

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**“CAPTURA DE CARBONO DE UN BOSQUE DE NEBLINA DEL  
PARQUE NACIONAL DE CUTERVO - CAJAMARCA, COMO  
MITIGACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO”**

**TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO FORESTAL**

PRESENTADO POR LA BACHILLER:

**SANDRA MARIBEL AVELLANEDA ALARCÓN**

ASESORES

**ING. M. Sc. GERMÁN PÉREZ HURTADO**

**ING. M. Cs. JORGE ANTONIO DELGADO SOTO**

**JAÉN – PERÚ**

**2022**



**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**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**  
**FILIAL JAÉN**  
Bolívar N° 1342 - Plaza de Armas - Telfs. 431907 - 431080  
JAÉN - PERÚ



### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **veinte** días del mes de **octubre** del año dos mil veintidós, se reunieron en el **ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal- Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N°057-2022-FCA-UNC, de fecha 02 de marzo del 2022, con el objetivo de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulada: "**CAPTURA DE CARBONO DE UN BOSQUE DE NEBLINA DEL PARQUE NACIONAL DE CUTERVO - CAJAMARCA, COMO MITIGACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO**", ejecutado por la Bachiller en Ciencias Forestales, **Doña SANDRA MARIBEL AVELLANEDA ALARCÓN**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **doce** horas y **cero** 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 **dieciséis (16)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **trece** horas y **treinta** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 20 de octubre de 2022.

  
Ing. M. Cs. Leiver Flores Flores  
PRESIDENTE

  
Ing. M. Sc. Vito y Becerra Montalvo  
SECRETARIO

  
Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre de los Ríos  
VOCAL

  
Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado  
ASESOR

  
Ing. M. Cs. Jorge Antonio Delgado Soto  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis amados padres, Alfredo y Magdalena, a mis hermanos y a toda mi familia por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor incondicional, estoy muy agradecida.

Sandra Maribel

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la vida, la salud, la fe y la fortaleza de haber permitido llegar hasta este momento y poder lograr muchos objetivos y además de ofrecerme su infinita bondad.

A mis asesores: Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado, e Ing. M. Cs. Jorge Antonio Delgado Soto, por el asesoramiento y continuo apoyo para la realización de esta investigación.

Al Parque Nacional de Cutervo por proporcionarme información para el desarrollo de este estudio: Ing. Mario Tafur Rojas, Ing. Ermes Yvan Malaver Mendoza y a los guardaparques Carlos Onaldo Carrero Lozada, e Ydo Minel Cuchupoma Romero por el apoyo brindado sea en la información, apoyo logístico y humano.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

## ÍNDICE

	Pág.
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ACRÓNIMOS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Antecedentes de investigación	16
2.2 Bases teóricas	20
2.2.1 Bosque de Neblina	20
2.2.2 Bosque, clima y hombre	25
2.2.3 Ciclo del Carbono	26
2.2.4 Desarrollo sostenible	29
2.2.5 Áreas Naturales Protegidas (ANP)	45
2.2.6 Parque Nacional de Cutervo	47
2.2.7 Procedimiento para determinar el carbono acumulado en ecosistemas forestales	55
2.2.8 CarbonFix Standard (CFS)	59
2.3 Definición de términos básicos	60
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	63
3.1 Localización de la investigación	63

3.1.1 Tipo y diseño de investigación	63
3.1.2 Matriz de operacionalización de variables	64
3.1.3 Población, muestra y unidad de análisis	65
3.1.4 Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos	67
3.1.5 Validación por expertos y prueba de confiabilidad de instrumentos	67
3.1.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	68
3.1.7 Aspectos éticos	68
3.1.8 Presentación de la información	68
3.1.9 Matriz de consistencia	68
3.2 Materiales, equipos, herramientas e insumos	68
3.3 Metodología	69
3.3.1 Delimitación del área de estudio	69
3.3.2 Registro de información a nivel de campo	71
3.3.3 Cálculos para la estimación de carbono acumulado	72
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>77</b>
4.1 Captura de carbono acumulado en biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP	77
4.2 Captura de carbono acumulado en la biomasa de árboles $\geq 5$ y < 10 cm de DAP	77
4.3 Captura de carbono acumulado en la biomasa de árboles $\geq 10$ cm de DAP	80
4.4 Captura de carbono acumulado en hojarasca	84
4.5 Captura de carbono en el suelo	84
4.6 Análisis de los resultados sobre captura de carbono de un bosque de neblina del PNC, como medida de mitigación frente al cambio climático	88
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>92</b>
5.1 Conclusiones	92
5.2 Recomendaciones	93

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
CAPÍTULO VII: ANEXO	106
Anexo 1 Matriz de validación por expertos	106
Anexo 2 Matriz de consistencia	113
Anexo 3 Certificado de identificación dendrològica	114
Anexo 4 Ensayo de materia orgánica en suelo forestal	115
Anexo 5 Georreferenciación de la parcela de 100 m <sup>2</sup> y subparcelas de muestreo	116
Anexo 6 Composición florística de la parcela evaluada	118
Anexo 7 Registro de datos de biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP	119
Anexo 8 Registro de datos procesados por parcela en la biomasa de árboles ≥ 5 cm y < 10 cm de DAP	120
Anexo 9 Registro de datos procesados por parcela en la biomasa de árboles ≥ 10 cm de DAP	121
Anexo 10 Registro de datos de hojarasca	122
Anexo 11 Registro de datos de suelo	123
Anexo 12 Panel fotográfico	124
Anexo 13 Resolución del jefe del Parque Nacional de Cutervo	134

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Depósitos superficiales de C en bosques tropicales</i>	26
Tabla 2 <i>Balance global (Pg C) del Carbono</i>	29
Tabla 3 <i>Número de Áreas Naturales Protegidas según su categoría y extensión en el Perú</i>	47
Tabla 4 <i>Coordenadas UTM del área de estudio en el bosque húmedo del Parque Nacional de Cutervo</i>	63
Tabla 5 <i>Formatos para registro de especies en inventario</i>	71
Tabla 6 <i>Resumen de datos evaluados en el inventario de árboles con DAP <math>\geq 5</math> y <math>&lt; 10</math> cm, en el bosque de neblina (PNC) (CarbonFix Standard (CFS))</i>	77
Tabla 7 <i>Resumen de datos evaluados en el inventario de árboles <math>\geq 10</math> cm de DAP, en el bosque de neblina (Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))</i>	80
Tabla 8 <i>Densidad aparente del suelo de cada una de las muestras</i>	87
Tabla 9 <i>División Pteridophyta</i>	89
Tabla 10 <i>División Gimnospermae</i>	89
Tabla 11 <i>División Angiospermae – clase Dicotyledoneae</i>	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1	<i>El ciclo terrestre del carbono: el carbono del suelo y el carbono global Disponible.</i>	28
Figura 2	<i>El ciclo global de Carbono</i>	28
Figura 3	<i>Diseño de la parcela de inventario de carbono</i>	57
Figura 4	<i>Medición in-situ del diámetro a la altura del pecho, en las situaciones 4,7 y 8 se traslada la cinta diamétrica a la posición b para medir el DAP</i>	58
Figura 5	<i>Mapa de ecosistemas del Parque Nacional de Cutervo</i>	66
Figura 6	<i>Diseño de la parcela de evaluación</i>	70
Figura 7	<i>Diseño de la subparcela de muestreo</i>	70
Figura 8	<i>Carbono acumulado en la biomasa de árboles <math>\geq 5</math> y <math>&lt; 10</math> cm de DAP en el bosque de neblina (Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))</i>	78
Figura 9	<i>Estimación del servicio ambiental de fijación de CO<sub>2</sub> en la biomasa de árboles <math>\geq 5</math> y <math>&lt; 10</math> cm de DAP en el bosque de neblina (Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))</i>	79
Figura 10	<i>Carbono acumulado en la biomasa de árboles <math>\geq 10</math> cm de DAP en el bosque de neblina (Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))</i>	81
Figura 11	<i>Estimación del servicio ambiental de fijación de CO<sub>2</sub> en la biomasa de árboles <math>\geq 10</math> cm de DAP en el bosque de neblina (Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))</i>	83

## ACRÓNIMOS

ACM-BH	Área de Conservación Municipal “Bosque de Huamantanga”
ANP	Áreas Naturales Protegidas
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono (1 tC a 3.666 t CO <sub>2</sub> )
COP	Conferencia de las partes
COS	Carbono orgánico en el suelo
DAP	Diámetro a la altura de pecho (130 cm del suelo)
FAO	Fondo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GCP	El Pacto Climático de Glasgow
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gt	Giga tonelada (GtC: giga tonelada de carbono, 1Gt = 1.000.000.000 t)
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MINAM	Ministerio del Ambiente
MOS	Materia orgánica en el suelo
Mt	Mega tonelada (millón de toneladas)
NDC	Contribuciones Nacionalmente Determinadas
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMM	Organización Meteorológica Mundial
OSINFOR	Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre
Pg	Petagramo (1 Pg = 10 <sup>15</sup> g = Gt)
PM PNC	Plan Maestro del Parque Nacional de Cutervo

PNC	Parque Nacional de Cutervo
PNCBMCC	Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PSA	Pago por Servicios Ambientales
REDD+	Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques"; el símbolo "+" implica que en su implementación hay componentes de conservación, gestión sostenible de los bosques con participación de población local y aumento de las reservas forestales de carbono.
SARS CoV-2	Coronavirus de tipo 2 causante del síndrome respiratorio agudo severo
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
SERNAP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
SIG	Sistema de Información Geográfica
SINANPE	El Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas
USD	Dólar americano
VTE	Volumen total existente
ZA	Zona de amortiguamiento

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar la cantidad de captura de carbono orgánico en una hectárea de un Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo - Cajamarca, como medida de mitigación frente al cambio climático. El área se subdividió en 25 subparcelas cuadrada de 400 m<sup>2</sup> cada una, seleccionándose 5 subparcelas de muestreo, 4 de ellas ubicadas en los vértices de la parcela y 1 en el centro; en las cuales se evaluó la biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP, hojarasca y suelo a 30 cm de profundidad y se hizo un inventario de las especies forestales ≥ 5 cm de DAP en toda la unidad de muestreo. Se empleó el manual propuesto por Schlegel et al., (2001) y la norma internacional de la Asociación CarbonFix Standard (CFS) Versión 2.0. Los resultados de las evaluaciones fueron: en biomasa de tallos leñosos para individuos < 5 cm de DAP 6.39 tC ha<sup>-1</sup>, en biomasa de árboles con DAP ≥ 5 y < 10 cm 8.87 tC ha<sup>-1</sup>, en biomasa de árboles DAP ≥ 10 cm 671.84 tC ha<sup>-1</sup>, en hojarasca 7.94 tC ha<sup>-1</sup> y en suelo 54.37 tC ha<sup>-1</sup>. Se concluyó que, el bosque de neblina evaluado posee una acumulación promedio total de carbono de 749.71 tC ha<sup>-1</sup>. Se estimó una fijación de 3,074,465.31 tCO<sub>2</sub> comercializable, esto muestra que la conservación del bosque de neblina evaluado del PNC – sector Norte es una opción costo – eficaz para mitigar el cambio climático.

