2009), en su estudio “Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México”, estimaron la distribución del carbono almacenado en un bosque de pino-encino dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México; concluyendo que en el bosque el componente aéreo (fuste, ramas y hojas), cuenta con mayor cantidad de carbono almacenado equivalente a  $82.9 \text{ ton C ha}^{-1}$ , el sistema radical tuvo  $16.5 \text{ ton C ha}^{-1}$  y en la hojarasca  $9.8 \text{ ton C ha}^{-1}$  respectivamente.

Carillo *et al.* (2014), en su estudio “Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en La Sierra Nevada, México”, determinaron mediante el uso de ecuaciones alométricas la cantidad de biomasa y carbono en árboles de *Pinus montezumae* Lamb. y *Alnus jorullensis ssp. jorullensis*, obteniendo para la especie *Pinus montezumae* las ecuaciones dadas como  $B = 0.013DN^{3.0462}$  y  $C = 0.0065DN^{3.0484}$  para biomasa y carbono y para la especie *Alnus jorullensis ssp. jorullensis*, las ecuaciones dadas como  $B = 0.0195DN^{2.7519}$  y  $C = 0.009DN^{2.7522}$  para biomasa y carbono respectivamente.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Cambio climático**

Según el IPCC (2014:129), define al cambio climático como la variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos; además manifiesta que el cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmosfera o del uso del suelo.

Por otro lado, la CMNCC (1992:3), define al cambio climático como “un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

Como estrategia para mitigar los efectos del cambio climático, se busca retener o acumular el CO<sub>2</sub> en la biomasa vegetal, aumentar la fijación de carbono a través de la fotosíntesis, almacenarlo el mayor tiempo posible en la biomasa y en el suelo por medio de la acumulación de materia orgánica; asimismo, prevenir o reducir la tasa de liberación del carbono almacenado en sumideros existentes. En ese sentido, los bosques y plantaciones, las practicas agroforestales, la conservación y rehabilitación de bosques y en general aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, pueden cumplir la función de sumideros de carbono (IPCC, Karsenty y Hidalgo, citado por Cuellar y Salazar 2016:24).

Frente al cambio climático se plantean diferentes formas de mitigar este fenómeno tal es el caso de Masera, citado por Rimarachín (2017:7), quien plantea que una forma de mitigar los problemas de CO<sub>2</sub>, además de reducir las emisiones, es secuestrarlo, o sea capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa, el suelo y los océanos, asimismo, menciona que los bosques son el principal sumidero de CO<sub>2</sub>, sin embargo, la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro.

### **2.2.2. Bosque**

Los combustibles fósiles liberan dióxido de carbono al quemarse e incrementan la presencia de este gas en la atmósfera; este a su vez, contribuye al calentamiento del planeta y al cambio climático; frente a este problema los bosques y la madera que producen atrapan y almacenan carbono, de esta manera contribuyen considerablemente a mitigar el cambio climático, además, ayudan a mitigar estos cambios al absorber el dióxido de carbono de la atmósfera y convertirlo, a través de la fotosíntesis, en carbono que almacenan en forma de madera y vegetación (FAO 2006).

Según el MINAM (2011:23), los bosques son ecosistemas arbóreos complejos que integran factores biológicos y bioclimáticos permitiendo el desarrollo de numerosas formas de vida además proveen bienes y servicios necesarios para el desarrollo de los seres vivos conservando la diversidad biológica, aseguran flujos regulares de agua, contribuyen a la regulación hídrica y conservación de suelos, capturan y almacenan dióxido de carbono, lo que coadyuva considerablemente a mitigar el cambio climático. También Cancino, citado por Rodríguez (2013:19), define a bosque como un conjunto de árboles que ocupa una extensión finita de terreno atribuible a actores

ecológicos como: unidad taxonómica de suelo, pendiente, altitud o geoforma; al fenotipo de la comunidad arbórea o especie biológica en relación a los factores ecológicos que conforman un rodal.

Los bosques brindan materia prima en forma de alimentos, combustible, madera, materiales de construcción además de suministrar servicios ecosistémicos vitales para los seres vivos, tal es el caso de la regulación hídrica, el agua dulce, control de la erosión, la protección del suelo, fijación de carbono y la regulación del clima, además son hábitats importantes para la vida silvestre (Kaeslin y Williamson 2010:3).

Lopera y Gutiérrez, citado por Rimarachín (2017:4-5), señalan que los bosques desempeñan un papel fundamental en el ciclo del carbono ya que almacenan grandes cantidades de este elemento en la vegetación y en el suelo, intercambian carbono con la atmosfera a través de la fotosíntesis y la respiración; además son fuentes disponibles de carbono atmosférico cuando son perturbados por causas humanas o naturales (incendios, deforestación, entre otras actividades), asimismo, se convierten en sumideros de carbono durante el abandono de las tierras.

En la actualidad los bosques se consideran como un medio para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, considerados los causantes del cambio climático, particularmente el dióxido de carbono, el gas con mayor participación y que se fija a través del proceso de fotosíntesis. Así, para contrarrestar las emisiones de carbono, se están considerando establecer plantaciones, mejorar el manejo de bosques y preservar los bosques naturales (Schlegel *et al.* 2001:1).

“Los árboles actúan como sumideros de carbono y liberan oxígeno, reteniendo el carbono en la biomasa, principalmente en la madera” (Gorbitz 2011:7). Al quemarse la madera el proceso se revierte, usando el oxígeno del aire y el carbono almacenado en la madera para liberar al final CO<sub>2</sub>. Los bosques pueden ser sumideros, pero también fuentes de carbono, esto dependerá de cómo y con qué propósito sean manejados y como sean utilizados sus productos (Chaturveni, citado por Gorbitz 2011:7). “La determinación adecuada de la biomasa de un bosque, es de gran importancia debido a que esta permite establecer los montos de carbono por unidad de superficie y tipo de bosque, además de los macro y microelementos” (Rodríguez 2013:30).

Según Finnegan, citado por Connolly y Corea (2007:8), cuando una planta o una parte de ella muere, la liberación de carbono fijado en los tejidos vivos es liberado a la atmosfera en forma de dióxido de carbono por medio del proceso de descomposición. Asimismo, Euronews (2015), menciona que “los árboles son esenciales para mantener el dióxido de carbono alejado de la atmosfera: absorben y almacenan CO<sub>2</sub> y liberan oxígeno. Para medir la cantidad de dióxido de carbono que un árbol consigue almacenar hay que cortarlo”.

De acuerdo a Centeno, citado por Cubero y Rojas (1999:7-8), la deforestación es una fuente importante de emisiones directas de carbono a la atmosfera. Los bosques contienen cientos de toneladas de carbono, estos a través de la deforestación contribuyen con el efecto invernadero, incluyendo el consumo de leña y las emisiones de metano y óxidos nitrosos.

### 2.2.3. Bosque tropical estacionalmente seco (BTES)

Los bosques tropicales estacionalmente secos (BTES) comprenden bosques caducifolios y semicaducifolios que crecen en áreas tropicales sujetas a una severa estacionalidad climática (Espinoza *et al.* 2012:168), son definidos como una formación vegetal donde la precipitación es menor a 1600 mm/año, con al menos de 5 a 6 meses recibiendo menos de 100 mm de precipitación. La vegetación es principalmente caducifolia durante la estación seca, y a lo largo de un gradiente, la caducidad aumenta a medida que disminuye la lluvia; las Leguminosae y Bignoniaceae dominan las floras leñosas de estos bosques en toda su área de distribución (Pennington *et al.* 2000:262). Además, según Miles, citado por Aguirre *et al.* (2006:325), los bosques estacionalmente secos (BTES) en América del Sur están distribuidos desde el norte de México hasta el sur de Brasil, constituyendo aproximadamente el 66% de los bosques estacionalmente secos del mundo.

La vegetación es poco densa, aislada, xerofítica, espinosa, achaparrada con presencia de cactus columnares y plantas con látex; dentro de esta vegetación se pueden identificar a la especie *Acacia macracantha* Willd. Las condiciones climáticas a las que se enfrentan las especies presentes en estos bosques condicionan la estructura de la vegetación, resultando en bosques de menor estatura y área basal que los bosques húmedos, aunque con una composición florística particular; así mismo menciona que los bosques estacionalmente secos (BTES) en el Perú son biológicamente importantes ya que forman el corazón de la región de endemismo, se encuentran en las tierras bajas y faldas occidentales de los Andes del Perú; en el norte se identifican bosques secos en las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad y Cajamarca. “Por tradición los bosques secos han sido sobreexplotados

y degradados para extracción de madera, ampliación de frontera agrícola, incendios forestales, pastoreo de ganado caprino y bovino” (Aguirre *et al.* 2006:234).

#### **2.2.4. Efecto invernadero**

Según Villavicencio (2015:33), “se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases que componen la atmósfera, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar”. Se considera gases de efecto invernadero a los siguientes compuestos:

- ❖ Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- ❖ Metano (CH<sub>4</sub>)
- ❖ Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- ❖ Carburos Hidroflurados (HFC) y Carbonos Perfluorados (PFC)
- ❖ Clorofluorocarbonos (CFC)
- ❖ Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

Las emisiones de gases de efecto invernadero provienen principalmente de dos fuentes de magnitud equivalente; una tiene su origen en el conjunto de actividades para el desarrollo económico social, y a la otra se deriva de la deforestación o conversión de bosques, que constituye la mayor fuente de emisiones y al mismo tiempo la mayor fuente potencial de captura de Gases de Efecto invernadero (MINAM 2011:23).



**Tabla 1:** Fuentes generadoras de los principales gases de efecto invernadero (GEI).

Fuente	Actividad	Emisiones de GEI		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Quema de combustibles	Generación de energías, sector industrial, transporte y residencial	X	X	X
Emisiones fugitivas	Almacenamiento y transporte de combustibles fósiles	X	X	
Procesos industriales	Producción minera, industria química y producción de metales	X	X	
Agricultura	Cultivo de arroz, quema de sabanas y uso de suelos agrícolas	X	X	X
Cambio de uso del suelo	Cambio en bosques y otros stocks de biomasa, conversión de bosques y pastizales y abandono de tierras manejadas	X	X	X
Desechos	Aguas residuales, rellenos sanitarios y botaderos	X	X	X

Fuente: Tomado de CONAM, citado por Maquera (2017:23).

Una de las medidas de mitigación para disminuir o mantener los niveles actuales de CO<sub>2</sub> es la conservación y el manejo de los ecosistemas forestales, basado en que “las plantas a través del proceso de fotosíntesis y respiración toman el dióxido de carbono de la atmosfera, incorporando el carbono a su estructura, y liberan oxígeno a la atmosfera” (Cubero y Rojas 1999:v).

### **2.2.5. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Acosta *et al.* (2001:2), manifiestan que el dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero más abundantes en la atmosfera producto de las actividades económicas del hombre (agricultura, cambio de uso del suelo, industria, transporte, producción de energía, origen doméstico, incendios forestales, entre otras actividades); el cual ha ido aumentando su concentración en los últimos años.

El dióxido de carbono es el más importante de los gases de efecto invernadero que las actividades humanas influencia, tanto en términos de la cantidad presente en la atmosfera como por sus potenciales efectos en el calentamiento global. Este gas es producto de la respiración de los animales y de las plantas, de la quema de combustibles fósiles y de la quema o descomposición de la vegetación (IPCC, citado por Cielsa 1996:19). Un importante aspecto es la respuesta de las plantas a la mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera. El aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> potencia la tasa de fotosíntesis y la eficacia hídrica, por lo que el crecimiento de muchos vegetales aumenta (Alloza *et al.* 2007:59).

**Tabla 2:** Distribución estimada de los depósitos mundiales de carbono.

<b>Componente</b>	<b>GtC</b>
Océanos	38000
Reservas fósiles de carbono	6000
Suelos	
• Carbono orgánico	1200
• Carbono inorgánico	720
Atmosfera	720
Biomasa vegetal	560 – 835
<b>total</b>	<b>47220 – 47495</b>

Fuente: Tomado de Sombroek, citado por Cielsa (1996:45).

### **2.2.6. Carbono**

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmosfera, el suelo y el subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos. Cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique la cantidad de biomasa en la vegetación y en el suelo, tiene el potencial de alterar la cantidad de carbono almacenado y emitido hacia la atmosfera, esta influencia directamente en la dinámica del clima de la tierra (Rügnitz *et al.* 2009:1).

### **2.2.7. El carbono en ecosistemas forestales**

Según Ordoñez (1999:15), el CO<sub>2</sub> atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis; este CO<sub>2</sub> participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco), al crecer, éste incrementa su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento, así como su altura y el grosor de su tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, lo que da lugar a que las copas de los árboles compitan por esta energía; esto origina, a su vez, un dosel cerrado, los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable, éste, a su vez, aporta nuevamente CO<sub>2</sub> al entorno.

Simultáneamente, los troncos al ir aumentando su diámetro y altura alcanzarán un tamaño aprovechable en términos comerciales, pudiéndose extraer productos como tablas, tablonos y polines, que darán origen a subproductos elaborados, como muebles y casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan aportando CO<sub>2</sub> al suelo y/o a la atmósfera.

Durante el tiempo en que el CO<sub>2</sub> se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera, se considera almacenado. En el momento de su liberación, ya sea por la descomposición de la materia orgánica o por la quema de la biomasa, el CO<sub>2</sub> fluye para regresar al ciclo del carbono.

Según Vásquez (2019:23), las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera son afectadas principalmente por dos procesos antropogénicos: emisión de dióxido de carbono por el consumo de combustibles fósiles y por cambios en el

uso del suelo causado por deforestación, además menciona que la vegetación y el suelo sin manejo forestal retienen de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los sistemas agrícolas.

Para Houghton y Skole citado por Vásquez (2019:23), los componentes de los flujos en la atmósfera son: la quema asociada con los cambios de uso del suelo; la descomposición de la biomasa in situ como raíces, tocones, ramas, hojarasca, entre otros; oxidación de la madera cortada como papel, madera y aserrín, y la escasa regeneración de masas vegetativas.

### **2.2.8. El ciclo del carbono**

En la tierra hay una cantidad muy grande, pero finita de carbono; este se encuentra en los océanos, los suelos, las reservas fósiles, en los lechos de rocas, en la atmósfera y en la biomasa vegetal. El ciclo del carbono es el movimiento de este, en sus distintas formas, entre la superficie terrestre, su interior y la atmósfera (Cielsa 1996:44). El carbono a través de la fotosíntesis, respiración y oxidación se intercambia entre organismos vivos, atmósfera, el suelo y el agua.

El carbono del planeta se almacena en cinco grandes compartimientos tales como reservas geológicas, los océanos, la atmósfera, los suelos y la biomasa vegetal: de esta última la vegetación arbórea incluye el 70% de todo el carbono acumulado en la vegetación del planeta (Alloza *et al.* 2007:46-51). Frente a esto Chimbo (2016:11), indica que el carbono es incorporado nuevamente a la atmósfera mediante los procesos de combustión que se generan en los incendios forestales, actividad volcánica y el uso de petróleo, gas natural o carbón, en actividades industriales, de transporte y domésticas.