**Palabras clave:** cambio climático, carbono, carbono acumulado, biomasa, mitigación.

## ABSTRACT

The objective of the research was to determine the amount of organic carbon sequestration in one hectare of a cloud forest in the Cutervo - Cajamarca National Park, as a mitigation measure against climate change. The area was subdivided into 25 square subplots of 400 m<sup>2</sup> each, selecting 5 sampling subplots, 4 of them located at the corners of the plot and 1 in the center; in which the biomass of woody stems < 5 cm DBH, leaf litter and soil was evaluated at 30 cm depth and an inventory of forest species ≥ 5 cm DBH was made throughout the sampling unit. The manual proposed by Schlegel et al., (2001) and the international standard of the CarbonFix Standard (CFS) Association Version 2.0 were used. The results of the evaluations were: in biomass of woody stems for individuals < 5 cm DBH 6.39 tC ha<sup>-1</sup>, in biomass of trees with DBH ≥ 5 and < 10 cm 8.87 tC ha<sup>-1</sup>, in biomass of trees DBH ≥ 10 cm 671.84 tC ha<sup>-1</sup>, in litter 7.94 tC ha<sup>-1</sup> and in soil 54.37 tC ha<sup>-1</sup>. It was concluded that the evaluated cloud forest has an average total carbon accumulation of 749.71 tC ha<sup>-1</sup>. A fixation of 3,074,465.31 marketable tCO<sub>2</sub> was estimated, this shows that the conservation of the evaluated cloud forest of the PNC - Northern sector is a cost-effective option to mitigate climate change.

**Key words:** climate change, carbon, carbon stocks, biomass, mitigation.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

El cambio climático, es definido por la Convención Marco de las Naciones Unidas (UNFCCC, 1992) como “El cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. Es importante entender que la influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de gases de efecto invernadero como metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y en especial las de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son las más altas de la historia (IPCC, 2014).

De acuerdo con estudios recientes, estas emisiones han sobrepasado la capacidad de los bosques y los océanos para secuestrar el CO<sub>2</sub> un elemento clave del metabolismo de las plantas y como consecuencia su concentración en la atmósfera ha aumentado en más, alcanzando niveles críticos que ponen en riesgo la estabilidad climática del planeta (Harris et al., 2011). Una de las formas de mitigar estos efectos negativos y reducir las emisiones de carbono antropogénicas, es secuestrándolo, fijándolo o capturándolo y conservarlo en la biomasa arbórea y en el suelo. El primer caso se obtiene a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica.

La captura de carbono fue evaluada en un bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo – sector Norte, en este sector el bosque representa el 27.27 % (2240.02 ha) del total del Área Natural Protegida. En los últimos años se han desarrollado investigaciones para conocer el papel fundamental de los bosques tropicales en el ciclo global del carbono, lo que ha permitido saber la contribución de muchos bosques en el almacenamiento y fijación de carbono. No obstante, la falta de reportes sobre captura de carbono en áreas como el Parque Nacional de Cutervo impulsó a realizar la investigación. El presente trabajo tuvo como objetivo

general: Determinar la cantidad de captura de carbono orgánico en una hectárea de Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo - Cajamarca, como medida de mitigación frente al cambio climático; y como objetivos específicos:

- ✓ Determinar la captura de carbono acumulado en biomasa de tallos leñosos  $< 5$  cm de DAP.
- ✓ Determinar la captura de carbono acumulado en la biomasa de árboles  $\geq 5$  cm y  $< 10$  cm de DAP.
- ✓ Determinar la captura de carbono acumulado en la biomasa de árboles  $\geq 10$  cm de DAP.
- ✓ Determinar la captura de carbono acumulado en la hojarasca.
- ✓ Determinar la captura de carbono acumulado en el suelo.
- ✓ Analizar los resultados de captura de carbono de un bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo, como medida de mitigación frente al cambio climático.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Antecedentes de investigación

Jara (2015) estimó la acumulación de carbono orgánico en dos ecosistemas: bosque siempreverde y pradera naturalizada, sur de Chile. Para lo cual realizó un inventario forestal, muestreo de residuos leñosos gruesos y mantillo para el bosque, mientras que la pradera consideró muestreo de biomasa. La biomasa aérea del bosque se estimó utilizando funciones alométricas. Para el suelo, en ambos usos se obtuvieron muestras a distintas profundidades (0-5, 5-15, 15-30 cm). Se realizaron análisis químicos para la determinación del carbono total en muestras de suelo y de mantillo. La determinación de carbono en la biomasa fue realizada utilizando el factor 0,5 del IPCC. Como resultado el carbono total acumulado en la biomasa aérea del bosque alcanzó a  $167 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , en residuos leñosos gruesos fue  $7 \text{ Mg C ha}^{-1}$  al igual que el mantillo; para la pradera la acumulación aérea de carbono fue de  $1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . El suelo de la pradera acumuló  $229 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y del bosque  $253 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . El tipo de uso del suelo mostró diferencias importantes no sólo en la cantidad total acumulada, sino que también en la distribución en los diferentes componentes de los ecosistemas presentes.

Álvarez et al. (2013) evaluó el contenido de C en los almacenes aéreos y subterráneos para cinco comunidades de bosque montano de niebla en Oaxaca- México, situadas entre 1500 y 2500 m de altitud. El diseño fue de muestreo jerárquico anidado y las variables fueron C en la biomasa arbórea, estrato herbáceo y arbustivo, material leñoso muerto, mantillo, raíces finas y suelo mineral para cada comunidad vegetal. La suma de los distintos almacenes indicó que el C acumulado fue mayor a 1500 y 2500 m ( $440$  y  $420 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), y entre 1950 y 2400 m fue  $354 \text{ Mg ha}^{-1}$ . En promedio, la reserva de carbono en biomasa y suelo para los bosques montanos de niebla fue  $384.16 \pm 40.13 \text{ Mg ha}^{-1}$ . La conformación de estos almacenes está regulada por

las variaciones biofísicas dentro del intervalo altitudinal, traducidas en cambios florísticos y estructurales de la vegetación, en la producción y preservación de residuos orgánicos poco transformados en la superficie del suelo, así como por la capacidad de este último para formar asociaciones órgano minerales que estabilicen el carbono orgánico en el suelo.

Sosa (2014), realizó la evaluación de la biomasa aérea en tres tipos de bosque en el distrito del Alto Nanay, provincia de Maynas, departamento Loreto. A fin de estimar el stock de carbono y valorar económicamente el secuestro  $\text{CO}_2$  en los bosques de terraza baja, colina baja y colina alta. Como resultado de la investigación el stock de carbono por tipo de bosque es  $88.55 \text{ tC ha}^{-1}$  al bosque de terraza baja,  $127.62 \text{ tC ha}^{-1}$  muestra el bosque de colina baja y  $142.50 \text{ tC ha}^{-1}$  ostenta el bosque de colina alta. El mayor secuestro de  $\text{CO}_2$  por tipo de bosque le constituye al bosque de colina alta con  $522.44 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$ , seguido del bosque de colina baja con  $467.90 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$  y  $324.66 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$  le pertenece al bosque de terraza baja. El bosque de colina alta reporta el mayor valor económico de secuestro de  $\text{CO}_2$  con  $4116.86 \text{ USD ha}^{-1}$ , le sigue en importancia el bosque de colina baja con  $3687.09 \text{ USD ha}^{-1}$  y finalmente  $2558.30 \text{ USD/ha}$  le corresponde al bosque de terraza baja.

Chávez (2018) investigó la captura y almacenamiento de carbono en los Bosques Estacionalmente Secos de la Costa Norte (Lambayeque) como una medida de mitigación frente al cambio climático”, se instalaron 9 parcelas circulares de radio 30 metros dentro de un área de 159.3 ha, con intensidad de muestreo entre 0.53 % - 0.89 %, determinando características propias de los individuos a partir del  $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$ , de las especies palo santo, hualtaco, algarrobo y palo verde. Con respecto al inventario forestal, las densidades fueron de 107 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , 62 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , 49 árboles  $\text{ha}^{-1}$  y 15 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente. Donde, a partir de una clasificación diamétrica de cinco intervalos con ancho cinco centímetros, valores modulares de biomasa, densidad básica de la madera y la equivalencia biomasa seca-carbono

de 0.5 %, aplicados a diferentes compartimentos forestales (fuste, ramas mayores, ramas menores y hojarasca) y el contenido de carbono orgánico en el suelo, se obtuvo un potencial de captura de carbono por biomasa primaria (follaje u hojarasca) de  $0.52 \text{ Mg-C ha}^{-1}$  en un período de medición de cinco meses bajo un escenario de lluvias a condiciones normales, un potencial de acumulación de carbono a nivel de la biomasa aérea (ramas mayores y fuste) de  $4.23 \text{ Mg-C ha}^{-1}$  a la fecha de medición (25 años como edad promedio del bosque) y en el suelo de  $42.19 \text{ Mg-C ha}^{-1}$ . Se contabilizaron  $46.94 \text{ Mg-C ha}^{-1}$ , lo que representó una importante contribución relevante como medida de mitigación frente al cambio climático.

Se han venido realizando estudios de investigación, que buscaron determinar la eficiencia de captura de carbono orgánico en los bosques de la región de Cajamarca como los llevado a cabo por Carrasco (2009) en el bosque de neblina ACM-BH. Para lo cual la unidad de muestreo consistió en la instalación de una parcela temporal de una hectárea de bosque no intervenido, en donde se evaluó la biomasa de tallos leñosos  $\leq 5 \text{ cm}$  de DAP, hojarasca, suelo a 30 cm de profundidad y se hizo un inventario de las especies forestales  $\geq 10 \text{ cm}$  de DAP en toda la unidad de muestreo, prescindiéndose de evaluar herbáceas y chusqueas por considerar que su aporte no es significativo. Los resultados de la evaluación reportan que el carbono acumulado en tallos leñosos  $\leq 5 \text{ cm}$  de DAP fue  $15.47 \text{ tC ha}^{-1}$ , en hojarasca  $6.15 \text{ tC ha}$ , en suelo a 30 cm de profundidad  $106.18 \text{ tC ha}^{-1}$ , en biomasa de árboles  $\geq 10 \text{ cm}$  de DAP  $373.66 \text{ tC ha}^{-1}$ . Concluyendo que el bosque de neblina tiene una acumulación promedio total de carbono de  $501.46 \text{ tC ha}^{-1}$  en los depósitos (tallos leñosos  $\leq 5 \text{ cm}$  de DAP, hojarasca, suelo, árboles  $\geq 10 \text{ cm}$  de DAP). Un total de emisión de  $\text{CO}_2$  evitado en la atmósfera de  $1369.83 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$ . El  $\text{CO}_2$  neto comercializable según la metodología utilizada es de  $753.40 \text{ tCO}_2 \text{ ha}$ , y debido que la zona de vida representa en el bosque de neblina 1145.94 hectáreas se estima una fijación de  $863 \text{ 351.19 tCO}_2$ .

Dentro de las investigaciones regionales también encontramos a Burga (2019) quien realizó la evaluación de contenido de carbono orgánico acumulado en el suelo de un bosque primario y secundario; afín de determinar el carbono orgánico, la densidad aparente y el color del suelo a 3 profundidades de muestreo: 0 – 10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm para el distrito de Chadin, Chota- Cajamarca. El procedimiento utilizado para determinar el contenido de carbono orgánico acumulado en el suelo fue el de Walkley y Black. Los resultados de carbono orgánico acumulado en el suelo del bosque primario es de 0 - 10 cm de profundidad fue 37.22 t ha<sup>-1</sup>, entre los 10 - 20 cm 47.13 t ha<sup>-1</sup> y entre los 20 - 30 cm 49.22 t ha<sup>-1</sup>; en total se encontró 133.57 t ha<sup>-1</sup> en los primeros 30 cm de profundidad; mientras que en el bosque secundario el contenido de carbono orgánico entre los 0 - 10 cm fue de 39.23 t ha<sup>-1</sup>, entre los 10 - 20 cm 37.12 t ha<sup>-1</sup> y entre los 20 - 30 cm 29.50 t ha<sup>-1</sup>; en total se encontró 105.86 t ha<sup>-1</sup> en los primeros 30 cm de profundidad. El bosque primario acumula mayor contenido de carbono orgánico en los primeros 30 cm de profundidad de suelo. Estos estudios de investigación no representan el total de los ecosistemas existentes en el departamento de Cajamarca, por lo que se debe impulsar estudios similares a fin de entender la dinámica de los bosques andinos y el contenido de carbono en cada uno de estos.

Ramírez (2016) realizó, la investigación de contenido de carbono en el suelo y biomasa arbórea en el “Bosque de neblina de Samanga” de la Comunidad Campesina de Samanga (Ayabaca, Piura) ubicado entre los 2 800 a 3 200 m s.n.m. Para lo cual estableció 6 parcelas permanentes de 0.36 ha cada una, en donde se muestreó el suelo a una profundidad de 18 y 36 cm; estas fueron analizadas empleando el método de Walkley y Black. Para el caso de la estimación de la biomasa arbórea se empleó el método indirecto (no destructivo), en las cuales se evaluaron los árboles existentes con un DAP  $\geq$  5 cm. En esta investigación se obtuvo como resultado un total de 4 583 individuos que contribuyen con el 20.55 % del total de carbono encontrado en el bosque, mientras que el contenido de carbono en el suelo contribuye con el

79.45 % (397.11 t ha<sup>-1</sup>). La suma de los dos reservorios mostró que el contenido de carbono orgánico para el Bosque de Samanga fue de 499.81 t ha<sup>-1</sup>.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Bosque de Neblina**

El bosque de niebla o bosque nuboso es un tipo de bosque húmedo de montaña subtropical o tropical que se caracteriza porque se encuentra expuesto a corrientes de aire con alto grado de humedad producto de la evapotranspiración de la vegetación y traspiración de las fuentes de agua cercanas, lo que provoca una gran densidad de niebla en la superficie, especialmente en el dosel arbóreo; que gran parte del año permanece húmedo. Asimismo, estos bosques se agrupan dentro de la pluvisilva o selva lluviosa (Sánchez, 2019).

Los bosques de neblina, se encuentran en casi 60 países continentales de Centro y Suramérica, Asia y África Central, además de islas oceánicas tropicales húmedas. Cubren solo el 0.3 % de la superficie terrestre (380 000 km<sup>2</sup>) lo que equivale a 2.5 % de los bosques tropicales del mundo. Los bosques de neblina no se encuentran igualmente distribuidos en los trópicos; la mayoría se encuentra en Asia con 59.7 % del total, seguido por las Américas (centro y sur) con 25.3 % y África con 15.0 %. En América y África los bosques de neblina son un hábitat muy raro correspondiendo solamente a 1.2 y 1.4 % respectivamente de los bosques tropicales (López, 2015).

#### **2.2.1.1. Características**

Estos ecosistemas son ciertamente muy frágiles, compuestos por plantas de origen templado y tropical, con densas comunidades arbóreas principalmente plantas tropicales. Un tipo de planta que abunda en estos ecosistemas son las orquídeas y los helechos (Sánchez, 2019). Así mismo, estos bosques crecen en zonas cargadas de rocío y nubosidad a nivel

vegetativo, lo que reduce la exposición a la luz solar y por tanto la evaporación del agua. En general, los árboles que crecen en estos bosques tienen raíces más superficiales, cortas y pesadas que los árboles que crecen en altitudes más bajas y con una humedad ambiental que favorece el crecimiento de epífitas.

### **2.2.1.2. Importancia**

Existen autores que consideran a los bosques de neblina como ecosistemas muy vulnerables, es el caso de Torres (2013) quien indica:

La mayoría de bosques nublados de montaña del trópico se consideran ecosistemas altamente vulnerables debido a su función hidrológico y ecológica estratégica, pero se están convirtiendo en uno de los ecosistemas más amenazados por la rápida colonización en su relativamente escasa extensión forestal. Muchas de las instituciones y órganos de decisión a un no son conscientes de las graves consecuencias de la desaparición de estos bosques, cuya deforestación puede desencadenar procesos erosivos realmente desastrosos. Los bosques relictos de la vertiente occidental de los Andes en el norte de Perú y del sur de Ecuador, son hábitats con alta fitodiversidad y con un índice de endemismo muy elevado.

El Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA, 2007) indica que, la importancia radica en que son considerados como uno de los grandes sistemas de irrigación de la naturaleza, en el que se colecta agua durante la mayor parte del año. Es decir, cuando las tierras bajas están en meses secos, los bosques nublados siempre están actuando como una esponja gigante aprovechando la alta humedad del medio, captando y/o condensando el agua de las nubes o neblinas, como fuente adicional del agua de lluvias, drenando humedad que toman de las nubes casi todo el año y relanzan lentamente a las partes bajas. La calidad del agua que liberan es muy alta, convirtiendo así a estos ecosistemas en componentes de primer orden en el desarrollo económico de los pueblos y ciudades ubicados aguas abajo, al participar activamente en la

seguridad alimentaria y energética a través del agua para riego, generación de electricidad, usos domésticos, industriales y de recreación.

Los bosques de neblina o nubosos son biomas caracterizados por las altas y constantes precipitaciones, persistentes y regulares condiciones de humedad en asocio con temperaturas frescas y una baja insolación, resultando en una morfología y ecología únicas en el mundo (Krasilnikov, 2020). Factores que inciden directa y significativamente sobre las características de la vegetación, la productividad de la misma, la absorción de nutrientes, la composición del suelo y la hojarasca, y un balance hídrico positivo (Ray, 2013). La temperatura media en el TMF (bosques montañosos tropicales) y en el TMCF (bosques montañosos tropicales nubosos) frío-húmedo depende principalmente de la altitud, ya que la temperatura disminuye al aumentar la altitud. La temperatura media anual oscila entre los 8 °C a 3400 m y los 20 °C a 1000 m. La precipitación media anual está correlacionada con la orientación de la pendiente y fluctúa entre 500 y 10000 mm, aunque las precipitaciones anuales suelen oscilar entre 1000 y 3000 mm (Kappelle, 2004)

Las características descritas en el párrafo anterior hacen que los bosques nubosos alberguen un tesoro único de biodiversidad biológica (Krasilnikov, 2020; Ray, 2013) e ideal para la conservación de especies endémicas y amenazadas (Owiunji & Plumptre, 2011). Estos biomas brindan refugio y alimento a una serie de organismos altamente especializados, a menudo adaptados a las condiciones de niebla, como epífitas, briofitas, anfibios e insectos (Diaz et al., 2014; Lister & García, 2018). Son capaces de absorber, retener, purificar y suministrar agua dulce a su entorno (Asquith et al., 2008; Martínez et al., 2009).