### 2.2.9. Captura de carbono

Según Benjamín y Mesera (2001:3), indican que la vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos, a través de la fotosíntesis, además indican que la capacidad de almacenamiento de carbono en los bosques se está perdiendo rápidamente debido a la deforestación y degradación de los ecosistemas vegetales.

La vegetación a través de la fotosíntesis y la respiración fija parte del CO<sub>2</sub> en su biomasa funcionando como un depósito de carbono que secuestra CO<sub>2</sub> de la atmósfera. La biomasa al morir puede ser almacenada en los suelos; lo preocupante es que eventos naturales y antropogénicos como incendios forestales, talas incontroladas, entre otros eventos liberan el CO<sub>2</sub> que estaba almacenado en los árboles hacia la atmósfera (Caballero *et al.* 2007:6).

Ordoñez y Masera (2001:5-6), manifiestan que una vez que el dióxido de carbono atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, este participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). El árbol al crecer va incrementando su follaje, ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento; así como altura y grosor del tronco” así mismo, indican que “los principales almacenes de carbono en los ecosistemas vegetales son el suelo, la vegetación y el mantillo. A pesar de ser actualmente fuentes netas de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), los bosques tienen la posibilidad de mitigar estos gases por medio de la captura de carbono en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como sumideros.

La vegetación es la encargada de incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo (Apps, Brown y Dixon, citado por Ordoñez y Maser 2001:5).

Razo-Zárate (2013:74), indica que el escenario ideal para la fijación y almacenamiento de carbono por los bosques es aquel en el que las masas forestales se mantienen dinámicas mediante la incorporación constante de materia orgánica al suelo proveniente de los árboles adultos, mientras se va estableciendo la regeneración natural de las distintas especies y otros individuos jóvenes que están en plena actividad fotosintética, pero este escenario es susceptible a los efectos nocivos de algunos fenómenos naturales tales como incendios forestales, plagas y enfermedades; cuando ocurren fuera de su régimen natural o los causados por el uso inadecuado de los bosques y selvas.

Según EFEverde (2015), la captura del carbono y su transformación en biomasa (madera) sigue un ciclo anual relacionado con las condiciones climáticas; asimismo menciona que los árboles tienen dos fases de crecimiento: en la primera crecen en volumen y en la segunda, capturan el carbono.

#### **2.2.10. Proceso de captura de carbono**

El proceso comienza con la fijación del anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis realizados por las plantas y ciertos microorganismos; en este proceso, el CO<sub>2</sub> y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera, parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta y el CO<sub>2</sub> así formado, se libera a través de sus hojas

o de sus raíces, otra parte es consumida por los animales que también respiran y liberan CO<sub>2</sub>, mientras que las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo lo que da como resultados que el Carbono de sus tejidos se oxide en CO<sub>2</sub> y regrese a la atmósfera (Ordoñez 1999).

#### **2.2.11. Clases diamétricas**

Las clases diamétricas son definidas como rangos adoptados de acuerdo a las mediciones de campo de la variable dasométricas diámetro a la altura del pecho, considerando los valores máximo y mínimo; así mismo Ajbilou *et al.* (2003:111-119), mencionan que las clases diamétricas nos permite evaluar el estado ecológico y de conservación, en particular permite detectar la falta de regeneración o bien el envejecimiento de las masas de bosque, además que nos permite inferir el estado demográfico y sus problemas de conservación.

#### **2.2.12. Ecuaciones alométricas**

Según Mesa (2015:34-39), son ecuaciones matemáticas que relacionan la biomasa con variables del árbol medibles en pie, tales como el DAP, altura total y diámetro de copa, principalmente. Para el desarrollo de estos modelos es necesario realizar un muestreo destructivo de árboles; las ecuaciones alométricas de biomasa son herramientas matemáticas que permiten conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de mediciones de otras variables; estas son generadas a partir de análisis de regresión, donde se estudian las relaciones entre la masa (generalmente en peso seco), de los árboles y sus datos dimensionales (altura, diámetro, entre otros), dependiendo del número de variables independientes, las ecuaciones pueden ser una regresión lineal simple o una regresión lineal múltiple, dependiendo de las circunstancias las ecuaciones pueden ser lineales o no lineales.



Según Rüginitz *et al.* (2009:52-53), mencionan que existen dos tipos de ecuaciones alométricas desarrolladas para estimar la biomasa de los árboles.

- ❖ Ecuaciones individuales: estas calculan la biomasa de especies o plantaciones específicas.
- ❖ Ecuaciones generales: estas calculan la biomasa de cualquier especie de árbol presente en bosques naturales u otros usos de la tierra.

Además, manifiesta que las ecuaciones de biomasa pueden ser generadas para estimar un grupo de componentes como biomasa aérea o específicamente para uno de los componentes como las raíces, asimismo las ecuaciones alométricas de biomasa para estimar raíces usualmente están en función de la biomasa aérea.

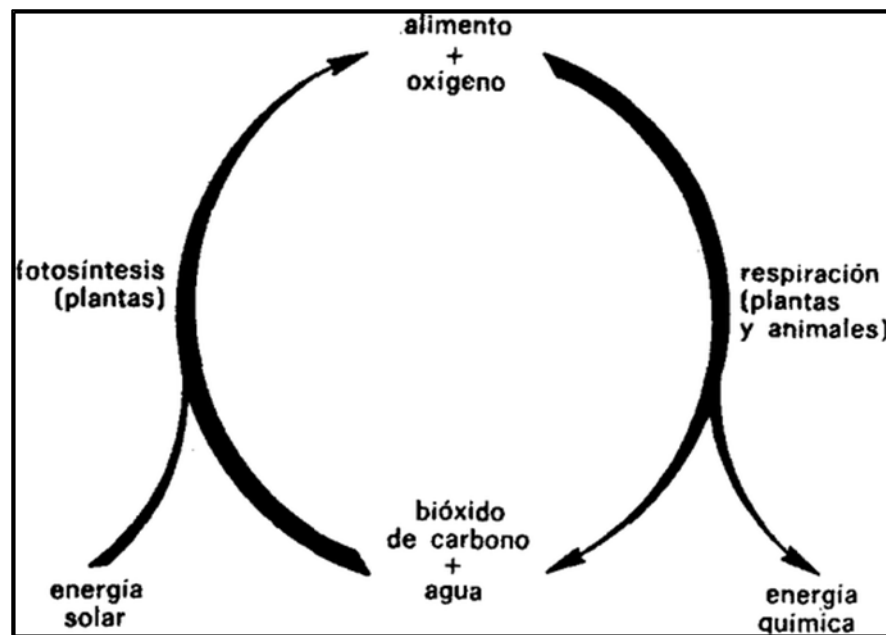
**Tabla 3:** Consideraciones a tener en cuenta para la elaboración de ecuaciones alométricas.

Parámetros estadísticos	Análisis
Lógica biológica del modelo	Buena parte de los técnicos relacionados con la colecta de datos son capaces de comprender relaciones entre variables dependientes, así como identificar las razones de la ocurrencia de valores atípicos (aberrantes).
Coeficiente de determinación ( $R^2$ )	El $R^2$ expresa la cantidad de variación de la variable dependiente que es explicada por las variables independientes. Cuando más próximo a uno (1) es el valor de $R^2$ , mejor fue realizado el ajuste.
Coeficiente de variación (CV%)	El coeficiente de variación es una medida relativa, que permite comparar la dispersión entre dos poblaciones, o la variación resultante de dos variables distintas (originadas de una misma población), que tengan diferentes unidades de medidas. Cuanto menor es el valor de CV%, mejor es el modelo.
Prueba F (análisis de varianza)	Prueba estadística que sirve para comparar varianzas. Utilizadas en modelos lineales.

Fuente: Tomado de Rüginitz *et al.* (2009:61).

### 2.2.13. Fotosíntesis y respiración

La fotosíntesis es el principal proceso en la producción de materia orgánica vegetal y paralelo a este, ocurre el proceso respiratorio que afecta el balance de carbono y la acumulación de materia orgánica (Mosquera *et al.* 1999:216).



**Figura 1:** Proceso de fotosíntesis y respiración.

Fuente: Tomado de Barros y Braco (2001:23).

#### 2.2.13.1. Fotosíntesis

Es un proceso físico-químico por el cual las plantas, algas, bacterias fotosintéticas y algunos protistas como diatomeas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos; se trata de un proceso esencial para la vida sobre la tierra y tiene un profundo impacto sobre la atmósfera y el clima terrestre, cada año los organismos con capacidad fotosintética convierten en carbohidratos más del 10% del dióxido de carbono atmosférico (Pérez-Urria 2009:1).

### **2.2.13.2. Respiración**

Consta de dos procesos: el primero es independiente de la luz y mediante el cual se libera energía almacenada durante la fotosíntesis, y el segundo es la fotorrespiración, que depende de la luz y compite con la fotosíntesis, provocando una disminución hasta de un 50% de los productos fotosintéticos; asimismo, manifiesta que entre el 25 y 50% del dióxido de carbono fijado es de nuevo liberado por este proceso a la atmósfera (Mosquera *et al.* 1999:215-216).

La FAO (1996:98-99), diferencia la fotosíntesis y la respiración en las plantas mediante las siguientes ecuaciones:

#### **Fotosíntesis**

Dióxido de carbono + agua + energía = sustancias orgánicas + oxígeno

#### **Respiración**

Sustancias orgánicas + oxígeno = dióxido de carbono + agua + energía

Además, manifiesta que la fotosíntesis es más intensa que la respiración. Por consiguiente, las plantas producen más oxígeno que el que consumen y toman del aire más dióxido de carbono que el que producen. El dióxido de carbono presente en la atmósfera tanto por eventos naturales como antrópicos es reciclado por las plantas. Asimismo, Pardo (2010:28), manifiesta que la absorción neta de carbono por los ecosistemas terrestres es el resultado de la diferencia entre el carbono absorbido y el emitido a la atmósfera.

#### 2.2.14. Biomasa vegetal

Schlegel *et al.* (2000:1), definen biomasa vegetal como el peso de materia orgánica existente en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo; además menciona que normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco. Asimismo, manifiesta que es frecuente separarla en componentes, donde los más típicos corresponden a la masa de raíces, fuste, ramas y hojas, en muchos estudios realizados consideran que el 50% de la biomasa seca de las plantas es carbono; frente a esto Díaz-Franco *et al.* (2007:27), plantean que el contenido de carbono en la biomasa vegetal de cualquier especie está dentro de un rango de 40 a 55% de su biomasa seca, por su parte Pardos (2010:79), menciona que carbono representa entre 40 y 50% de la biomasa leñosa seca de las plantas. Asimismo, el IPCC, citado por Sosa (2016:52), señala que “el rango más citado para el contenido de carbono en la biomasa vegetal seca es de 43 a 58% de la misma”.; así también Husch, citado por Rodríguez (2013:34), menciona que “se multiplica el peso de la biomasa por un factor que varía entre 45 y 55%, este valor indica la fracción de carbono en la materia vegetativa”.

“Las plantas utilizan el CO<sub>2</sub> y liberan O<sub>2</sub> durante el proceso de fotosíntesis, almacenando carbono en sus estructuras leñosas, por tal motivo se les denomina reservas naturales de carbono” (Acosta *et al.* 2002:725). Por consiguiente, Pregitzer y Euskirchen (2004:2053), indican que “los bosques pueden ser fuentes de carbono cuando sufren perturbaciones como muerte, corte de árboles, daños por agentes bióticos o abióticos, entre otras”.

La determinación correcta de la biomasa forestal es un elemento de gran importancia debido a que esta permite determinar la cantidad de carbono y otros elementos existentes en las hojas, ramas, fuste y raíces, así como, la cantidad de dióxido de carbono que puede ser removida de la atmosfera por la reforestación (Polzot, citado por Gorbitz 2011:6). Asimismo, Segura y Andrade (2008:97), manifiestan que la permanencia del carbono en la biomasa vegetal depende del ciclo de vida de las plantas; así los árboles y demás especies leñosas pueden almacenar carbono por años en su madera o devolverlo a la atmosfera en poco tiempo.

### **2.2.15. Métodos para estimar biomasa vegetal**

Según Rüginitz *et al.* (2009:28), existen dos métodos para medir y estimar la biomasa arbórea sobre el suelo; el método directo y el indirecto.

#### **2.2.15.1. Método directo o destructivo**

Utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa, consiste en cortar uno o más individuos (árboles), determinar la biomasa por medio del peso directo de cada uno de los componentes (fuste, ramas y hojas) y extrapolar los resultados para el área total.

- ❖ Técnica del árbol medio: es una forma de aplicación del método directo, la cual parte del supuesto de que el árbol de tamaño promedio tiene una cantidad promedio de biomasa, se considera que el área basal tiende a ser un buen predictor de la biomasa total. Su uso requiere del muestreo destructivo para determinar la biomasa y el peso del árbol es multiplicado por el número de árboles de la parcela para obtener un

estimado de la biomasa total (MacDicken, citado por Fonseca-Gonzales 2017:96).

#### **2.2.15.2. Método indirecto**

“Consiste en utilizar ecuaciones o factores de expansión que permite relacionar algunas dimensiones básicas obtenidas en campo con características de interés, de forma que no sea necesario medir estas últimas” (Rügnitz *et al.* 2009:28).

#### **2.2.16. Biomasa aérea**

La biomasa aérea se define como la cantidad de materia orgánica viva sobre el suelo en los árboles expresada en toneladas secadas en horno por hectárea (Brown 1997). Asimismo, el IPCC (2003:578), define biomasa aérea como “toda la biomasa viva sobre el suelo, incluyendo el tallo, el tocón, las ramas, la corteza, las semillas y el follaje de las plantas”. De esta forma, para Douterlungne *et al.* (2013:386), la acumulación de biomasa en plantaciones es un indicador de la complejidad estructural, la productividad ecosistémica y el secuestro de carbono, este último es extremadamente relevante en el contexto del cambio climático. Carrillo *et al.* (2014:781), mencionan que en la biomasa aérea el carbono se acumula principalmente en el fuste, en las ramas y en las hojas, constituyendo con esto un almacén de carbono de gran importancia.

#### **2.2.17. Biomasa subterránea**

Los sistemas radiculares representan la biomasa bajo el suelo y constituyen otro sumidero de carbono de gran importancia (Andrade y Ibrahim 2003:114). Por su parte Dixon (1995:100), considera las condiciones climáticas como un factor importante para la determinación de la biomasa de las raíces y establece que la

biomasa de las raíces oscila entre un 10% de la biomasa sobre el suelo en áreas húmedas y cerca del 30% en áreas semiáridas, Así mismo Flint y Richards, citado por Alfaro (2017:29), afirman que el porcentaje de biomasa por debajo del suelo (raíces vivas) con respecto al total, es mayor en bosques secos tropicales en un rango de 15 a 25% y en bosques húmedos con un rango de 5 a 15%.