En los bosques nubosos se pueden encontrar más de 1200 especies vegetales en el continente africano, 4000 en Asia y 5000 en América Central; pudiéndose agrupar en especies arbóreas, herbáceas y arbustivas; además de, epífitas y epífitas no vasculares (Krasilnikov,

2020). También, estos biomas refugian una riqueza media de especies de mamíferos igual a 107.75, cifra muy superior a la de otros bosques no nublados (74.65), mientras que el endemismo medio en los primeros puede ser tres veces mayor que en los segundos (Bruijnzeel et al., 2011). Por ejemplo, el porcentaje de mamíferos endémicos en los bosques nubosos de la región andina se estima entre el 32 – 63 % (Bubb et al., 2004).

La riqueza de aves también es diversa, con más de 2500 especies confinadas específicamente a los bosques nubosos, 1000 de ellas viviendo en los bosques nubosos de América del Sur y del Norte (Bruijnzeel et al., 2011). El endemismo aviar es elevado, alrededor de 260 especies de aves son endémicas del bosque nuboso y otras 315 especies son típicas y de hábitats similares (Bubb et al., 2004). La presencia de reptiles, anfibios e incluso una gran variedad de invertebrados son propios de estos lugares (Krasilnikov, 2020).

Los bosques nubosos son una importante reserva de carbono y biomasa. La biomasa y las reservas totales de carbono del ecosistema varían en función de las condiciones ambientales y la altitud (Krasilnikov, 2020). Por ejemplo, se han reportado existencias de biomasa entre 70 y 528 t ha<sup>-1</sup>, las existencias de carbono del suelo de 90 a 599 t ha<sup>-1</sup>, y las reservas totales de carbono del ecosistema de 162 a 946 t ha<sup>-1</sup> (Álvarez et al., 2014). Por su parte Girardin et al. (2010), estudió las reservas de carbono en los bosques nubosos tropicales de los Andes Peruanos, el carbono de la biomasa del tallo varió de 38.6 a 102.8 t ha<sup>-1</sup>, la biomasa subterránea de 14.8 a 19.3 t ha<sup>-1</sup>, las existencias de C del suelo mineral de 1.42 a 15.7 t ha<sup>-1</sup>, y las existencias de C del suelo orgánico de 8.45 a 68.8 t ha<sup>-1</sup>.

Los bosques nublados son biomas capaces de proveer o suministrar una gran cantidad de bienes y servicios ambientales, como la biodiversidad, el ocio y el turismo, la protección contra la erosión del suelo y, quizás lo más importante, los regímenes de flujo hidrológico estables

que son indispensables para el riego de los cultivos agrícolas, la generación de energía hidroeléctrica y el agua potable para las poblaciones aguas abajo (Bruijnzeel et al., 2011).

### **2.2.1.3. Los bosques de neblina en el norte del Perú**

En la zona norte de Cajamarca se encuentra el bosque de *Podocarpus* más importante del Perú. Este bosque es también conocido como Montano o Bosque de Neblina (INRENA, 2007).

Los bosques montanos de los Andes del norte del Perú son formaciones vegetales importantes porque presenta una gran diversidad y un alto grado de endemismos; estos ecosistemas, que en tiempos pasados fueron extensos, debido a la acción antrópica, actualmente son sólo relictos de bosque. Los bosques montanos relictos son ecosistemas distribuidos por encima de los 1000 m.s.n.m., y en ellos podemos encontrar especies de coníferas nativas pertenecientes a la familia Podocarpaceae. Estas especies de árboles son fundamentales en la dinámica de estos ecosistemas tan frágiles.

### **2.2.1.4. Importancia de los Bosques**

De acuerdo Freitas (2016), los bosques proveen una gran cantidad de beneficios. Sin duda alguna los bosques son un ecosistema fundamental para la vida humana, por los múltiples beneficios que brinda. Sin embargo, los beneficios más valiosos que se obtienen de los bosques son los servicios de los ecosistemas, que incluyen la regulación del clima, la protección del suelo de los efectos del agua, el viento y la temperatura, así como el mantenimiento de la humedad y su aporte al ciclo del agua (en el caso de la Amazonía, a escala continental).

En cuanto al cambio climático, los bosques tienen una triple relación. Al mismo tiempo, son parte del problema y parte de la solución, pero cuando se trata del cambio climático, también son víctimas. De hecho, los bosques almacenan grandes cantidades de carbono, gas

que, al ser liberado a la atmósfera durante un cambio de uso, contribuye a aumentar las condiciones que conducen al cambio climático.

La tala y quema de los bosques tropicales contribuyen con el 24 % del total de emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen con el cambio climático. Si descontamos lo que capturan, su aporte neto sería del 11 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a escala global (IPCC, 2014), cifra que en países forestales tropicales bordea el 50 % (Freitas, 2016), y en el Perú no es diferente, ya que representa el 45 %. (MINAM, 2019).

#### **2.2.1.5. Bosques primarios**

El mundo aún tiene al menos 1 110 millones de hectáreas de bosque primario, es decir, bosques compuestos por especies nativas en las que no existen huellas evidentes de las actividades humanas y sus procesos ecológicos no se han visto alterados de manera significativa (FAO, 2020).

#### **2.2.2. Bosque, clima y hombre**

Los bosques, guardan múltiples relaciones entre hombre y naturaleza, ayudan a conservar el clima porque reduce a concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y su desaparición, la aumenta. Es vital también para regular el ciclo del agua o mantener la biodiversidad, tanto a nivel local como global. Preservar el clima significa mantener las características de los distintos ecosistemas naturales y usos humanos del territorio como los cultivos agrícolas tradicionales, resultantes de una adaptación tras cientos o miles de años (Fundación MATRIX, 2020).

El Ministerio del Ambiente (2016) indica que, los bosques son importantes por los servicios ecosistémicos que brindan, como la captura y almacenamiento de carbono, la

regulación del agua, el suministro de agua, así como a albergar la biodiversidad que beneficia a toda la sociedad en su conjunto.

En los trópicos, el Carbono está en sumideros superficiales que varían entre 60 y 230 tC ha<sup>-1</sup> en bosques primarios; y entre 25 y 190 tC ha<sup>-1</sup> en bosques secundarios (Tabla 1), en función al tipo de bosque. A su vez, en bosques tropicales, los sumideros de C en el suelo varían entre 60 y 115 tC ha<sup>-1</sup> acumulados a tasas de 1-2 MgC o tC ha<sup>-1</sup> /año (Brown y Lugo, 1992). En otros sistemas de uso de suelo, tales como los agrícolas o ganaderos, los sumideros de C en el suelo son considerablemente pequeños (Brown et al., 1989).

**Tabla 1**

*Depósitos superficiales de C en bosques tropicales*

Tipo de bosque	Almacenamiento de Carbono (tC ha <sup>-1</sup> )	
	Primario	Secundario
Bosque de Neblina	230	190
Bosque Estacional	140	120
Bosque Seco	60	25

Fuente: Brown et al. (1989).

### 2.2.3. Ciclo del Carbono

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos y circula en el océano, la atmósfera, el suelo y el subsuelo. Estos se consideran sumideros de carbono (reservorios). El carbono se mueve de un depósito a otro a través de procesos químicos, físicos y biológicos. El intercambio de carbono entre los reservorios terrestres y atmosféricos es el resultado de los procesos naturales de fotosíntesis y respiración y la liberación de gases causados por la actividad humana (Rügnitz et al., 2009).

El ciclo del carbono se inicia con la fijación del CO<sub>2</sub> atmosférico mediante la fotosíntesis que realizan las plantas y algunos microorganismos. En este proceso, el CO<sub>2</sub> y el agua reaccionan para formar carbohidratos y al mismo tiempo liberan oxígeno que ingresa a la atmósfera. Algunos de los carbohidratos se consumen directamente para alimentar la planta y el dióxido de carbono, una vez formado se libera por las hojas y raíces. Otra parte es consumida por los animales, que también liberan dióxido de carbono durante el metabolismo. Las plantas y animales muertos posteriormente son degradados por microorganismos en el suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide a dióxido de carbono y vuelva a la atmósfera (Orellana et al., 2012).

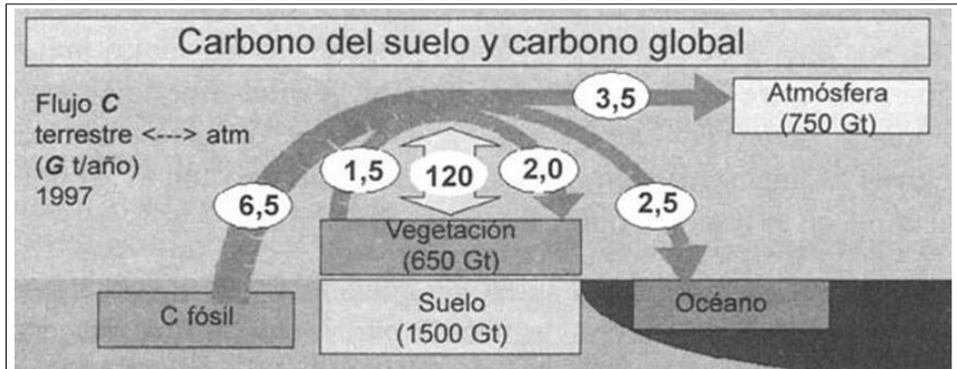
### **2.2.3.1. Balance Global del carbono**

El ciclo terrestre del carbono se presenta en la Figura 1. En este ciclo, el carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera y se estima aproximadamente 1 500 Pg C a una profundidad de 1 m (cerca de 2 456 a una profundidad de 2 metros) (IPCC, 2002). La importancia del suelo como agente de lucha contra el cambio climático es fácilmente observable si analizamos los siguientes datos: La atmósfera tiene un intenso intercambio de carbono con los ecosistemas terrestres y los océanos (Peris, 2013).

La deforestación produce en promedio 1.9 PgC/año (Figura 2). Sin duda alguna un hecho importante es que la deforestación en muchas aéreas tropicales genera alrededor de 1.5 Pg/año de emisiones de carbono, al mismo tiempo se produce una acumulación en los ecosistemas terrestres de 1.8 a 2 Pg/año. Esto representa lo que es conocido como el carbono faltante en el ciclo: un sumidero que podría estar situado principalmente en la parte norte del hemisferio norte Schindler (1999), citado por IPCC (2002).

**Figura 1**

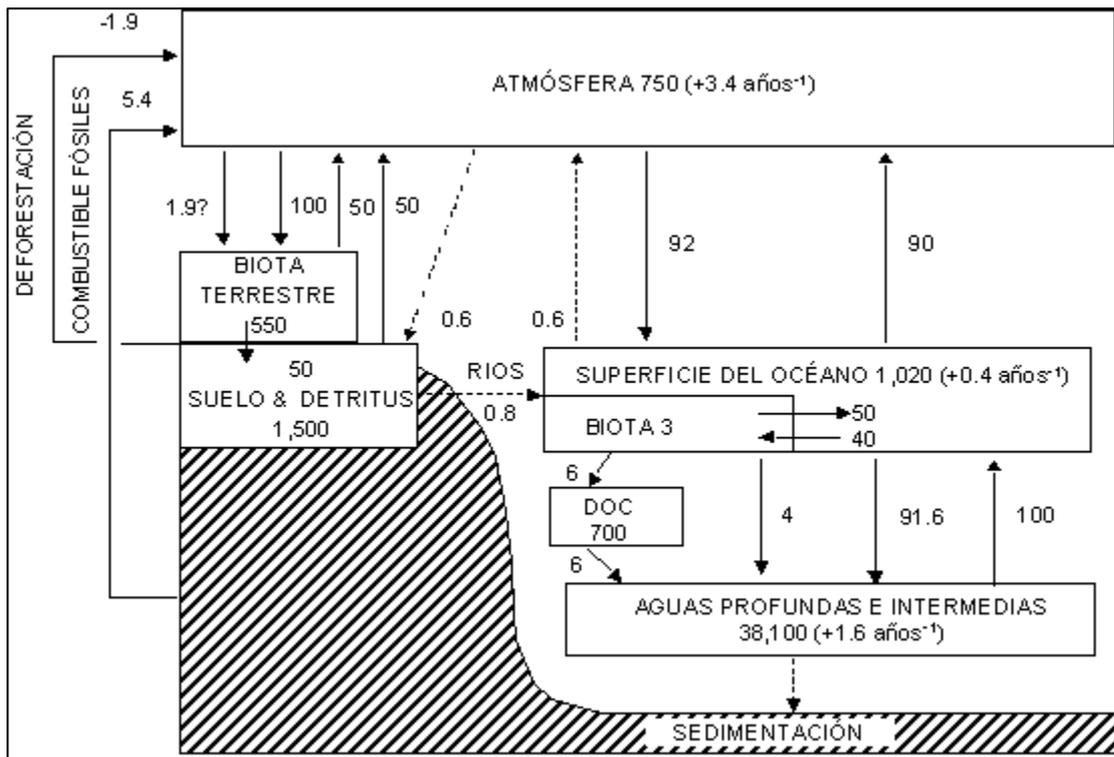
*El ciclo terrestre del carbono: el carbono del suelo y el carbono global disponible*



Fuente: IPCC (2002).

**Figura 2**

*El ciclo global del Carbono*



Fuente: IPCC (1995).

Los ecosistemas terrestres y el suelo son los principales sumideros considerables de carbono (Figura 1 y tabla 2). Los bosques del mundo contienen un aproximado de 340 Pg de

C (1 Pg = 1015 g) (1 GtC = gigatonelada = billón de tons) en vegetación, y 620 Pg de C en suelo Brown et al., (1996) Citado por la FAO (2003). Por lo tanto, los cambios en estos sumideros de carbono podrían tener un impacto significativo en el balance global del carbono.

En la Tabla 2, se muestra el balance global (Pg C) del Carbono, se muestra una pérdida de más de  $1.6 \pm 1.0$  Pg C a causa del cambio de uso del suelo por deforestación en el Trópico (IPCC, 1995).

**Tabla 2**

*Balance global (Pg C) del Carbono*

<b>Fuentes de CO<sub>2</sub></b>	
(1) Emisiones de combustible fósil y producción de cemento	5,5 +/- 0,5
(2) Emisiones netas de cambios en el uso del suelo del trópico	1,6 +/- 1,0
(3) Total de emisiones antropogénicas (1+2)	7,1 +/- 1,1
<b>División entre los reservorios</b>	
(4) Almacenamiento en la atmósfera	3,2 +/- 0,2
(5) Asimilación de los océanos	2,0 +/- 0,8
(6) Asimilación del bosque del hemisferio norte	0,5 +/- 0,5
(7) Pozos terrestres adicionales	1,4 +/- 1,5

Fuente: IPCC (1995).

## **2.2.4. Desarrollo sostenible**

### **2.2.4.1. La deforestación**

La FAO (2020), define la deforestación como la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra (independientemente de si es inducido por humanos o no). La deforestación y la degradación forestal siguen avanzando a un ritmo alarmante, lo que contribuye notablemente a la actual pérdida de biodiversidad. Se estima que desde 1990, se han perdido unos 420

millones de hectáreas de bosque a causa del cambio de uso de la tierra, pese a que la tasa de deforestación ha disminuido en los últimos tres decenios (FAO et al., 2020).

De acuerdo a estimaciones del IPCC (2007) citado por Soto (2020), en el año 2004 la deforestación mundial contribuyó con el 17 % de la emisión total de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera, siendo la tercera fuente de GEI, después de la generación de energía producida por combustibles fósiles y de las actividades industriales.

#### **2.2.4.2. Factores que causan la deforestación**

Para la FAO (2021), las dinámicas y las causas de la deforestación son diversas y complejas y varían de un lugar a otro. Hay factores directos que causan la deforestación, asociados con un conjunto complejo de factores indirectos (subyacentes) que se deben también afrontar si se quiere que los esfuerzos logren buenos resultados a largo plazo. Estos factores se pueden clasificar también en naturales o provocados por el hombre.

##### **2.2.4.2.1. Factores Directos**

A nivel mundial, los principales factores directos que causan la deforestación son:

- 1) La agricultura comercial para alimentos, forraje, fibras y biocombustible (p.ej., aceite de palma, soja, carne, maíz, arroz, algodón y caña de azúcar);
- 2) La agricultura local o de subsistencia;
- 3) La expansión de la infraestructura;
- 4) La minería;
- 5) La expansión urbana.

#### **2.2.4.2.2. Factores subyacentes**

Los factores subyacentes son interacciones complejas de factores sociales, económicos, político-institucionales, tecnológicos y culturales que influyen en los factores directos. Pueden actuar a múltiples escalas, por ejemplo:

- 1) A escala mundial (p.ej., fuerzas del mercado, precios de los productos básicos y falta de acuerdos internacionales o de su aplicación);
- 2) A escala nacional (p.ej., crecimiento o desplazamiento de la población, mercados nacionales, políticas nacionales poco rígidas, políticas intersectoriales en conflicto, gobernanza e instituciones débiles, deficiencias del mercado, inobservancia de las leyes, actividades ilegales, conflictos civiles, intereses divergentes, relaciones de poder desiguales y centralización de los servicios);
- 3) A escala local (p.ej., pobreza, cambios en el comportamiento de las familias, falta de tierra, asignación poco clara y asimétrica de los derechos, cambios tecnológicos en la agricultura, falta de inversiones en la GFS).

La tala ilegal (o de forma insostenible) es una de las principales causas de la degradación forestal, pero puede también ser precursora de la deforestación; generalmente los bosques sometidos a tala selectiva se deforestan años después del aprovechamiento si la gobernanza es débil y los caminos forestales facilitan el acceso para la agricultura y otros usos.

#### **2.2.4.3. Cambio climático**

El IPCC (2013), define el cambio climático como una variación en las condiciones climáticas que se puede identificar la variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos.

Así mismos la CMNUCC (1992), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. El cambio climático nos afecta a todos, la FAO señala que el cambio climático seguirá causando más fenómenos meteorológicos extremos, como la degradación de tierras y desertificación, la escasez de agua, subidas en el nivel del mar y cambios de temperaturas. Todo ello afectará primero a la población rural pobre, dificultando seriamente sus esfuerzos por alimentar al planeta entero (FAO, 2017).

Gran parte del cambio climático antropogénico, resultante de las emisiones de CO<sub>2</sub>, es irreversible en una escala temporal de entre varios siglos y milenios, excepto en el caso en que se produzca una abundante remoción neta de CO<sub>2</sub> de la atmósfera durante un período de tiempo prolongado. Según el escenario considerado, aproximadamente entre el 15 % y el 40 % del CO<sub>2</sub> emitido permanecerá en la atmósfera por un lapso mayor de 1 000 años (IPCC, 2013).