Otro investigador propone para la determinación de la biomasa subterránea utilizar los siguientes modelos matemáticos, considerando la dureza de la madera (Kurz *et al.* 1996:1976).

**Tabla 4:** Modelos matemáticos para la estimación de biomasa de raíces.

Tipo de especie	Variable	Modelo
De madera suave	Biomasa de raíces	$BR = 0.2317AB$
De madera dura	Biomasa de raíces	$RB = e^{0.359}AB^{0.639}$

**BR:** biomasa de raíces ( $Mg/ha^{-1}$ ), **AB:** biomasa aérea ( $Mg/ha^{-1}$ ).

Fuente: Tomado de Kurz *et al.* (1996:1976).

### 2.2.18. Stock y flujo de carbono

Según Honorio y Baker (2010:11), stock y flujo de carbono se definen:

#### 2.2.18.1. Stock de carbono

Un stock de carbono es la cantidad de carbono que se encuentra almacenado en los diferentes componentes de un bosque. Cuando cuantificamos el stock de carbono de un bosque, muestreamos:

- ❖ La biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces.
- ❖ La necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta.



- ❖ El carbono en la materia orgánica del suelo.

Los stocks de carbono se expresan en términos de peso por unidad de área (Mg/ha).

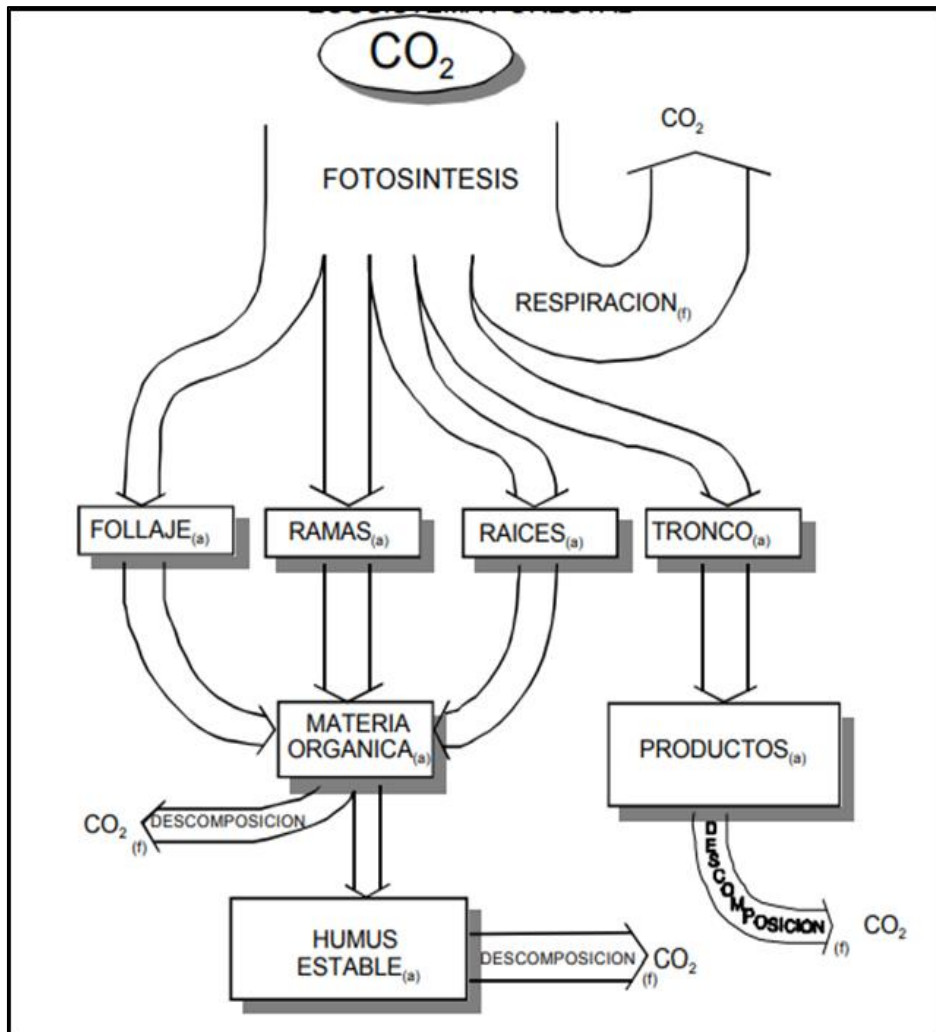
#### **2.2.18.2. Flujo de carbono**

Los flujos de carbono son aquellos procesos que afectan el stock de carbono.

Cuando cuantificamos los flujos del carbono en el bosque muestreamos:

- ❖ La fotosíntesis de las hojas.
- ❖ La respiración autótrofa (árbol) y heterótrofa (hojarasca, madera muerta y suelo).
- ❖ La mortalidad de troncos, ramas, hojas y raíces.
- ❖ La descomposición de la madera y la hojarasca causada por los organismos degradadores.

Los flujos siempre incluyen la variable tiempo y cuantifican la cantidad de carbono que entra o sale de un componente del stock de carbono en el tiempo (Mg/ha/año).



**Figura 2:** Diagrama simplificado de los flujos(f) y almacenes(a) de carbono en un ecosistema forestal.

Fuente: Tomado de Ordoñez y Masera (2001:7).

### **2.2.19. Sumidero y fuente de carbono**

En el ecosistema biosfera terrestre es necesario distinguir entre el carbono almacenado en el ecosistema expresado en toneladas por hectárea y el flujo de carbono, que es la corriente de carbono entre las existencias de carbono en el ecosistema y la atmosfera. Asimismo, la expresión sumidero de carbono se refiere a la existencia de un flujo neto de carbono desde la atmosfera al sistema, mientras que la expresión fuente de carbono significa un flujo en el sentido inverso, desde el sistema a la atmosfera (Pardos 2010:27).

Honorio y Baker (2010:12-13), definen sumideros y fuentes de carbono como:

#### **2.2.19.1. Sumidero de carbono**

Un área determinada de bosque es considerada un sumidero de carbono, si la cantidad almacenada de carbono aumenta con el tiempo, es decir, si el cambio en el stock de carbono es positivo. Asimismo, en un bosque, esto ocurre si los flujos que agregan carbono al stock, como el crecimiento, son más altos que los flujos que disminuyen el stock, como la mortalidad, por un periodo dado.

#### **2.2.19.2. Fuente de carbono**

A diferencia de un sumidero de carbono, un área de bosque es considerada como una fuente de carbono cuando el stock de carbono disminuye con el tiempo.

### **2.2.20. Relación biomasa, carbono y dióxido de carbono**

Rügnitz *et al.* (2009:3), manifiestan que una tonelada de carbono equivale a 3.67 toneladas de CO<sub>2</sub>. Para saber la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito, se debe multiplicar esta por 3.67, a su vez, proponen que una tonelada de biomasa forestal posee aproximadamente 0.5 toneladas de carbono, a esto lo resumen.

- ❖ 1 tonelada de biomasa = ± 0.5 toneladas de carbono.
- ❖ 1 tonelada de carbono = 3.67 toneladas de CO<sub>2</sub>.

### **2.2.21. *Acacia macracantha* Willd.**

Esta especie se Clasifica taxonómicamente en el reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Fabales, familia Fabaceae, género *Acacia* y especie *Acacia macracantha* Willd.

Según el DS. 043-2006-AG, esta especie es una de las 86 especies categorizadas como especies casi amenazadas. La cual durante todo el año alcanza un frondoso desarrollo vegetativo, en tanto que la mayor aparición de brotes ocurre entre enero y abril; la floración se inicia en septiembre extendiéndose hasta junio y la fructificación sigue un ritmo fluctuante con la aparición de frutos verdes y maduros, entre abril y diciembre (Martos *et al.* 2009:54), su madera es dura, pesada, con duramen de color rojo oscuro a granate resistente al ataque de hongos e insectos (Mostacero-León 1998:2).

Para Whaley *et al.* (2010:46), esta especie posee las siguientes características:

**Descripción:** considerado como un árbol leñoso de hasta 12 m de altura, con amplia copa, tallo marrón oscuro, con ramas marrones-verdosas, espinas alargadas, hojas

compuestas, con hojitas muy pequeñas de color verde oscuro en gran número, flores en motitas de color amarillo-mostaza muy perfumadas, frutos tipo vaina mediana y curvada de color marrón oscuro, con semillas marrones-verdosas.

**Hábitat:** zonas ribereñas, orillas de campos de cultivo, a lo largo de caminos, asociada a *Prosopis*, *Trixis*, *Waltheria*; presencia de insectos, abejas y moscardones.

**Usos:** es uno de los árboles más abundantes en las zonas secas del país; proporciona fertilidad al suelo, ramas para riego, hábitat importante para protección de biodiversidad, madera, madera de rebrote, leña y carbón; como planta ornamental (parques), forraje para ganado, polen para abejas.

Según Zegarra (2011:39), la especie *Acacia macracantha* Willd “huarango” presenta otras características como:

Hojas compuestas bipinnadas, pinas de 10 a 60 pares aproximadamente con 20 a 30 pares de foliolillos que escasamente llegan a medir hasta 3 mm de largo, con estípulas transformadas en espinas reducidas de 1 – 3 cm de longitud.

**Origen:** América del Sur.

**Importancia económica:** la madera se utiliza en construcción, por su calidad y alto poder energético es muy apreciada para leña y carbón.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación geográfica de la investigación

La investigación se desarrolló en las áreas perteneciente a las zonas de Llanguat, La Llave, La Represa y Chuclalas, ubicados al norte del distrito de Celendín, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca, de donde se extrajeron las muestras y submuestras para luego ser trasladadas y analizadas en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en el departamento de Lima.

**Tabla 5:** Coordenadas de ubicación de las comunidades donde se instaló las parcelas.

COMUNIDAD	COORDENADAS		ALTITUD
	E	N	
Llanguat	811877	9249846	1560
La Llave	813287	9247474	990
La Represa	812765	9246972	1970
Chuclalas	812171	9245107	2530

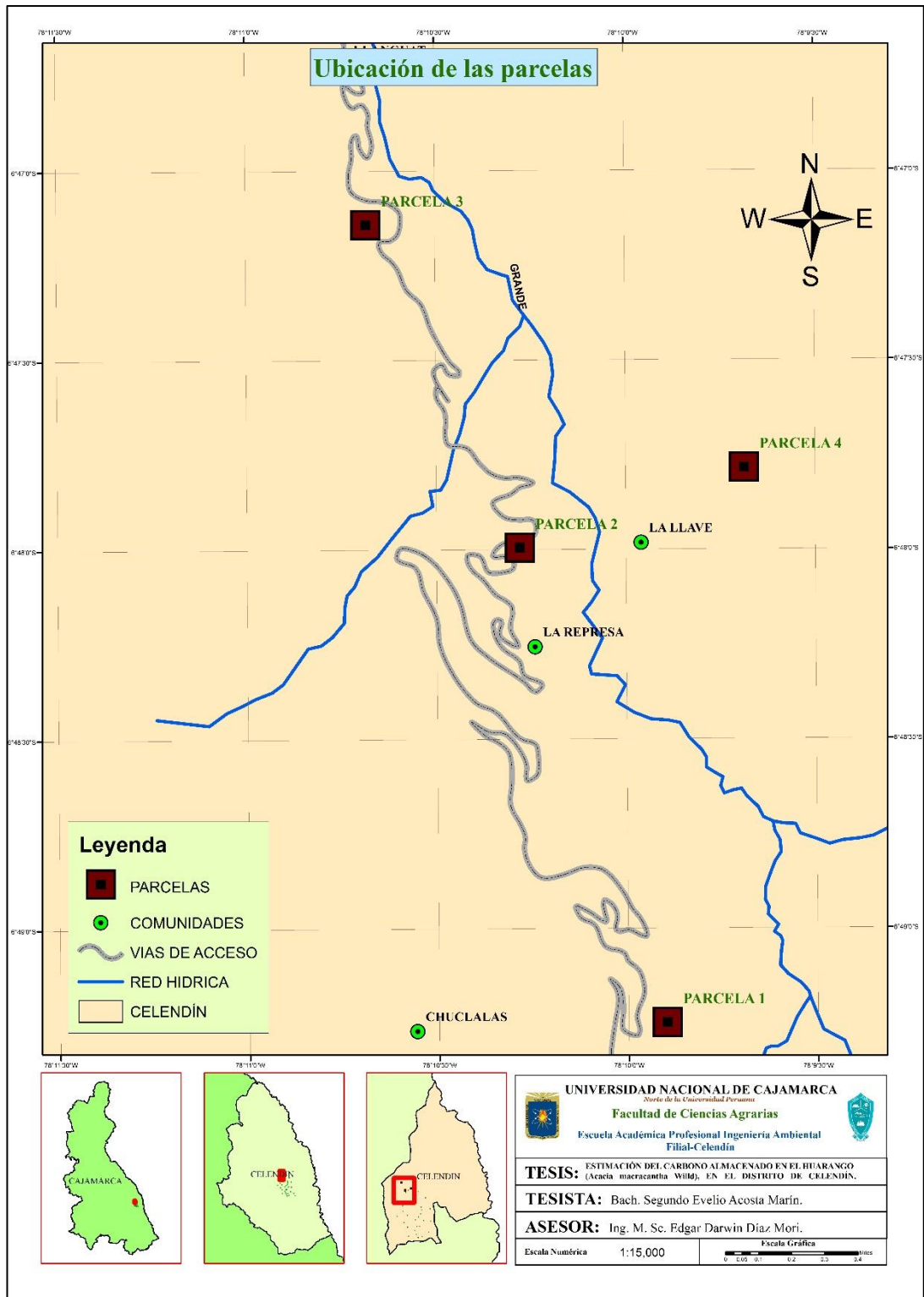


Figura 3: Ubicación de parcelas.

### 3.2. Tipo de investigación

- ❖ **De acuerdo a la orientación:** Aplicada, ya que se busca generar ecuaciones alométricas, estas servirán para realizar estimaciones de biomasa y contenido de carbono existente en la especie *Acacia macracantha* Willd, utilizando solo una variable medible en campo como el diámetro a la altura del pecho (DAP).
- ❖ **De acuerdo a la técnica de contrastación:** descriptiva, debido a que se obtuvo información de la acumulación de carbono en la especie *Acacia macracantha* Willd, además se trató de ampliar los conocimientos referentes a captura de carbono en esta especie.

### 3.3. Población y muestra

La población está constituida por la especie *Acacia macracantha* Willd presente en el Bosque Tropical Estacionalmente Seco de la cuenca baja del río Grande perteneciente a las comunidades de Llanguat, la Llave, la Represa y Chuclalas en el distrito de Celendín.