Los impactos del cambio climático y las respuestas a estos están estrechamente vinculados al desarrollo sostenible que equilibra el bienestar social, la prosperidad económica y la protección ambiental. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, adoptados en 2015, brindan un marco establecido para evaluar los vínculos entre el calentamiento global de 1,5 °C o 2 °C y los objetivos de desarrollo que incluyen la erradicación de la pobreza, la reducción de las desigualdades y la acción climática (IPCC, 2013).

El cambio climático es un tema que ha sido analizado desde hace varios años, en paneles de alto nivel mundial. Así como, la Conferencia Científica de las Naciones Unidas (conocida como la Primera Cumbre para la Tierra), realizada en Estocolmo (Suecia) del 5 al 16 de junio de 1972, adoptó una declaración que enunciaba los principios para la conservación y mejora del medio humano y un plan de acción que contenía recomendaciones para la acción

medioambiental internacional. 1979, primera Conferencia Mundial sobre el Clima en Ginebra, por primera vez se consideró el cambio climático como una amenaza real para el planeta. Además, se hizo un llamado a los gobiernos anticipar y prevenir la posibilidad de cambios antropogénicos en el clima (Vengoechea, 2012).

Mientras que para 1988 se estableció el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para facilitar a las instancias normativas evaluaciones periódicas sobre la base científica del cambio climático, sus repercusiones y futuros riesgos, así como las opciones que existen para adaptarse al mismo y atenuar sus efectos (IPCC, 2013).

En 1992, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), también conocida como la 'Cumbre para la Tierra', tuvo lugar en Río de Janeiro. Uno de los logros más importantes de CNUMAD fue el Programa 21, un programa de acciones minucioso y amplio que exigía nuevas formas de invertir en nuestro futuro para poder alcanzar el desarrollo sostenible en el siglo XXI (Cumbre de Johannesburgo, 2002).

En 1995, la primera Conferencia de las Partes (COP1), realizada en Berlín, acá se formó el Grupo Ad Hoc del Mandato de Berlín, con el objetivo de llegar a un acuerdo sobre el fortalecimiento de la lucha contra el cambio climático. En esta COP se estableció una fase piloto para actividades de implantación conjunta. Además, se afirma que las reducciones de gases de efecto invernadero pueden negociarse, pero no atribuirse al país de compra (Eguren, 2004).

En el año 1997, Protocolo de Kyoto, es aquí donde los países industrializados establecen compromisos específicos y un calendario de trabajo. Las intensas negociaciones posteriores culminaron en la COP3 en Kyoto, cuando los delegados acordaron un Protocolo para la

UNFCCC que compromete a los países desarrollados y a los países en transición hacia una economía de mercado a cumplir sus objetivos cuantificados de reducción de emisiones. Estos países, conocidos dentro de la UNFCCC como Partes del Anexo I, se comprometieron a reducir su emisión total de seis gases de efecto invernadero hasta al menos un 5,2 % por debajo de los niveles de emisión de 1990 durante el período 2008-2012 (el primer período de compromiso), con objetivos específicos que varían de país en país. El nivel de compromiso de estos países se refleja en el Anexo B del Protocolo de Kyoto (PK) en forma de porcentajes respecto al año base de 1990 (Eguren, 2004).

En el año 2002, Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, se realizó en la República de Sudáfrica en Johannesburgo. La Cumbre produjo dos tipos de resultados: Los resultados del “tipo 1” que se negociaron entre Estados, y los del “tipo 2” que no se negociaron y en los que participaron asociados de las administraciones públicas, las organizaciones internacionales, grupos (FAO, 2002). Es necesario resaltar que la sociedad civil participo en la cumbre.

La Conferencia de Copenhague (2009), en esta conferencia se firmó el acuerdo de Copenhague, en donde se logró fijar la meta de que el límite máximo para el incremento de la temperatura media global sea 2 °C. Por otra parte, no se mencionó como se alcanzaría este objetivo, pero si se hace referencia a mantener el incremento de la temperatura bajo los 1,5 °C, una demanda clave hecha por países en desarrollo vulnerables (Vengoechea, 2012).

En la 17ª Conferencia sobre Cambio Climático de Durban (2011), uno de los temas sin resolver fue el futuro del Protocolo de Kyoto, que señala a los países desarrollados a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero; y los cuales estuvieron dispuestos a iniciar un proceso que se completaría en 2015 y que concluiría con un acuerdo legalmente vinculante de protección climática (Vengoechea, 2012).

La COP21 (2015), que se celebró en París, debió sustituir al Protocolo de Kyoto. (Pulgar, 2019). Dicho Acuerdo rige a partir del 2020 y pretende mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2 °C, aumentando la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático y promoviendo un desarrollo con bajas emisiones de carbono (ONU, 2016). El Perú desempeñó un papel importante en la organización al liderar la COP20 (2015) sentando las bases para el éxito de la COP21 en Francia.

Según los datos consolidados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el año 2021 fue el séptimo año consecutivo en el que la temperatura global ha estado más de 1 °C por encima de los niveles preindustriales (OMM, 2022). La COP26 (2021) finalmente se llevó a cabo en Glasgow, Reino Unido, en medio de una compleja situación de SARS-CoV-2. El resultado de la COP26 muestra algunos avances de que estamos en el camino correcto para mitigar la amenaza que representa el cambio climático. Entre los principales resultados está el Pacto Climático de Glasgow (GCP) que busca reducir progresivamente la incesante explotación del carbón como fuente de energía y poner fin a los subsidios ineficientes a los combustibles fósiles. Otro logro importante es la finalización de las normas de aplicación del Acuerdo de París, este conjunto de normas establece cómo se responsabiliza a los países del cumplimiento de sus promesas de acción climática y de los objetivos fijados por ellos mismos en el marco de sus NDS. A su vez, es importante mencionar el acuerdo conjunto entre Estados Unidos y China, los dos mayores emisores de GEI del mundo, para fortalecer la cooperación en temas de cambio climático.

Pero, aunque vayamos por buen camino, para muchas personas el ritmo de este andar es mucho más lento de lo necesario y esperado. Por este motivo, el objetivo que se han fijado los científicos del IPCC de lograr la neutralidad global en carbono para el año 2050 si el calentamiento global se mantiene por debajo de los 2 °C parece lejano y va aumentando

paulatinamente. Por consiguiente, a menos que todos los líderes mundiales, políticos y económicos, se comprometan a tomar medidas concretas lo antes posible para eliminar gradualmente el uso de combustibles fósiles, la deforestación y aumentar las actividades para capturar y eliminar gases de la atmósfera que calientan la atmósfera del planeta.

#### **2.2.4.3.1. Mecanismos del Acuerdo de Paris**

En base al Acuerdo de Paris, los países deben cumplir sus objetivos, mediante medidas nacionales (García et al., 2016):

- 1) Meta global mitigación: Mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2 °C y hacer el mayor esfuerzo para no sobrepasar 1,5 °C. Para cumplir con esta meta los países deben llevar a cabo acciones de adaptación y mitigación a través de las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC), que se presentaran cada 5 años para hacer un balance del cumplimiento de los objetivos.
- 2) Meta global adaptación: Aumentar la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático.
- 3) Daños y pérdidas: A través del Mecanismo Internacional de Varsovia. No incluye compensaciones financieras.
- 4) Medición, reporte y verificación: La información que comunique cada parte bienalmente se someterá a un examen técnico de expertos (flexibilidad para países en desarrollo).
- 5) Bosques: Reconoce su rol para cumplir con la meta global de mitigación. Alienta a las partes a implementar el Marco de decisiones sobre REDD+ incluyendo pagos por resultados para proteger los bosques de países en desarrollo.

- 6) Mecanismo de mercado: Los países pueden transferir resultados de mitigación para cumplir con sus NDC. Este mecanismo de cooperación es voluntario y requiere reglas claras para evitar doble contabilidad de emisiones.
- 7) Cumplimiento Comité facilitador compuesto por expertos para promover cumplimiento. Funcionará de forma transparente, no contenciosa y no punitiva.
- 8) Financiamiento: Países desarrollados deben aportar mínimo 100 mil millones de USD al año hasta 2025 donde se establecerá nueva meta. Se alienta a los países en desarrollo a contribuir financieramente.
- 9) Alcance: Es un acuerdo universal y vinculante.

#### **2.2.4.3.2. Estrategias de Lucha Frente al Cambio climático**

El Protocolo de Kyoto de las Naciones Unidas (1998), en su artículo 2 promueve, entre otras cosas la promoción de prácticas de manejo forestal sostenible (prevención), la forestación (adaptación) y reforestación (mitigación). Por lo tanto, durante mucho tiempo se ha buscado reducir la deforestación y la degradación forestal, como herramientas para mitigar los impactos globales (Chávez, 2018). La entrada en vigor del Protocolo de Kyoto marco el inicio de un esfuerzo internacional conjunto para controlar el clima en la tierra y evitar desastres de grandes magnitudes para la humanidad (Protocolo de Kyoto, 2005).

Los bosques tienen un importante potencial para la mitigación del cambio climático. Se estima que 17,4 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provienen del sector forestal, principalmente de la tala, y los bosques tienen un gran potencial para el secuestro de carbono. Debido a su importante función en la mitigación del cambio climático, los bosques ocupan un lugar destacado en las negociaciones en curso sobre los nuevos compromisos de los países en virtud de la convención y después del término del primer período de compromiso del Protocolo de Kyoto (FAO, 2011).

En la COP15 (Copenhague, 2009) y la COP16 (Cancún, 2010) se orienta a las partes a tener como objetivo la reducción drástica de las emisiones mundiales que limiten el aumento de la temperatura global a 2 °C. Si bien que no se logró un acuerdo vinculante sobre objetivos específicos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por otra parte, sí se firmó un Acuerdo no Vinculante relativo al Cambio Climático, el cual establece que es necesario reducir las emisiones de GEI a los mayores niveles posibles a fin de mantener el incremento de la temperatura global por debajo de los 2 °C (UNFCCC, 2009). A su vez en la Decisión 4/CP.15 Orientación metodológica para las actividades destinadas a reducir las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal y la función de la conservación, la gestión de bosques sostenible y el aumento de las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo. Esta decisión solicita a los países en desarrollo a orientarse a cinco actividades de REDD+:

- 1) Reducción de emisiones de la deforestación;
- 2) Reducción de emisiones de la degradación forestal;
- 3) Conservación de los depósitos forestales de carbono;
- 4) Gestión sostenible de los bosques;
- 5) Mejoras de los depósitos forestales de carbono.

Finalmente, el Acuerdo de París, aprobado en diciembre de 2015, viene a sustituir al Protocolo de Kyoto a partir del 2020. El Acuerdo de Paris de las Naciones Unidas, en su Artículo 2, tiene por finalidad reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza. Así mismo se estableció la meta global de mantener el incremento de la temperatura muy por debajo de 2 °C y hacer el mayor esfuerzo para no sobrepasar 1,5 °C. El acuerdo manda una señal contundente de que los bosques son esenciales para cumplir con la meta global de mitigación.

En su artículo 5 indica, que las partes (los países) deberían adoptar medidas para conservar y aumentar, según corresponda, los sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero (incluyendo los bosques).

Por otra parte, los alienta a tomar medidas e incentivos económicos para preservar los bosques en los países en desarrollo como los pagos por resultados, implementar las decisiones que se han tomado en el marco de la Convención sobre la reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal (REDD+), y aplicar enfoques de política alternativos que combinan la adaptación y mitigación para la gestión integral sostenible de los bosques. También reitera la importancia de los beneficios no relacionados con el carbono que se derivan de la aplicación de estas medidas. Esto es un hito en las negociaciones de cambio climático pues es la primera vez que se incluye el rol de los bosques en un acuerdo de esta naturaleza (García et al., 2016).

En el ámbito de las Áreas naturales Protegidas (ANP) hay dos estrategias principales de mitigación. Los ecosistemas, sobre todo los bosques, pueden almacenar el CO<sub>2</sub> y capturar el CO<sub>2</sub> (Stephan, 2010).

- **Almacenar el CO<sub>2</sub>:** consiste en evitar que el carbón fijado en la vegetación y el suelo se escape a la atmósfera. Por lo que es importante contar con herramientas para mantener los ecosistemas existentes a largo plazo. Las áreas protegidas son producto de procesos de ordenamiento territorial. A través de estos instrumentos de planificación de uso del espacio se busca identificar, establecer y gestionar los diferentes espacios geográficos con sus restricciones y potencialidades. Inmediatamente después de ser consensuadas con la sociedad y declaradas legalmente, las áreas protegidas pueden servir como herramientas importantes para detener la colonización incontrolada e impedir el cambio de uso del suelo en general. Cuentan con reglas claramente establecidas bajo los criterios de un desarrollo

sustentable para su espacio geográfico, a favor de la conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales. Las principales actividades para almacenar CO<sub>2</sub> se pueden agrupar generalmente bajo las acciones de “conservación”.

- **Capturar el CO<sub>2</sub>:** A través de los servicios que proporcionan los ecosistemas naturales, se fija activamente el dióxido de carbono libre en la atmósfera. Sin duda alguna, muchos ecosistemas, por ejemplo, como pantanos y manglares, capturan y almacenan CO<sub>2</sub> de forma continua. Pero, además muchas áreas protegidas tienen el potencial y el espacio para restaurar o regenerar naturalmente bosques, pantanos u otros ecosistemas devastados. Están legalmente reconocidos por proporcionar un entorno ecológico ideal y fomentar medidas de restauración o reforestación. Las actividades más importantes para captura de CO<sub>2</sub> se pueden agrupar generalmente bajo las acciones de “restauración”.

#### **2.2.4.3.3. Herramientas de mitigación**

A medida que se aumenta la degradación del medio ambiente, al mismo tiempo hay grandes sectores de la población que están interesados en encontrar herramientas de mitigación para revertir estas tendencias negativas, teniendo en cuenta los problemas sociales y económicos específicos de cada sociedad (Sandoval, 2004). Por mitigación se entiende, cualquier tipo de actividad que reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero o a través de la captura de carbono que llevan a cabo los sumideros como los bosques (García et al., 2016). Los programas de captura de carbono en bosques son herramientas con enorme potencial para contribuir a la transición hacia el desarrollo sustentable (Sandoval, 2004).

En primer lugar, tenemos a La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático o (UNFCCC, por CMNUCC sus siglas en inglés) es un acuerdo internacional del que forman parte 197 países. Su propósito es estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero a un nivel que impida interferencias peligrosas del ser humano

en el sistema climático. Es la herramienta base para la gobernanza de la acción climática. Las decisiones que se toman a raíz de la CMNUCC orientan y definen las acciones climáticas que se implementan a nivel mundial, nacional y local.

Las Acciones Nacionales de Mitigación Apropriadas (NAMAs, por sus siglas en inglés) son una herramienta importante para la mitigación del cambio climático. Fueron acordadas en la Cumbre de Bali (COP13, 2007) como una opción voluntaria de mitigación para los países en desarrollo. Las NAMAs pueden ser políticas dirigidas al cambio transformacional dentro de un sector económico, o acciones a través de varios sectores para un enfoque nacional más amplio. Son apoyados y habilitados por la tecnología, el financiamiento y la creación de capacidades, y su función es lograr una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en relación con las emisiones “business-as-usual” en el año 2020 (ICAFE, s.f.).

NAMA se componen de dos elementos principales (Cognuck y Numer, 2020):

- Las Actividades generales: una serie de acciones concretas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. También, incluyen el financiamiento, la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidades.
- Esquema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV): consiste en una serie de actividades destinadas a medir, reportar y verificar la efectividad de las acciones propuestas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Posteriormente en el Convenio de Copenhague (2010), se reconoce la necesidad de actuar para reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los ecosistemas boscosos, mediante el establecimiento de un mecanismo conocido como REDD-plus. El Acuerdo enfatiza en el financiamiento para los países en desarrollo que permita la actuación de acciones de mitigación (incluso financiación sustancial para el REDD-plus), de adaptación, de desarrollo y transferencia de tecnología y de creación de capacidades (Harris et al., 2011).

As u ves el programa REDD+ incorpora varias estrategias posibles para reducir las emisiones de carbono:

- Prevenir la deforestación. Reducir la deforestación y la degradación es la opción de mitigación forestal con el impacto global sobre las reservas de carbono más importante y más inmediato a corto plazo, por hectárea y por año. Cada hectárea (1 hectárea = 2.4716 acres) de bosque perdido liberará 350-900 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, y esta enorme emisión se puede evitar preservando el bosque. Por lo tanto, los programas eficaces para prevenir la deforestación tienen la ventaja de ofrecer grandes recortes en las emisiones de carbono a un bajo costo y en un corto período de tiempo.
- Forestación y repoblación forestal. Creación de bosque en zonas en las que previamente no existía o repoblación de áreas que han perdido el bosque. A largo plazo, esta estrategia produce beneficios en cuanto al almacenamiento de carbono cuando se desarrollan los nuevos bosques, pero también implica costes iniciales.

El mecanismo de REDD+ podrá ser: Una medida Nacional de Mitigación Apropiada (NAMAs) y los estimados de emisión ser sometidos a Medición, Reportaje y Verificación (MRV), o Una Acción Independiente de Mitigación para el sector forestal; es posible que las estimaciones no dependan del MRV. Independientemente de la trayectoria de REDD+ en cada país, estos estarían comprometidos a reducir la deforestación y/o degradación forestal en comparación con escenarios anteriores, El modelo recomendado es MRV porque las estimaciones son transparentes, consistentes y precisas (Chávez, 2018).

Las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) se estableció en 2013 como parte del Llamado de Lima para la Acción Climática, con la finalidad de que los países hicieran sus contribuciones de manera independiente para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Fueron la base para la creación del Acuerdo de París, que incluye las

Contribuciones como herramientas para lograr los objetivos a nivel nacional (Cognuck y Numer, 2020).

Sin embargo, las políticas de control/reducción de emisiones se enfrentan a un futuro desalentador, especialmente si son utilizadas como la única herramienta. Por una parte, la estabilización de las emisiones de CO<sub>2</sub> se traducirá en un aumento en la concentración del gas y de temperatura; por la otra, la estabilización de concentraciones y temperatura a los niveles actuales podría llevar mucho tiempo, incluso con la reducción o eliminación total de emisiones. En términos generales, las políticas de control de emisiones se centran a que el problema no empeore, pero no a reparar el daño causado al ambiente (Sandoval, 2004).

#### **2.2.4.3.4. Situación del Perú**

El Perú se caracteriza por tener ecosistemas particularmente vulnerables al cambio climático, ya que cuenta con cuatro de las cinco características de vulnerabilidad, reconocidas por la CMNUCC: zonas costeras bajas; zonas áridas y semiáridas; zonas expuestas a inundaciones, sequías y desertificación; y ecosistemas montañosos frágiles. Específicamente, el Perú es uno de los 20 países más vulnerables a las modificaciones del clima global por estar localizado en una geografía de montañas tropicales con una gran diversidad de ecosistemas (COP20, 2014).