La muestra queda representada por 12 individuos de la especie *Acacia macracantha* Willd, 3 árboles por cada una de las 4 parcelas delimitadas en las comunidades campesinas de Llanguat, la Llave, la Represa y Chuclalas, perteneciente al distrito de Celendín.

### 3.4. Operacionalización de variables

- ❖ Estimación del carbono almacenado en la *Acacia macracantha* Willd (huarango).



**Tabla 6:** Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENCIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Estimación del carbono almacenado en el huarango ( <i>Acacia macracantha</i> Willd)	Cantidad de carbono presente en la estructura leñosa de los árboles de huarango ( <i>Acacia macracantha</i> Willd) en forma de materia orgánica.	Biomasa	Biomasa húmeda	Kg	Peso directo
			Biomasa seca	Kg	Diferencia de peso, gravimetría
		Contenido de carbono y humedad	Humedad	%	Diferencia de peso, gravimetría
			Carbono	%	Método de Walkley y Black modificado, método alternativo
		Clases diamétricas	DAP	cm	Medición directa
			Altura	m	Medición indirecta
			Diámetro de copa	m	Medición directa
		Individuos	Densidad	Individuos/ha	Inventario

### **3.5. Materiales**

#### **3.5.1. Material biológico**

El material biológico está representado por 12 muestras del fuste, 12 muestras de ramas y 12 muestras de hojas, haciendo un total de 36 muestras extraídas de los 12 árboles de *Acacia macracantha* Willd seleccionados en las 4 parcelas delimitadas en las comunidades de Llanguat, La Llave, La Represa y Chuclalas en el distrito de Celendín, Provincia de Celendín.

#### **3.5.2. Materiales**

- ❖ Libreta de campo
- ❖ Forcípula
- ❖ Soga
- ❖ Cordel
- ❖ Wincha 50M
- ❖ Sierra manual
- ❖ Machetes
- ❖ Bolsas
- ❖ Etiquetas para muestras
- ❖ Fichas de colección y envío de muestras al laboratorio
- ❖ Plumón indeleble
- ❖ Cajas
- ❖ Cinta adhesiva

### **3.5.3. Equipos**

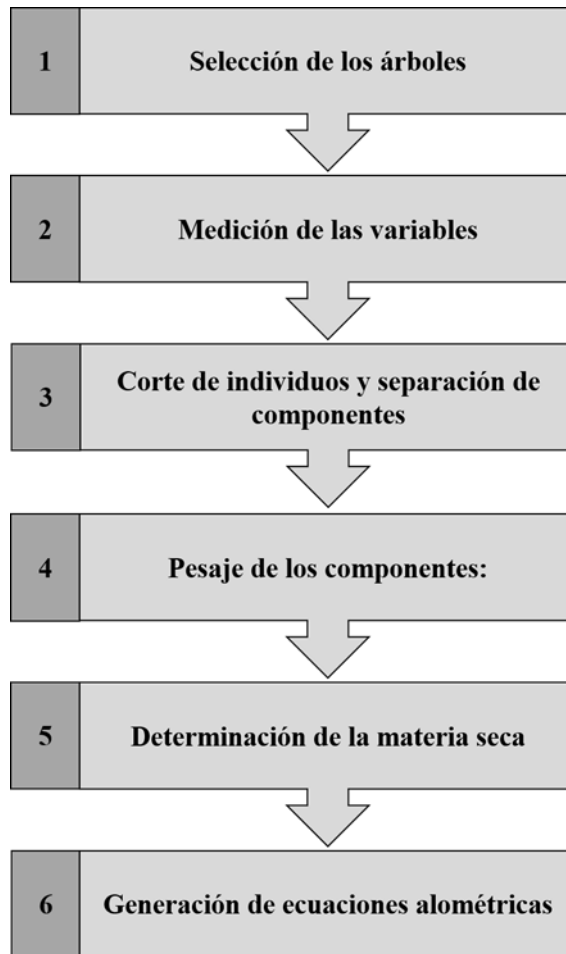
- ❖ GPS
- ❖ Eclímetro
- ❖ Cámara fotográfica
- ❖ Brújula 1:25000 Meters
- ❖ Motosierra
- ❖ Balanza analítica

## **3.6. Metodología**

### **3.6.1. Trabajo de campo**

En esta etapa se identificó 4 áreas en las comunidades de Llanguat, La Llave, La Represa y Chuclalas; donde se delimitó 1 parcela de 400 m<sup>2</sup> (20 m por 20 m) en cada comunidad (Cuellar y Salazar 2016). Asimismo, con ayuda de un GPS se georreferenció los vértices y el centro de cada una de las parcelas y posteriormente se trasladó estas coordenadas a un mapa a través del programa ArcGIS.

Con la ayuda de una wincha de 50 m de longitud se realizó la delimitación de las parcelas teniendo como base los vértices y el centro registrados, luego para la obtención de datos que nos permitió la generación de ecuaciones alométricas, se consideró las etapas propuestas por Rüginitz *et al.* (2009:56).



**Figura 4:** Procedimiento del trabajo de campo y gabinete para la obtención de datos.

Fuente: Tomado de Rüginitz *et al.* (2009:56).

### 3.6.1.1. Selección de los árboles

Dentro del área de cada una de las parcelas se contabilizó y georreferenció cada individuo perteneciente a la especie *Acacia macracantha* Willd, el conteo de los individuos permitió el cálculo de la densidad poblacional de la especie aplicando la siguiente ecuación matemática:

$$D = \frac{N}{A}$$

Donde:

**D:** densidad poblacional

**N:** número de individuos de la especie estudiada

**A:** área de la parcela delimitada.

### **3.6.1.2. Medición de variables**

- **Medición del DAP**

Con ayuda de una forcípula se realizó la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP), aproximadamente a 1.30 m de altura desde la base del árbol.

Se realizó dos medidas perpendiculares en cada individuo; se consideró el valor del DAP al promedio de estas dos medidas.

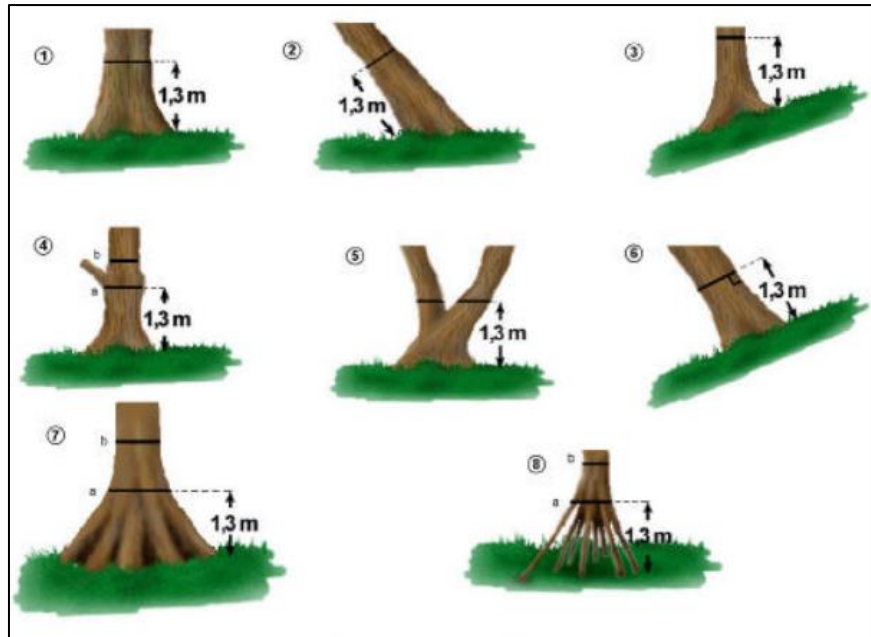
$$\text{DAP} = \frac{\mathbf{d1} + \mathbf{d2}}{2}$$

Donde:

**DAP:** diámetro a la altura del pecho

**d1:** primera medición del DAP

**d2:** segunda medición del DAP



**Figura 5:** Casos particulares que se presentan en la medición del DAP.

Fuente: Tomado de Schlegel *et al.* (2001).

Teniendo ya los resultados del número de individuos por parcela delimitada, habiendo culminado la georreferenciación de cada individuo, además de las mediciones del diámetro a la altura del pecho (DAP), se seleccionó tres individuos de cada parcela, considerando tres clases diamétricas según los registros del DAP, de estos ejemplares se recolecto muestras botánicas (muestras de ramas con flores o frutos) las cuales fueron llevadas al Herbario CPUN “Isidoro Sánchez Vega” de la Universidad Nacional de Cajamarca donde fueron identificadas por el Ing. M. Cs. Ing. Juan Montoya Quino.

- **Medición de la altura total**

Par medir la altura total de un árbol, Maquera (2017:49), recomienda 4 pasos fundamentales en la determinación de este parámetro, los cuales fueron la guía al momento de determinar la altura de los 12 árboles de la especie *Acacia macracantha* Willd en el presente trabajo.

**PASO 1:** se tomó una distancia aproximadamente equivalente a la altura del árbol a ser medido teniendo en cuenta la visibilidad de la parte superior del del árbol.

**PASO 2:** se realizó la observación y medición del ángulo a la base del árbol con el eclímetro.

**PASO 3:** se realizó la observación y medición del ángulo al ápice del árbol con el eclímetro.

**PASO 4:** se calculó la altura de cada árbol.

Para medir la altura de cada árbol se utilizó la siguiente ecuación matemática:

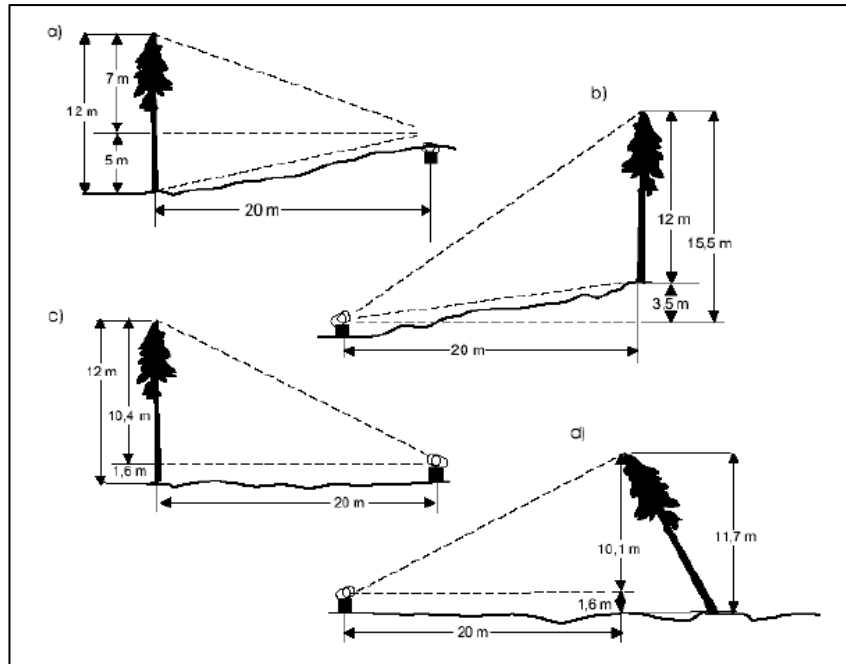
$$H = (\text{tang}\alpha \pm \text{tang}\beta) * D$$

Donde:

**H:** altura en metros

**Tang  $\alpha$   $\pm$  Tang  $\beta$ :** tangente del ángulo en grados

**D:** distancia en metros



**Figura 6:** Casos particulares que se presentan en la medición de la altura.

Fuente: Tomado de FAO (2004).

- **Medición del diámetro de copa**

Con la ayuda de una wincha y 2 jalones se realizó la medida del diámetro de copa, se midió la proyección visual de la copa en el suelo, se usó una cinta métrica. al igual que el DAP se realizó dos mediciones perpendiculares a cada individuo y el promedio de estas dos medidas de considero como diámetro de copa.

$$DC = \frac{dc1 + dc2}{2}$$

Donde:

**DC:** diámetro copa

**dc1:** primera medición del diámetro de copa

**dc2:** segunda medición del diámetro de copa



### **3.6.1.3. Corte de individuos y separación de componentes**

Ya teniendo registradas las medidas dasométricas de los 12 individuos de la especie *Acacia macracantha* Willd, estos fueron cortados a nivel de suelo, posteriormente se realizó la división de cada individuo derribado en sus componentes (fuste, ramas y hojas); en esta investigación no se ha considerado el carbono presente en la hojarasca debido a la diversidad de especies presentes en estos ecosistemas de bosque seco.

### **3.6.1.4. Pesaje de componentes**

Finalmente, en el trabajo de campo cada componente fue pesado para luego de cada componente extraer una muestra, etiquetarla correctamente y trasladarlas al laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina para la determinación del peso seco y contenido de carbono.

### **3.6.2. Trabajo de laboratorio**

En esta etapa el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina, determinó el peso seco, además del contenido de carbono mediante el método diferencia de peso y Walkley y Black modificado, método alternativo.

### **3.6.3. Trabajo de gabinete**

En esta etapa se realizó el procesamiento de la información, el análisis de los datos obtenidos durante el trabajo de campo y los resultados de laboratorio, así como la determinación de las 2 últimas etapas propuestas por Rüginitz *et al.* (2009:59) en la generación de ecuaciones alométricas.

### 3.6.3.1. Determinación de la biomasa seca y porcentaje de humedad

La biomasa seca de las muestras se determinó en laboratorio sometiendo a secado en estufa a las muestras enviadas a una temperatura de 105 °C, hasta obtener un peso constante por componente del árbol (Torres, 2008:21); obtenido el resultado de laboratorio se realizó el cálculo para cada componente del árbol donde se determinó mediante la relación peso seco – peso fresco de las submuestras de cada componente:

$$\text{BS componente} = \frac{\text{PS submuestra}}{\text{PHsubmuestra}} * \text{BH componente}$$

Donde:

**BS:** biomasa seca del componente (kg)

**PS:** peso seco de la submuestra (g)

**PH:** peso húmedo de la submuestra (g)

**BH:** biomasa húmeda del componente (kg)

Para la determinación de la biomasa de las raíces se utilizó lo propuesto por Flint y Richards, citado por Alfaro (2017:29), quienes afirman que el porcentaje de biomasa por debajo del suelo (raíces vivas) con respecto al total, es mayor en bosques secos tropicales en un rango de 15 a 25% y en bosques húmedos con un rango de 5 a 15%, teniendo en cuenta estos datos se consideró el 20%, debido a que el presente trabajo se realizó en un área de bosque tropical estacionalmente seco.

La biomasa seca total de cada árbol se determinó sumando la biomasa seca de cada uno de sus componentes:

$$\mathbf{BS\ total\ árbol = BS\ fuste + BS\ ramas + BS\ hojas + BS\ raices}$$

Para el cálculo del porcentaje de humedad se aplicó la siguiente ecuación:

$$\mathbf{\%Humedad = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100}$$

Donde:

Pi: peso inicial de la muestra (peso fresco)

Pf: peso final de la muestra (peso seco)

### **3.6.3.2. Generación de ecuaciones alométricas**

**Paso 1:** se identificó el apoyo técnico y programas estadísticos.

**Paso 2:** se definieron las variables independientes (DAP, peso seco y carbono).

**Paso 3:** se seleccionaron las ecuaciones de regresión que más se ajustaran a los parámetros básicos establecidos para una ecuación.

**Paso 4:** se seleccionó el modelo alométrico para biomasa y carbono.

**Paso 5:** se estimó la biomasa y carbono para cada parcela.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

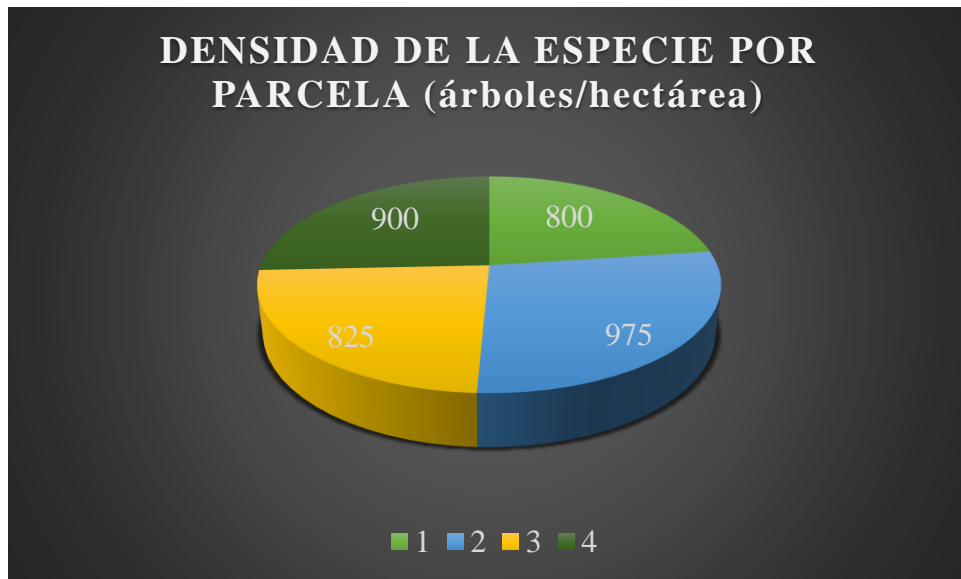
#### 4.1. CARACTERÍSTICAS ALOMÉTRICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

##### 4.1.1. Densidad poblacional y clases diamétricas

Para el cálculo de la densidad poblacional de la especie en estudio se tomaron los datos obtenidos en campo (tabla 7) para cada parcela trabajada, en la cual se relacionó el número de árboles por área de la parcela:

**Tabla 7:** Densidad poblacional por parcela.

<b>Parcela</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Número de árboles/parcela</b>	<b>Densidad (árboles/hectárea)</b>
01	400	32	800
02	400	39	975
03	400	33	825
04	400	36	900
<b>PROMEDIO</b>		<b>35</b>	<b>875</b>



**Figura 7:** Densidad de la especie por parcela.

La densidad poblacional se calculó considerando los valores diferenciados por parcela obteniendo para la parcela 1 una densidad poblacional de 800 árboles/hectárea, para la parcela 2 una densidad poblacional de 975 árboles/hectárea, para la parcela 3 una densidad poblacional de 825 árboles/hectárea y para la parcela 4 una densidad poblacional de 900 árboles/hectárea; en general se obtuvo una densidad promedio de 875 árboles/hectárea de la especie *Acacia macracantha* Willd.

Por otro lado, para las clases diamétricas se consideró el valor mínimo de 4.5 cm y el máximo de 14.25 cm del diámetro a la altura del pecho registrado de los 140 árboles presentes dentro de las 4 parcelas delimitadas, siendo clasificados como:

**Tabla 8:** Registro de clases diamétricas.

CLASE DIAMÉTRICA (cm)	NÚMERO DE ÁRBOLES
4 a 6	48
6 a 8	63
8 a 10	21
10 a más	8



**Figura 8:** Árboles existentes por clase diamétrica.

Para la clase diamétrica comprendida entre 4 y 6 cm se registró un total de 48 árboles, para la de 6 a 8 cm 63 árboles, para la de 8 a 10 cm 21 árboles en las 4 parcelas y en la clase diamétrica de 10 a más cm los árboles registrados solo se encontraron en la parcela 1; por lo que solo se trabajó con las 3 primeras clases diamétricas, ya que se registraron árboles con diámetro a la altura del pecho dentro de estas clases diamétricas en las 4 parcelas delimitadas, en cambio para la cuarta clase diamétrica solo se tenía árboles dentro de este rango en la primera parcela.

Estos resultados no indican que la especie en estudio se ha visto afectada en el crecimiento y desarrollo de nuevos árboles, esto debido al sobrepastoreo existente en la zona; de la misma forma los árboles adultos debido a la gran demanda de la población para la obtención de madera y en la mayoría de casos para la obtención de leña, estos factores a la larga pueden causar la extinción de esta especie debido que la población de árboles jóvenes o en crecimiento van disminuyendo conjuntamente con la población de árboles maduros.

Estas clases diamétricas fueron consideradas teniendo en cuenta el DAP del total de árboles presentes en las 4 parcelas delimitadas, además estas nos permitieron seleccionar 12 árboles muestra (3 en cada parcela), de los cuales se tomó referencia para el análisis de peso seco y contenido de carbono.

#### **4.1.2. Variables dasométricas de los árboles seleccionados**

De los 140 árboles distribuidos en las 4 parcelas delimitadas y teniendo en cuenta las clases diamétricas, se seleccionó 12 de estos, con características representativas de los árboles de la especie *Acacia macracantha* Willd en cada parcela (3 árboles por parcela), los cuales se muestran en la tabla 9 con sus principales variables dasométricas.

**Tabla 9:** Árboles seleccionados y sus variables dasométricas.

PARCELA	CÓDIGO	DAP (cm)	ALTURA (m)
	P1 - A12	5.55	5.86
01	P1 - A27	8.90	2.11
	P1 - A29	7.35	2.79
	P2 - A08	9.85	5.00
02	P2 - A13	5.90	4.51
	P2 - A25	7.15	3.10
	P3 - A21	5.65	5.81
03	P3 - A27	8.20	5.78
	P3 - A33	7.85	4.81
	P4 - A06	7.45	6.27
04	P4 - A10	5.85	4.36
	P4 - A28	8.70	5.17
	<b>PROMEDIO</b>	<b>7.37</b>	<b>4.63</b>

En cada parcela se seleccionó 3 árboles 1 por clase diamétrica, así se tiene para la clase diamétrica de 4 a 6 cm los DAP registrados de 5.55 cm, 5.90 cm, 5.65 cm y 5.85 cm, para la clase diamétrica de 6 a 8 cm se tiene los DAP registrados de 7.35 cm, 7.15 cm, 7.85 cm y 7.45 cm y por último para la clase diamétrica de 8 a 10 cm los DAP registrados son de 8.90 cm, 9.85 cm, 8.20 cm y 8.70 cm para las parcelas 1, 2, 3, 4 respectivamente, teniendo en total como muestras 12 árboles, los cuales presentan un DAP promedio de 7.37 cm y una altura promedio de 4.63 m, correspondiente al registro en las cuatro parcelas trabajadas, estas variables



dasométricas son utilizadas como variables independientes en la generación de ecuaciones alométricas, en este trabajo se utilizó el DAP.

## 4.2. ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA BIOMASA Y CARBONO

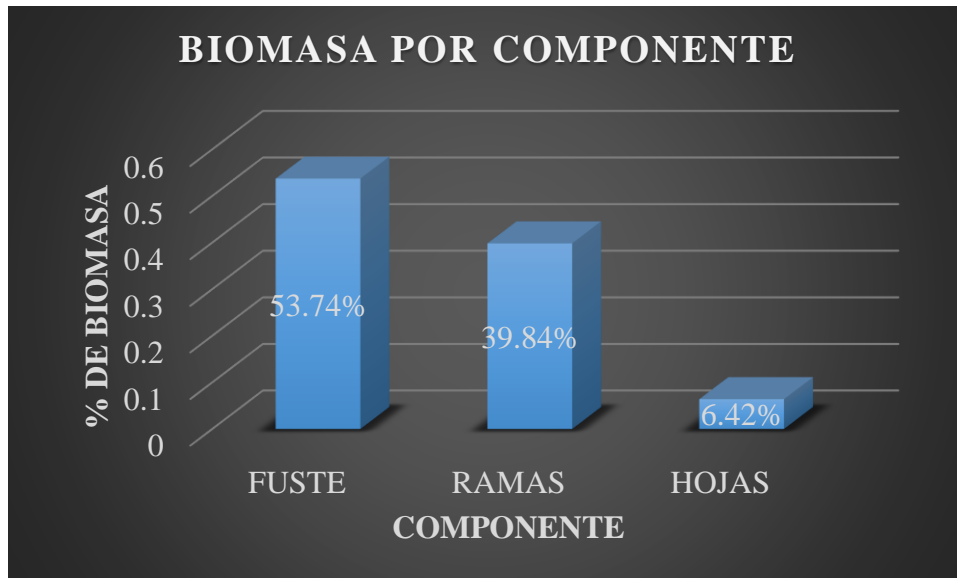
### 4.2.1. Biomasa de los componentes de los 12 árboles seleccionados

A cada uno de los árboles se les separo en sus componentes (fuste, ramas y hojas), además, se pesó cada componente obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10:** Peso fresco obtenido de cada componente por árbol cortado.

PARCELA	CÓDIGO	FUSTE (kg)	RAMAS (kg)	HOJAS (kg)	TOTAL (kg)
	P1 - A12	13.25	6.40	1.35	<b>21.00</b>
01	P1 - A27	29.50	25.45	3.85	<b>58.80</b>
	P1 - A29	23.95	15.20	2.00	<b>41.15</b>
	P2 - A08	39.10	32.30	4.15	<b>75.55</b>
02	P2 - A 3	13.55	8.70	1.85	<b>24.10</b>
	P2 - A25	18.55	13.50	2.60	<b>34.65</b>
	P3 - A21	10.75	9.30	1.80	<b>21.85</b>
03	P3 - A27	31.50	21.50	4.10	<b>57.10</b>
	P3 - A33	26.40	20.65	2.25	<b>49.30</b>
	P4 - A06	21.84	16.85	3.10	<b>41.79</b>
04	P4 - A10	12.45	8.35	1.65	<b>22.45</b>
	P4 - A28	41.85	31.40	5.05	<b>78.30</b>
<b>TOTAL</b>		282.59	209.60	33.75	<b>526.04</b>

Cada árbol seleccionado por parcela fue separado en sus componentes, así mismo estos fueron pesados y registrados obteniendo un total de biomasa fresca o peso fresco de 526.04 kg, distribuidos en 282.59 kg de fuste, 209.75 kg de ramas y 33.75 kg hojas con una biomasa promedio por árbol de 43.84 kg/árbol.



**Figura 9:** % de biomasa por componente.

En la figura 9 se representa el porcentaje de biomasa por componente para un árbol, esta biomasa es producto de los resultados de peso en campo, donde se observa que la biomasa para el componente fuste es de 23.55 kg y representa un 53.74%, la biomasa para el componente ramas es de 17.45 kg y representa un 39.84% y la biomasa para el componente hojas es de 2.81 kg y representa un 6.42%.

#### **4.2.2. Obtención de muestras para análisis en laboratorio**

En la tabla 11 se registra la cantidad de muestras recolectadas en campo de cada componente de la planta, las cuales fueron enviadas para ser analizadas en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la universidad Nacional Agraria la Molina los parámetros peso seco y carbono.

**Tabla 11:** Peso fresco de muestras por componente de cada árbol.

<b>PARCELA</b>	<b>CODIGO</b>	<b>FUSTE (g)</b>	<b>RAMAS (g)</b>	<b>HOJAS (g)</b>
	P1 - A12	280	94	200
01	P1 - A27	867	180	200
	P1 - A29	444	188	200
	P2 – A08	895	267	200
02	P2 - A13	357	127	200
	P2 - A25	465	141	200
	P3 - A21	312	196	200
03	P3 - A27	606	341	200
	P3 - A33	791	154	200
	P4 - A06	522	211	200
04	P4 - A10	325	149	200
	P4 - A28	762	255	200

En campo se recolectaron muestras de fuste, ramas y hojas para ser analizadas en laboratorio, en el caso de los componentes fuste y ramas se obtuvieron rodajas de 10 cm aproximadamente de espesor, por tal motivo los pesos de las muestras tomadas tienen distinto valor; en cambio para la toma de muestras del componente hojas se recolectó 200 g de hojas de cada árbol seleccionado estas fueron etiquetadas, registradas y enviadas para su análisis.

### 4.2.3. Resultados de laboratorio

La Universidad Nacional Agraria la Molina a través del laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes, nos brindó los resultados de las muestras enviadas para su análisis, tal como se muestran en las tablas 12, 13 y 14, obteniendo el peso seco y % de carbono para cada componente de los árboles muestreados.

**Tabla 12:** Peso seco y % de carbono presente en el componente fuste.

N° Lab.	CLAVE DE CAMPO	Peso seco (g)	C %
279	P1 - A12	158.45	56.65%
280	P1 - A27	575.07	56.86%
281	P1 - A29	240.10	55.98%
282	P2 – A08	575.15	56.26%
283	P2 - A13	214.59	56.76%
284	P2 - A25	281.88	55.98%
285	P3 - A21	189.55	56.17%
286	P3 - A27	367.17	56.15%
287	P3 - A 33	525.98	55.92%
288	P4 – A06	290.84	55.69%
289	P4 - A10	202.55	56.84%
290	P4 - A28	420.64	56.09%
<b>PROMEDIO</b>			<b>56.28%</b>

Los resultados de peso seco y porcentaje de carbono del componente fuste varían desde 158.45 g hasta 575.15 g para el parámetro peso seco y desde 55.69% hasta 56.86% y con un promedio de 56.28% para porcentaje de carbono, lo que indica que más de la mitad del peso seco del componente fuste de un árbol es Carbono.

**Tabla 13:** Peso seco y % de carbono presente en el componente ramas.

<b>N° Lab.</b>	<b>CLAVE DE CAMPO</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>C %</b>
291	P1 - A12	47.23	57.84%
292	P1 - A27	94.00	55.55%
293	P1 - A29	102.06	56.11%
294	P2 – A08	137.84	56.46%
295	P2 - A13	74.61	56.14%
296	P2 - A25	82.81	55.98%
297	P3 - A21	116.74	55.78%
298	P3 - A27	198.91	56.42%
299	P3 - A 33	91.70	55.62%
300	P4 – A06	116.34	55.74%
301	P4 - A10	93.45	56.78%
302	P4 - A28	124.22	56.11%
<b>PROMEDIO</b>			<b>56.21%</b>

Los resultados de peso seco y porcentaje de carbono del componente ramas varían desde 47.23 g hasta 198.91 g para el parámetro peso seco y desde 55.55% hasta 57.84% y con un promedio de 56.21% para porcentaje de carbono, lo que indica que más de la mitad del peso seco del componente ramas de un árbol es Carbono.

**Tabla 14:** Peso seco y % de carbono presente en el componente hojas

<b>N° Lab.</b>	<b>CLAVE DE CAMPO</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>C %</b>
303	P1 - A12	91.86	47.33%
304	P1 - A27	92.72	51.06%
305	P1 - A29	66.29	47.10%
306	P2 - A8	95.08	45.43%
307	P2 - A13	116.08	43.68%
308	P2 - A25	86.98	45.40%
309	P3 - A21	88.78	45.24%
310	P3 - A27	83.25	45.24%
311	P3 - A 33	93.39	44.60%
312	P4 - A6	80.00	43.85%
313	P4 - A10	61.16	47.80%
314	P4 - A28	69.94	46.56%
<b>PROMEDIO</b>			<b>46.11%</b>

Los resultados de peso seco y porcentaje de carbono del componente hojas varían desde 61.16 g hasta 116.08 g para el parámetro peso seco y desde 43.68% hasta 47.80% y con un promedio de 46.11% para porcentaje de carbono lo que indica que menos de la mitad del peso seco del componente hojas de un árbol es Carbono.



**Figura 10:** Porcentaje de carbono por componente.

Calculando el porcentaje de carbono por componente se obtuvo para el componente fuste un 56.28% de carbono, para el componente ramas un 56.21% y para el componente hojas un 46.11% respecto a su peso seco de cada componente, esto indica que esta especie durante su desarrollo de vida va almacenando carbono en sus estructuras, la mayor cantidad de carbono se almacena en el fuste del árbol, en las ramas va disminuyendo y en las hojas es donde menos almacena carbono esto quizá porque en estos ecosistemas de bosque seco existe una temporada donde las plantas pierden la mayor cantidad de sus hojas.

#### **4.2.4. Datos para la generación de ecuaciones alométricas**

Para la generación de ecuaciones alométricas solo se ha considerado los componentes fuste, ramas, hojas y raíces de los árboles en pie sin considerar la hojarasca; de los cuales las variables utilizadas fueron el diámetro a la altura del pecho, biomasa seca total y el contenido de carbono total. La biomasa seca total está representada por la biomasa seca aérea y la biomasa seca subterránea, esta última según Flint y Richards, citado por Alfaro (2017) es mayor en bosques secos

tropicales en un rango de 15 a 25% y en bosques húmedos con un rango de 5 a 15%, en tal sentido como la presente investigación se ha desarrollado en bosque tropical estacionalmente seco; se ha considerado a la biomasa seca subterránea al promedio de los porcentajes recomendados para bosques secos tropicales, considerando un 20% respecto a la biomasa aérea, obteniendo los resultados para las ecuaciones alométricas los descritos en la tabla 18.

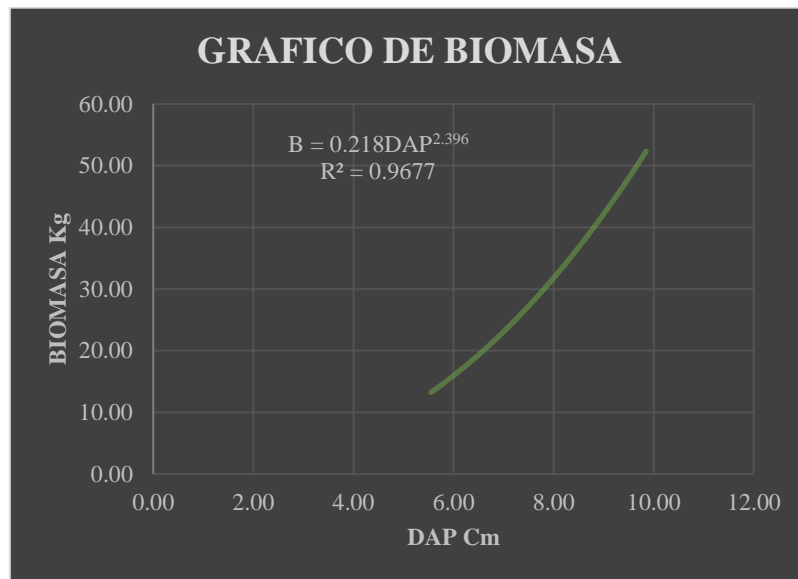
**Tabla 15:** Datos para la generación de ecuaciones alométricas.

PARCELA	CODIGO	DAP	BIOMASA SECA	
			TOTAL	CCT
01	P1 - A12	5.55	12.83	6.92
	P1 - A27	8.90	38.79	21.14
	P1 - A29	7.35	23.29	12.36
02	P2 - A08	9.85	49.39	26.04
	P2 - A13	5.90	17.05	8.90
	P2 - A25	7.15	22.57	11.84
03	P3 - A21	5.65	14.40	7.54
	P3 - A27	8.20	36.67	19.29
	P3 - A33	7.85	34.06	17.73
04	P4 - A06	7.45	25.22	13.05
	P4 - A10	5.85	13.97	7.52
	P4 - A28	8.70	43.50	23.02

En la figura 12 se muestra de manera gráfica los parámetros del modelo y la dispersión de puntos de los valores de biomasa, además al ajustar la ecuación para determinar la biomasa en función de DAP presento un coeficiente de determinación

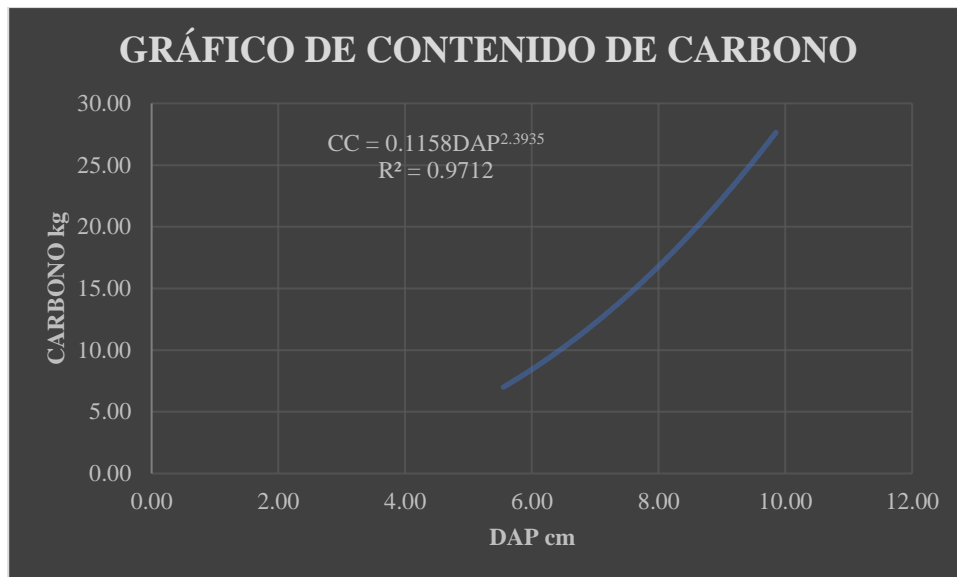


alto. La ecuación para biomasa quedo expresada como  $B = 0.218DAP^{2.396}$  con un  $R^2 = 0.9677$ .



**Figura 11:** Gráfica biomasa vs DAP.

En la figura 13 se muestra de manera gráfica los parámetros del modelo y la dispersión de puntos de los valores de biomasa, además al ajustar la ecuación para determinar el contenido de carbono en función de DAP presento un coeficiente de determinación alto. La ecuación para contenido de carbono quedo expresada como  $CC = 0.1158DAP^{2.3935}$  con un  $R^2 = 0.9712$ .



**Figura 12:** Grafica contenido de carbono vs DAP.

Según Rüginitz *et al.* (2009:61), mencionan que las ecuaciones para biomasa y carbono son válidas cuando el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es cercano a la unidad o exactamente 1, teniendo en cuenta a este autor los valores de  $R^2$  con los cuales se generó las ecuaciones alométricas en esta investigación son aceptables ya que para la ecuación de biomasa se tiene un  $R^2 = 0.9677$  y para contenido de carbono un  $R^2 = 0.9712$ .

### **4.3. CARBONO ALMACENADO EN LA ESPECIE**

#### **4.3.1. Relación biomasa, carbono y dióxido de carbono**

De acuerdo a los resultados de porcentaje de carbono tenemos que una planta de *Acacia macracantha* Willd contiene un 52.87% de carbono en promedio, para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> aplicamos lo propuesto por Rüginitz et al. (2009:3), entonces:

- 1 tonelada de biomasa =  $\pm$  0.5 toneladas de carbono.
- 1 tonelada de carbono = 3.67 toneladas de CO<sub>2</sub> emitido.

**Tabla 16:** Biomasa y carbono por parcela y total.

<b>PARCELA</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁRBOLES</b>	<b>BIOMASA TOTAL (kg)</b>	<b>CCT PROMEDIO (kg)</b>	<b>BIOMASA TOTAL/ÁREA (kg)</b>	<b>CCT/ÁREA (kg)</b>
01	400	32	27.64	14.61	884.64	467.58
02	400	39	27.64	14.61	1078.15	569.86
03	400	33	27.64	14.61	912.28	482.19
04	400	36	27.64	14.61	995.22	526.03
<b>TOTAL</b>					<b>3870.30</b>	<b>2045.67</b>

Según los datos de la tabla 19 tenemos que en 3.87 toneladas de biomasa de *Acacia macracantha* Willd existen 2.05 toneladas de carbono, por lo tanto, aplicando lo propuesto por Rüginitz et al. (2009:3), tenemos que 2.05 toneladas de carbono almacenado en la especie *Acacia macracantha* Willd equivalen a 7.51 toneladas de CO<sub>2</sub>. Además, si en 1600 m<sup>2</sup> existen 2.05 toneladas de carbono, en 10000 m<sup>2</sup> o 1 hectárea se tendrá 12.81 toneladas de carbono equivalente a 46.94 toneladas de CO<sub>2</sub>.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Las características alométricas de las 12 plantaciones de *Acacia macracantha* Willd (Huarango), con las que se ha trabajado en la presente investigación son DAP, Altura y diámetro de copa, estas fueron medidas en campo antes de ser cortadas a nivel de suelo; registrando un DAP mínimo de 5.55 cm, un máximo de 9.85 cm y un promedio de 7.37 cm; para la altura se registró una altura mínima de 2.11 m, una máxima de 6.27 m y un promedio de 4.63 m; con respecto al diámetro de copa se registró un diámetro de copa mínimo de 3.75 m, un máximo de 7.30 m y un promedio de 5.62 m.

Las ecuaciones alométricas para la especie *Acacia macracantha* Willd “Huarango”, fueron desarrolladas con las variables DAP, Biomasa y carbono las cuales quedan establecidas como  $B = 0.218DAP^{2.396}$  con un  $R^2 = 0.9677$  para biomasa y,  $CC = 0.1158DAP^{2.3935}$  con un  $R^2 = 0.9712$  para carbono respectivamente; estas ecuaciones estiman la biomasa y el contenido de carbono existente en la especie antes mencionada en un ecosistema de bosque tropical estacionalmente seco.

El carbono almacenado en la especie *Acacia macracantha* Willd “huarango”, que habita los bosques estacionalmente secos del distrito de Celendín, representan el 52.87% de su biomasa seca de los árboles en pie.

El contenido de carbono almacenado en *Acacia macracantha* Willd (Huarango), en el distrito de Celendín en el año 2021, según los cálculos determinados se concluye que esta especie almacena 12.79 tnC/hectárea de bosque, equivalente a 46.94 toneladas de CO<sub>2</sub>.

## **5.2. Recomendaciones**

Según los resultados obtenidos, se recomienda a las entidades competentes del sector forestal y ambiental en coordinación con los representantes de las comunidades campesinas promover campañas de monitoreo y reforestación de estas áreas con la finalidad de conservar, proteger y brindar un uso sostenible a la especie *Acacia macracantha* Willd por parte de la población.

Promover la producción de plántones de esta especie en viveros locales del distrito de Celendín con la finalidad de repoblar áreas deforestadas.



## CAPITULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, M; Etchevers, JD; Monreal, C; Quendnow, K. y Hidalgo, C. 2001. Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. (1, 2001. Pucallpa, Perú). Valdivia, Chile. 15 p.
- Acosta-Mireles, M; Vargas-Hernández, J; Velázquez-Martínez, A. y Etchevers-Barra, JD. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. Agrociencia. 36(6):725-736.
- Ajbilou, R; Marañon, T y Arroyo, J. 2003. Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de Marruecos. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. 12(2):111-123.
- Alfaro Nureña, RO. 2017. Captura de carbono en rebrotes de *Eucalyptus globulus* Labill “eucaliptus” en Montil, provincia de Otuzco del departamento de la Libertad-Perú. Tesis de postgrado M. Sc. En Ciencias. Trujillo, Perú. Universidad Nacional de Trujillo. 118 p.

- Alloza, JA; Bogino, SM; Bravo, F; Bravo-Oviedo, A; Broto, M; Cámara, A; Canga, E; Delgado, JA; Díaz, L; Fernández, MJ; Gallardo, JF; Gómez C; Herrero, C; Lizarralde, I; Méndez, M; Merino, A; Montero, G; Moro, O; Navarro, RM; Ordoñez, C; Osorio, LF; Roca, N; Rodríguez, F; Romanyá, J; Romero, C; Rovira, P; Rubio, A; Ruiz-Peinado, R; Segur, M. y Vallejo, R. 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. 1 ed. España, Fundación Gas Natural. 332 p.
- Andrade, HJ. y Ibrahim, M. 2003. ¿Cómo hacerlo?: ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? Agroforestería en las Américas. 10(39-40):109-116.
- Aguirre Linares, Z; Linares-Palomino, R. y Peter Kvist, L. 2006. Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú. *Arnaldoa*. 13(2):324 – 350.
- Barros, P. y Bravo, A. 2001. ISAAC ASIMOV: Fotosíntesis. (en línea, sitio web). consultado el 24 de dic. 2018. disponible en: <http://www.librosmaravillosos.com/fotosintesis/index.html>
- Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A primer. Ed. reimp. Rome, Italy. Food & Agriculture Org. 1997. 55 p.
- Caballero, M; Lozano, S. y Ortega, B. 2007. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*. 8(10):1-12.
- Carrillo Anzures, F; Acosta Mireles, M; Flores Ayala, E; Juárez Bravo, JE. y Bonilla Padilla, E. 2014. Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en La Sierra Nevada, México. *Ciencias Agrícolas* 5(5)779-793.

- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica). 2002. Inventario forestal para bosques latifoliados en América Central. (eds. Orosco, L y Brumér, C.). Turrialba, Costa Rica. 264 p. Serie técnica, Manual técnico N° 50.
- Chimbo Yari, IJ. 2016. "Evaluación del carbono en la biomasa de dos especies forestales introducidas (*Eucalyptus* y *Pinus*) y una especie nativa (*Hesperomeles ferruginea*) en el bosque Aguarongo". Tesis de pregrado Ingeniero Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana. 74 p.
- Cielsa, WM. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Food & Agriculture Org; 1996. Roma. 146 p.
- Connolly Wilson, RY y Corea Siu, CA. 2007. Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Trabajo de diploma. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 85 p.
- Concha, JY; Alegre JC. y Pocomucha, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *ecología aplicada*, 6(1,2):75-82.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Art. 1. 9 may. 1992.
- Cubero Moya, JA. y Rojas Piedra, SR. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea Roxb*), teca (*Tectona grandes L. f.*) y pochote (*Bombacopsis quinata Jacq.*) en los cantones de Hoja ancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Tesis de postgrado Licenciado en Ciencias Forestales. Universidad Nacional. 111 p.

- Cuellar, J. y Salazar, E. 2016. Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. Lima, Perú. 217 p.
- DS. N° 043-2006-AG, 2006. Aprueban Categorización de Especies Amenazadas de Flora Filvestre. Diario El Peruano. Perú. 13 jul.
- Díaz-Franco, R; Acosta-Mireles, M; Carrillo-Anzures, F; Buendía-Rodríguez, E; Flores-Ayala, E. y Etchevers-Barra, JD. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. Madera y Bosques 13(1):25-34.
- Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases? Agroforestry systems. 31:99-116.
- Douterlungne, D; Herrera-Gorocica, AM; Ferguson, BG; Siddique, I. y Soto-Pinto, L. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. Agrociencia. 47(4):385-397.
- Espinosa, CI; de la Cruz, M. Luzuriaga, AL. y Escudero, A. 2012. Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial: diversidad, estructura, funcionamiento e implicaciones para la conservación. Ecosistemas. 21(1-2):167-179.
- EFEverde. 2015. Los árboles se fatigan en la captura del carbono de la atmósfera. (en línea, sitio web). consultado el 29 de dic. 2018. disponible en: <https://www.efeverde.com/noticias/los-arboles-se-fatigan-en-la-captura-del-carbono-de-la-atmosfera/>.

Euronews. 2015. Mapas 3D para medir el dióxido de carbono almacenado en los árboles. (en línea, sitio web). consultado el 24 de dic. 2018. disponible en: <https://es.euronews.com/2015/01/26/mapas-3d-para-medir-el-dioxido-de-carbono-almacenado-en-los-arboles>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Guatemala). 2004. Inventario forestal, Manual de campo. (en línea, sitio web). consultado el 27 de dic. 2018. disponible en: <http://www.fao.org/3/ae578s/AE578S00.htm#TopOfPage>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Inventario forestal. (en línea, sitio web). consultado el 27 de dic. 2018. disponible en: <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-inventory/basic-knowledge/es/>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Los bosques y el cambio climático. (en línea, sitio web). consultado 24 de dic. 2018. disponible en: <http://www.fao.org/Newsroom/es/focus/2006/1000247/index.html>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Ganadería, Roma). 1996. Ecología y enseñanza rural: Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. 1 ed. Roma. 194 p.

Frías Tamani, J. 2015. Biomasa Total y Stock de Carbono en tres Tipos de Bosque en la Cuenca media del Río Arabela, Loreto-Perú-2014. Tesis de pregrado Ingeniero Forestal. Iquitos, Perú, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 115 p.

- Fonseca-Gonzales, 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.
- García Soria, D; Honorio Coronado, E. y Del Castillo, D. 2012. Determinación del stock de carbono en aguajales de la cuenca del río Aguaytía, Ucayali – Perú. *Folia Amazónica*. 21(1-2):153-160.
- Gayoso, J. y Guerra, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosques*. 26(2):33-38.
- Gorbitz Dupuy, GE. 2011. Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea en Plantaciones de 8 años de *Calycophyllum spruceanum* b. en el Valle del Aguaytía. Tesis de pregrado Ingeniero Forestal Lima- Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 72 p.
- Honorio Coronado, EN y Baker, TR. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana/Universidad de Leeds. Lima, 54 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014. Cambio climático 2014: Informe síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 176 p.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman, J; Gytarsky, M; Hiraishi, T; Krug, T; Kruger, D; Pipatti, R; Buendia, L; Miwa, K; Ngara, T; Tanabe, K. and Wagner, F. (ed.). Japan. s.e. 590 p.
- Kaeslin, E. y Williamson, D. 2010. Los bosques, las personas y la vida silvestre: retos para un futuro común. *Unasyly* 236. 61:3-10.
- Kurz, WA; Beukema, SJ. y Apps, MJ. 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget modelo of the Canadian forest sector. *Canadian Journal of Research* 26:1973-1979.
- Maquera Maquera, D. 2017. Determinación del contenido de carbono por especie forestal en el bosque del CIP Camacani – UNA – Puno por titulación. Tesis de pregrado Ingeniero Químico. Puno, Perú. Universidad Nacional del Altiplano. 92 p.
- Martos, JR; Scarpati, M; Rojas, C. y Delgado, GE. 2009. Fenología de algunas especies que son alimento para la pava aliblanca *Penélope albipennis*. Perú. *biol.* 15(2): 051- 058.
- Meza Chávez, LP. 2015. “Biomasa aérea y contenido de carbono de los bosques del área de influencia de la carretera Iquitos – Nauta. Perú”. Tesis de pregrado Ingeniero en Gestión Ambiental. Perú, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 110 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2011. Plan nacional de acción ambiental. PLANA-Perú 2011-2021. 2 ed. Perú. Separata Especial. 80 p.

- Mostacero-León, J; Mejia-Coico, F; Pelaez-Pelaez, F. y Charcape-Ravelo, M. 1998. Especies Madereras Nativas del Norte del Perú. *REBIOL* 16(1 y 2):67-78.
- Mosquera-Sánchez, LP; Riaño-Herrera, NM; Arcilla-Pulgarín, J. y Ponce-Dávila, CA. 1999. Fotosíntesis, respiración y fotorrespiración en hojas de café *Coffea* sp. *Cenicafé* 50(3): 215-221.
- Ordóñez Díaz, JA. y Maser, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1):3-12
- Ordóñez Díaz, JA. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. 1 ed. Michoacán, México. 75 p. ISBN: 968-817-4.
- Pennington, RT; Prado, DE. y Pendry, CA. 2000. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography*, 27:261–273.
- Pérez-Urria, E. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *Reduca (Biología)*. Serie Fisiología Vegetal. 2(3):1-47.
- Pardos, JA. 2010. Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. INIA (ed.), Madrid, España, I. G. Solprint S. L. 253 p.
- Pregitzer, KS. y Euskirchen, ES. 2004. Carbon Cycling and Storage in World Forest. *Biome Patterns Related to Forest Age*. *Global Change Biology* 10, 12: 2052-2077.
- Razo-Zárate, R; Gordillo-Martínez, AJ; Rodríguez-Laguna, R; Maycotte-Morales, CC. y Acevedo-Sandoval, OA. 2013. Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo, México. *Madera y Bosques* 19(2):73-86.



- Rimarachín Mundaca, M. 2017. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de *Eucalyptus torelliana* en el sector Indoche, Distrito y Provincia de Moyobamba, Región San Martín. Tesis de pregrado Ingeniero Ambiental. San Martín, Perú. Universidad Nacional de San Martín. 68 p.
- Rodríguez-Laguna, R; Jiménez-Pérez, J; Aguirre-Calderón, OA; Treviño-Gaza, EJ. Razo-Zárate, R. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*. 5(3):317-327.
- Rodríguez Sánchez, VM. 2013. Estimación dasométrica de carbono almacenado en un bosque de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. del Paraje el Cedral del Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. Tesis de pregrado Bióloga. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 113 p.
- Rügnitz, MT; Chacón, ML. y Porro, R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. 1. Ed. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consortio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.
- Salas Macías, CA. 2018. Valoración de la Sostenibilidad en Territorios Rurales. Caso: Pacoche – Manabí – Ecuador. Tesis de postgrado Doctor en Ingeniería y Ciencias Ambientales. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 140 p.
- Schlegel, B; Gayoso, J. y Guerra, J. 2000. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Manual de procedimientos. Muestreos de Biomasa Forestal. UACH, Valdivia, Chile. 26 p.

- Schlegel, B; Gayoso, J. y Guerra, J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Manual de procedimientos para Inventarios de Carbono en Ecosistemas Forestales. UACH, Valdivia, Chile. 26 p.
- Segura, M. Andrade, HJ. 2008. ¿Cómo estimar rápidamente el carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca, Costa Rica? *Agroforestería en las Américas* (46):97-103.
- Segura Madrigal, MA. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de postgrado Licenciada en ciencias Forestales. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional. 126 p.
- Sosa Castillo, JO. 2016. Valoración económica del secuestro de CO<sub>2</sub> en tres tipos de bosque en el distrito de Alto Nanay, Loreto-Perú-2014. Tesis de pregrado Ingeniero Forestal. Iquitos, Perú. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 94 p.
- Torres Garcia, ME, 2008. Determinación de Ecuaciones Alométricas para Estimar Biomasa Aérea y Captura de CO<sub>2</sub> En Bolaina ( *Guazuma crinita* C. Martius), en el Sector de Santa Rosa de Shapajilla. Tesis de pregrado Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Mención Forestales. Tingo María - Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 69 p.
- Vásquez Campos, EJ. 2019. Influencia de las variables climatológicas en la estimación de captura de carbono de especies arbóreas en el bosque seco de Jaén, Cajamarca. Tesis de pregrado. Ingeniero forestal. Jaén, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 115 p.

Villavicencio Gómez, XA. 2015. Estimación del carbono almacenado en biomasa aérea en plantación de Teca (*Tectona grandes* L. F.), ubicada en la parroquia Huámbi, provincia de Morona Santiago. Tesis de pregrado Ingeniero en Manejo y conservación del medio ambiente. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja. 123 p.

Whaley, OQ; Orellana, A; Pérez, E; Tenorio, M; Quinteros, F; Mendoza, M & Pecho, O. 2010. Plantas y Vegetación de Ica, Perú – Un recurso para su restauración y conservación. 1º Ed. Lima – Perú. Royal Botanic Gardens, Kew.

Yaranga Cano, RM. y Custodio Villanueva, M. 2013. Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria*, 4:313-319.

Zegarra, R. 2011. Las Especies Madereras del Departamento de Tacna. Su Impacto Ecológico. *Revista Ciencia y Desarrollo* 13: 36-42.

## CAPITULO VII

### ANEXOS

#### 7.1. Datos de ubicación de parcelas

**Tabla 17:** Coordenadas de ubicación y altitud de la parcela 01.

PARCELA 01	COORDENADAS		ALTITUD
	X	Y	
CENTRO	813377	9245149	2359
VERTICE A	813388	9245139	2355
VERTICE B	813388	9245160	2352
VERTICE C	813366	9245159	2361
VERTICE D	813367	9245138	2369

**Tabla 18:** Coordenadas de ubicación y altitud de la parcela 02.

<b>PARCELA</b>	<b>COORDENADAS</b>		<b>ALTITUD</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>	
<b>02</b>			
CENTRO	812686	9247467	1892
VERTICE A	812697	9247456	1893
VERTICE B	812697	9247477	1890
VERTICE C	812675	9247478	1891
VERTICE D	812676	9247457	1894

**Tabla 19:** Coordenadas de ubicación y altitud de la parcela 03.

<b>PARCELA</b>	<b>COORDENADAS</b>		<b>ALTITUD</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>	
<b>03</b>			
CENTRO	811953	9249045	1671
VERTICE A	811964	9249034	1672
VERTICE B	811964	9249056	1668
VERTICE C	811942	9249056	1670
VERTICE D	811942	9249035	1674

**Tabla 20:** Coordenadas de ubicación y altitud de la parcela 04.

<b>PARCELA</b>	<b>COORDENADAS</b>		<b>ALTITUD</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>	
<b>04</b>			
CENTRO	813782	9247847	2036
VERTICE A	813792	9247837	2042
VERTICE B	813793	9247858	2040
VERTICE C	813771	9247858	2029
VERTICE D	813771	9247836	2033

## 7.2. Registro del número de árboles por parcela

**Tabla 21:** Árboles de la parcela 01.

CODIGO	COORDENADAS		ALTITUD	DAP >	DAP <	DAP cm
	X	Y				
P1 - A1	813382	9245140	2358	12.5	11	11.75
P1 - A2	813382	9245141	2358	9.2	8.4	8.80
P1 - A3	813382	9245141	2358	10.2	9.6	9.90
P1 - A4	813382	9245140	2358	7.2	5.7	6.45
P1 - A5	813382	9245140	2358	9.7	8.6	9.15
P1 - A6	813368	9245140	2357	8.95	7.95	8.45
P1 - A7	813368	9245140	2355	7.2	6.3	6.75
P1 - A8	813368	9245139	2356	8.7	8.2	8.45
P1 - A9	813368	9245146	2355	6.7	6.3	6.50
P1 - A10	813368	9245146	2355	10.2	10	10.10
P1 - A11	813368	9245146	2355	11.7	10	10.85
P1 - A12	813367	9245149	2354	5.9	5.2	5.55
P1 - A13	813368	9245156	2354	5.1	5	5.05
P1 - A14	813368	9245156	2354	10.5	10.2	10.35
P1 - A15	813377	9245156	2354	6.3	5.6	5.95
P1 - A16	813377	9245156	2357	5.4	5	5.20
P1 - A17	813377	9245156	2358	5.4	5.1	5.25
P1 - A18	813377	9245157	2357	6.8	6	6.40
P1 - A19	813378	9245156	2357	8.95	7.05	8.00
P1 - A20	813383	9245154	2357	7	6.6	6.80
P1 - A21	813384	9245149	2361	11.4	10.1	10.75

---

P1 - A22	813384	9245149	2361	14.3	9.8	12.05
P1 - A23	813382	9245142	2360	6.7	6.4	6.55
P1 - A24	813387	9245142	2360	6.1	5.8	5.95
P1 - A25	813385	9245149	2362	8.1	7.6	7.85
P1 - A26	813386	9245157	2362	8.1	7.1	7.60
P1 - A27	813386	9245156	2362	9.1	8.7	8.90
P1 - A28	813386	9245156	2362	6.2	5.45	5.83
P1 - A29	813386	9245156	2363	7.4	7.3	7.35
P1 - A30	813385	9245156	2363	7.6	6.6	7.10
P1 - A31	813373	9245150	2363	11.9	11.3	11.60
P1 - A32	813373	9245150	2364	14.8	13.7	14.25

---



**Tabla 22:** Árboles de la parcela 02.

CODIGO	COORDENADAS		ALTITUD	DAP >	DAP <	DAP cm
	X	Y				
P2 - A1	812695	9247457	1925	4.8	4.2	4.5
P2 - A2	812695	9247457	1925	6.4	6	6.2
P2 - A3	812695	9247457	1925	5.6	5.6	5.6
P2 - A4	812696	9247461	1911	6.8	6	6.4
P2 - A5	812696	9247461	1911	6.4	6.15	6.275
P2 - A6	812696	9247461	1911	6.45	5.85	6.15
P2 - A7	812696	9247461	1911	7.95	7.9	7.925
P2 - A8	812693	9247464	1897	10	9.7	9.85
P2 - A9	812688	9247462	1897	7.6	7.3	7.45
P2 - A10	812688	9247462	1897	7.4	5.5	6.45
P2 - A11	812687	9247471	1897	9.1	8.2	8.65
P2 - A12	812686	9247472	1899	5	4.5	4.75
P2 - A13	812686	9247472	1899	6.2	5.6	5.9
P2 - A14	812688	9247476	1893	5.2	4.9	5.05
P2 - A15	812688	9247476	1893	5.7	4.8	5.25
P2 - A16	812688	9247476	1893	7.5	6.6	7.05
P2 - A17	812688	9247476	1893	5	4.7	4.85
P2 - A18	812688	9247476	1893	5.1	5	5.05
P2 - A19	812693	9247475	1893	5.2	4.8	5
P2 - A20	812683	9247477	1894	7.1	6.1	6.6
P2 - A21	812681	9247477	1894	8	6.1	7.05
P2 - A22	812680	9247477	1894	5.5	5.5	5.5

---

P2 - A23	812680	9247477	1894	5	4.6	4.8
P2 - A24	812680	9247476	1894	5.6	5.5	5.55
P2 - A25	812676	9247476	1895	7.8	6.5	7.15
P2 - A26	812676	9247466	1894	6.4	5.55	5.975
P2 - A27	812681	9247466	1894	7	7	7
P2 - A28	812681	9247466	1894	10.5	9.5	10
P2 - A29	812681	9247466	1894	6.6	6.4	6.5
P2 - A30	812677	9247461	1896	7.45	6.7	7.075
P2 - A31	812677	9247458	1895	7	6.3	6.65
P2 - A32	812685	9247458	1895	6.3	5.7	6
P2 - A33	812683	9247461	1894	8	7.9	7.95
P2 - A34	812683	9247464	1893	6.5	6.4	6.45
P2 - A35	812683	9247465	1893	6.7	6.5	6.6
P2 - A36	812683	9247465	1893	6	5.7	5.85
P2 - A37	812683	9247465	1893	7.2	6.7	6.95
P2 - A38	812683	9247465	1893	7.4	6.8	7.1
P2 - A39	812683	9247465	1893	7.3	6.9	7.1

---

**Tabla 23:** Árboles de la parcela 03.

CODIGO	COORDENADAS		ALTITUD	DAP >	DAP <	DAP cm
	X	Y				
P3 - A1	811961	9249035	1670	7.525	6.9	7.21
P3 - A2	811961	9249039	1670	8.8	8.7	8.75
P3 - A3	811961	9249039	1670	8	7	7.50
P3 - A4	811963	9249039	1671	7.45	5.95	6.70
P3 - A5	811959	9249043	1670	5.7	5.7	5.70
P3 - A6	811958	9249043	1671	5.7	5.6	5.65
P3 - A7	811962	9249045	1671	10.6	7.5	9.05
P3 - A8	811962	9249045	1671	8.6	5.8	7.20
P3 - A9	811956	9249047	1670	7.6	7.2	7.40
P3 - A10	811957	9249051	1671	8.2	6.2	7.20
P3 - A11	811959	9249052	1671	6	5.6	5.80
P3 - A12	811962	9249052	1671	5.5	5.3	5.40
P3 - A13	811962	9249053	1670	7.3	7	7.15
P3 - A14	811961	9249055	1671	5	4.6	4.80
P3 - A15	811955	9249054	1671	8.5	7.6	8.05
P3 - A16	811951	9249053	1671	8.1	6.9	7.50
P3 - A17	811951	9249054	1672	6	5.6	5.80
P3 - A18	811951	9249054	1672	6.5	6.5	6.50
P3 - A19	811944	9249054	1671	7.4	6	6.70
P3 - A20	811943	9249054	1671	7.2	6.5	6.85
P3 - A21	811946	9249052	1673	5.8	5.5	5.65
P3 - A22	811946	9249051	1674	5.05	4.65	4.85

---

P3 - A23	811946	9249051	1674	5.6	4.9	5.25
P3 - A24	811945	9249050	1674	5.1	5	5.05
P3 - A25	811946	9249048	1675	5.9	5.3	5.60
P3 - A26	811946	9249048	1675	10	9.9	9.95
P3 - A27	811943	9249044	1676	8.3	8.1	8.20
P3 - A28	811943	9249044	1676	8.8	7.8	8.30
P3 - A29	811945	9249042	1677	5.2	4.7	4.95
P3 - A30	811949	9249042	1677	6.8	5.7	6.25
P3 - A31	811949	9249042	1677	5.3	5.1	5.20
P3 - A32	811952	9249044	1678	6.05	5.1	5.58
P3 - A33	811951	9249036	1680	8	7.7	7.85

---

**Tabla 24:** Árboles de la parcela 04.

CODIGO	COORDENADAS		ALTITUD	DAP >	DAP <	DAP cm
	X	Y				
P4 - A1	813792	9247838	2042	8.4	7.7	8.05
P4 - A2	813788	9247839	2040	5.75	5	5.38
P4 - A3	813789	9247839	2040	6.5	6.3	6.40
P4 - A4	813787	9247842	2039	6.3	5.6	5.95
P4 - A5	813787	9247842	2039	5.7	5.1	5.40
P4 - A6	813786	9247842	2039	7.6	7.3	7.45
P4 - A7	813786	9247842	2039	8.3	8.1	8.20
P4 - A8	813786	9247842	2039	7.3	7.1	7.20
P4 - A9	813786	9247842	2039	6.7	6.4	6.55
P4 - A10	813788	9247846	2039	6	5.7	5.85
P4 - A11	813788	9247846	2039	6.3	5	5.65
P4 - A12	813789	9247848	2040	10.3	9	9.65
P4 - A13	813790	9247848	2040	7.3	6.7	7.00
P4 - A14	813788	9247850	2039	8.5	6.9	7.70
P4 - A15	813788	9247850	2039	6	5.6	5.80
P4 - A16	813790	9247852	2039	5.4	4.7	5.05
P4 - A17	813790	9247853	2039	6.2	6.1	6.15
P4 - A18	813790	9247853	2039	6.9	6.65	6.78
P4 - A19	813790	9247853	2039	7.5	6.2	6.85
P4 - A20	813790	9247852	2039	5.8	5.7	5.75
P4 - A21	813785	9247855	2037	7	6	6.50
P4 - A22	813778	9247850	2034	5.8	4.4	5.10

---

P4 - A23	813778	9247850	2034	5.6	4.5	5.05
P4 - A24	813778	9247850	2034	6.9	6	6.45
P4 - A25	813778	9247850	2034	5.6	5.2	5.40
P4 - A26	813775	9247855	2032	6.3	5.2	5.75
P4 - A27	813773	9247854	2031	9.8	9.2	9.50
P4 - A28	813773	9247850	2032	8.9	8.5	8.70
P4 - A29	813773	9247844	2033	9	7.5	8.25
P4 - A30	813773	9247844	2033	8.5	8.2	8.35
P4 - A31	813773	9247844	2033	8.5	7	7.75
P4 - A32	813778	9247844	2035	6.1	6	6.05
P4 - A33	813778	9247838	3036	6.7	6.3	6.50
P4 - A34	813778	9247838	3036	6.5	6.1	6.30
P4 - A35	813773	9247838	2033	6.7	5.6	6.15
P4 - A36	813773	9247838	2033	7.4	7.2	7.30

---

### 7.3. Biomasa y carbono total

**Tabla 25:** Resultados para biomasa y carbono total.

CÓDIGO	DAP	PESO FRESCO AÉREO TOTAL	% HUMEDAD AÉREA	% C AÉREO	PESO SECO AÉREO TOTAL	PESO SECO RAIZ	CC AÉREO	CC RAIZ	BIOMASA TOTAL POR ÁRBOL	CCT
P1 - A12	5.55	21.00	49.08%	53.94%	10.69	2.14	5.77	1.15	12.83	6.92
P1 - A27	8.90	58.80	45.03%	54.49%	32.32	6.46	17.61	3.52	38.79	21.14
P1 - A29	7.35	41.15	52.83%	53.06%	19.41	3.88	10.30	2.06	23.29	12.36
P2 – A08	9.85	75.55	45.52%	52.72%	41.16	8.23	21.70	4.34	49.39	26.04
P2 - A13	5.90	24.10	41.03%	52.19%	14.21	2.84	7.42	1.48	17.05	8.90
P2 - A25	7.15	34.65	45.72%	52.45%	18.81	3.76	9.87	1.97	22.57	11.84
P3 - A21	5.65	21.85	45.10%	52.40%	12.00	2.40	6.29	1.26	14.40	7.54
P3 - A27	8.20	57.10	46.48%	52.60%	30.56	6.11	16.07	3.21	36.67	19.29
P3 - A33	7.85	49.30	42.42%	52.05%	28.39	5.68	14.77	2.95	34.06	17.73
P4 – A06	7.45	41.79	49.72%	51.76%	21.01	4.20	10.88	2.18	25.22	13.05
P4 - A10	5.85	22.45	48.13%	53.81%	11.65	2.33	6.27	1.25	13.97	7.52
P4 - A28	8.70	78.30	53.70%	52.92%	36.25	7.25	19.18	3.84	43.50	23.02

#### 7.4. Panel fotográfico



**Foto 1:** Determinación de la orientación de la parcela



**Foto 2:** Medición de coordenadas (centro y vértices) de la parcela.





**Foto 3:** Identificación, medición y registro del DAP



**Foto 4:** Medición para ubicación de los vértices de la parcela.



**Foto 5:**Recolección y preparación de muestras botánicas para su identificación.





**Foto 6:** Medición de la altura.





**Foto 7:** Corte, separación y pesado de componentes.





**Foto 8:** Toma de muestras (fuste, ramas y hojas) para análisis.



**Foto 9:** Preparación de las muestras para envío a laboratorio.

## 7.5. Constancias de identificación de muestras botánicas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ÁREA DE BOTÁNICA  
**HERBARIO CPUN "ISIDORO SÁNCHEZ VEGA"**  
herbariocpun@gmail.com Av. Atahualpa N° 1050 - Cajamarca



EL CURADOR DEL HERBARIO CPUN "ISIDORO SÁNCHEZ VEGA", DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA – PERÚ

### HACE CONSTAR:

Que las muestras botánicas del Sector de: Chuclalás, La Represa, Llangat y La Llave presentado por el Sr: Segundo Evelio, Acosta Marín. Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca – Filial Celendín, es parte del Proyecto de tesis: Estimación del carbono almacenado en el huarango (*Acacia macracantha*), en el distrito de Celendín, las cuales fueron estudiadas y determinadas científicamente en esta institución como:

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
<i>Acacia macracantha</i> Willd.	"Huarango"	FABACEAE


### Categorías taxonómica:

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Fabales  
Familia: Fabaceae  
Género: *Acacia*  
Especie: *Acacia macracantha* Willd.

Se expide la presente constancia al interesado para los fines que se estime conveniente.



Cajamarca, 05 de marzo del 2020

  
MSc. Ing. Juan F. Montoya Quino  
Curador del Herbario "Isidoro Sánchez Vega"  
CPUN-UNC

## 7.6. Resultados de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES




### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SEGUNDO EVELIO ACOSTA MARIN  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CELENDIN/ CELENDIN  
MUESTRA : FUSTE  
REFERENCIA : H.R. 73746  
BOLETA : 4441  
FECHA : 10/02/2021

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Peso seco g	C %
279	P1 - A12	158.45	56.65
280	P1 - A27	575.07	56.86
281	P1 - A29	240.10	55.98
282	P2 - A8	575.15	56.26
283	P2 - A13	214.59	56.76
284	P2 - A25	281.88	55.98
285	P3 - A21	189.55	56.17
286	P3 - A27	367.17	56.15
287	P3 - A33	525.98	55.92
288	P4 - A6	290.84	55.69
289	P4 - A10	202.55	56.84
290	P4 - A28	420.64	56.09



  
Ing. Brulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
Celular: 946-505-254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SEGUNDO EVELIO ACOSTA MARIN  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CELENDIN/ CELENDIN  
MUESTRA : RAMAS  
REFERENCIA : H.R. 73747  
BOLETA : 4441  
FECHA : 10/02/2021

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Peso seco g	C %
291	P1 - A12	47.23	57.84
292	P1 - A27	94.00	55.55
293	P1 - A29	102.06	56.11
294	P2 - A8	137.84	56.46
295	P2 - A13	74.61	56.14
296	P2 - A25	82.81	55.98
297	P3 - A21	116.74	55.78
298	P3 - A27	198.91	56.42
299	P3 - A33	91.70	55.62
300	P4 - A8	116.34	55.74
301	P4 - A10	93.45	56.78
302	P4 - A28	124.22	56.11



*B. La Torre*  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
Celular: 946 - 505 - 254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe






## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SEGUNDO EVELIO ACOSTA MARIN  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CELENDIN/ CELENDIN  
MUESTRA : HOJAS  
REFERENCIA : H.R. 73748  
BOLETA : 4441  
FECHA : 10/02/2021

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Peso seco g	C %
303	P1 - A12	91.86	47.33
304	P1 - A27	92.72	51.06
305	P1 - A29	86.29	47.10
306	P2 - A8	95.08	45.43
307	P2 - A13	116.08	43.68
308	P2 - A25	86.98	45.40
309	P3 - A21	88.78	45.24
310	P3 - A27	83.25	45.24
311	P3 - A33	93.39	44.60
312	P4 - A6	80.00	43.85
313	P4 - A10	61.16	47.80
314	P4 - A28	69.94	46.56



  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

## 7.7. Formato de registro de datos de campo

Región: _____ Caserío: _____ Coordenadas: _____ / _____										
Propietario: _____ Área: _____ Parcela: _____										
Fecha: ____/____/____										
Nº	Coordenadas		DAP (cm)			Diámetro de Copa (m)			Altura (m)	Especie
	X	Y	Mayor	Menor	Promedio	Mayor	Menor	Promedio		
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
Observaciones:										

Adaptado de Cuellar y Salazar, (2016)