La gestión de gases de efecto invernadero consiste en reducir o evitar las emisiones de GEI de las fuentes antropogénicas que lo causan, o aumentar los sumideros que absorben dichas emisiones. El Perú, actualmente, no es un gran emisor a nivel mundial, ya que sus emisiones per cápita (5.68 t CO<sub>2</sub> eq) se encuentran muy por debajo de los países desarrollados y también del promedio mundial ubicado en 8 t CO<sub>2</sub> eq. Sin embargo, las emisiones de GEI del Perú sin considerar USCUS fueron de 84 567.62 Gg de CO<sub>2</sub> eq en el 2012, mientras que el 2000 fueron

de 59 649 Gg CO<sub>2</sub> eq), este incremento de 41% demuestra la relación directa existente entre el crecimiento económico acoplado al de las emisiones de GEI (MINAM, 2016).

El Perú ha venido aprobando e implementando por más de una década una serie de políticas, planes, programas y regulaciones relacionadas con los esfuerzos de reducción de emisiones de GEI, así como de medidas de adaptación al cambio climático. Adicionalmente a la ratificación del CMNUCC, el Perú cuenta con una Estrategia Nacional de Cambio Climático desde el 2003 (COP20, 2014).

En el Perú existen diferentes instancias públicas que tienen competencias específicas en el monitoreo forestal y la medición de Gases efecto invernadero (MINAM, 2015):

- El Programa Nacional de Conservación de Bosques (PNCBMCC, es el eje central para REDD+ ante de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Por medio de su Unidad de Mapeo de Bosques y Monitoreo de su Conservación el PNCBMCC tiene capacidades definidas entre ellas “diseñar, establecer e implementar los parámetros para el mapeado de los bosques y diseñar e implementar el monitoreo de los cambios del uso del suelo y cambio de superficie boscosa”.
- La Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos (DGCCDRH) del MINAM se encarga, del Inventario Nacional de GEI, coordina la elaboración de la Comunicación Nacional, y elabora las proyecciones sectoriales de emisiones y absorciones de GEI.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), establece parcelas permanentes de monitoreo, a fin de hacer una investigación de largo plazo centrada en asegurar la producción sostenible y monitorear el estado de conservación de dichos recursos (Art. 138, Ley Forestal y de Fauna Silvestre N°. 29763).

- El Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR), es el organismo responsable a nivel nacional, de supervisar y fiscalizar el aprovechamiento y la conservación de los recursos forestales y de fauna silvestre, así como de los servicios ambientales provenientes del bosque (Art. 2 Ley que crea el Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre, Decreto Legislativo N°. 1085).
- Como autoridad regional forestal y de fauna silvestre, el gobierno regional tiene competencias dentro de su jurisdicción de “planificar, promover, administrar, controlar y fiscalizar el uso sostenible, conservación y protección de la flora y la fauna silvestre” (Art. 19, Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763).

#### **2.2.5. Áreas Naturales Protegidas (ANP)**

Las ANP son espacios continentales y/o marinos del territorio nacional reconocidos, establecidos y protegidos legalmente por el Estado como tales, debido a su importancia para la conservación de la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país (SERNANP, s.f.).

El SINANPE tiene como objetivo contribuir al desarrollo sostenible del país a través de la conservación de una muestra representativa de la diversidad biológica, mediante la gerencia eficaz de las Áreas Naturales Protegidas, garantizando el aporte de sus beneficios ambientales, sociales y económicos a la sociedad (Plan Director de las Áreas Naturales protegidas, 2007). Así mismo está conformado por las ANP de administración nacional que son gestionadas y administradas por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP, s.f.).

Las Áreas Naturales Protegidas, con excepción de las Áreas de Conservación Privada, se establecen con carácter definitivo. La reducción física o modificación legal de las áreas del

Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas - SINANPE, sólo podrá ser aprobada por Ley. De acuerdo con el Art. 3 Ley N° 26834 Ley de Áreas Naturales Protegidas, estas áreas se clasifican en:

- a) Las de administración nacional, que conforman el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas - SINANPE.
- b) Las de administración regional, denominadas áreas de conservación regional.
- c) Las áreas de conservación privadas.

El Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP, s.f.) indica que en el Perú se han establecido:

- 75 ANP de administración nacional, que conforman el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SINANPE.
- 25 áreas de Conservación Regional.
- 147 áreas de Conservación Privada.

Durante la última década, las Áreas de Conservación Regional (ACR) se han convertido en un instrumento importante entre las estrategias para la conservación en espacios geográficos que cumplen con ser muestras representativas de biodiversidad y demás valores. Es importante mencionar que las ACR son de uso directo, es decir, que en ellas está permitido el aprovechamiento y la extracción de recursos naturales siempre y cuando los usos y actividades que se desarrollen se de acuerdo con la finalidad para la que fue creado (SERNANP, 2013).

La creación de áreas naturales protegidas con una disposición jurídica y administrativa claramente establecida, responde a la necesidad de proteger importantes espacios por diversas razones: como la de proteger la biodiversidad, el mantenimiento de paisajes de excepcional belleza, protección de especies en peligro de extinción, y la conservación de muestras

representativas de ecosistemas, especies silvestres y recursos genéticos. Así mismo, las ANP brindan servicios ambientales tan importantes como el suministro de agua, la producción de oxígeno, absorción de CO<sub>2</sub>, regulación del clima, la mitigación de inundaciones, prevención de deslizamientos, como también son importantes para desarrollar actividades económicamente sostenibles como el manejo de recursos naturales y el turismo entre otras (SERNANP, 2013).

**Tabla 3**

*Número de Áreas Naturales Protegidas según su categoría y extensión en el Perú*

<b>Categoría</b>	<b>N°</b>	<b>Extensión</b>
Parque Nacional	15	10 394 366.70
Santuario Nacional	9	317 366.47
Santuario Histórico	4	41 279.38
Reserva Nacional	15	4 652 851.63
Refugio de Vida Silvestre	3	20 775.11
Bosque de Protección	6	389 986.99
Reserva Paisajística	2	711 818.48
Reserva Comunal	10	2 166 588.44
Coto de Caza	2	124 735.00
Zona Reservada	9	625 755.25
<b>Total de ANP</b>	<b>75</b>	
Áreas de Conservación Regional	25	3'245,188.63
Áreas de Conservación Privada	147	384,918.98
<b>Total</b>		<b>22'645,810.51</b>

Fuente: SERNANP (s.f.)

### **2.2.6. Parque Nacional de Cutervo**

El Parque Nacional de Cutervo (PNC) se encuentra ubicado en la provincia de Cutervo circunscrito sobre los distritos de San Andrés de Cutervo, Santo Domingo de la Capilla, Callayuc, Santa Cruz de Cutervo de Cutervo, Pimpingos y Santo Tomás, por el norte limita con los distritos de Pimpingos y Santa Cruz de Cutervo de Cutervo, por el este con el distrito

de Santo Tomás de Aquino, San Andrés de Cutervo y Socotá, por el sur con el distrito de Cutervo y por el Oeste con el distrito de Santo Domingo de la Capilla y Callayuc, en el departamento de Cajamarca.

El PNC es la primera área natural de esta categoría establecida por el Estado Peruano, por Ley N° 13694 el 20 de setiembre de 1961, con una exención de 2500 ha (25 km<sup>2</sup>). Desde su creación a la fecha ha tenido varias propuestas de ampliación, después de muchos estudios en el año 2006 se realiza el reajuste de la propuesta de ampliación, considerando para ello especies de interés científico, accidentes geográficos, la menor área intervenida posible, tenencia de tierras y lugares con potencial turístico, siendo así el 6 de agosto del 2006, después de 45 años se cambia la Ley mencionado por la Ley N° 28860 que dispone la Ampliación del PN de Cutervo con una extensión de ocho mil doscientas catorce hectáreas y dos mil trescientos metros cuadrados (8,214.23 ha), dividida en dos sectores el Sector Norte con dos mil cuatrocientas veintinueve hectáreas y cinco mil cuatrocientos metros cuadrados (2,429.54 ha), y el Sector Sur con cinco mil setecientas ochenta y cuatro hectáreas y seis mil novecientos metros cuadrados (5,784.69 ha).

La ZA del PN de Cutervo se ubica en su totalidad en el departamento Cajamarca, Provincia de Cutervo, formando un anillo alrededor de las dos sectores del ANP, fue establecida mediante R.J. N° 238-2007 INRENA el 22 de Octubre del 2007 con una extensión de 23,021.95 ha, no obstante en el desarrollo del Plan Maestro se redefinieron sus límites de acuerdo a varios criterios como, los de fácil identificación en campo (considerando aspectos físicos – geográficos), variables socio económicas que potencialmente puedan ejercer presión sobre el ANP (presión antrópica – influencia de las poblaciones asentadas en el ámbito de la ZA al ANP y actividades económicas), esta nueva área abarca una extensión de 19,425.77 ha, de acuerdo al PM PNC (2010-2014).

### **2.2.6.1. Características del Parque Nacional de Cutervo**

El Plan Maestro del Parque Nacional de Cutervo (2010 – 2014), especialmente el área está comprendida entre los 2500 – 3000 m s.n.m., presenta un clima Húmedo y Semi Frio (BiB3´a´), con temperaturas entre los 12 °C de promedio anual, con oscilaciones entre 10 °C y 14 °C, llegando a mínimas absolutas de 0 °C (en invierno) y máximas absolutas de 23 °C.

### **2.2.6.2. Precipitación Pluvial**

El análisis de esta información permite apreciar que el régimen de precipitación es muy variable para niveles altitudinales similares, la cual evidencia el efecto de las condiciones orográficas locales, el periodo de máximas precipitaciones es los meses de primavera y verano, en los cuales se descarga entre el 75 % y 95 % del total anual de las precipitaciones pluviales.

La altitud del Parque que se encuentra sobre los 1550 m s,n,m., se registra un marcado aumento de la intensidad de las lluvias, la precipitación total anual en promedio oscila entre los 700 y 1000 mm. (Plan Maestro del Parque Nacional de Cutervo, 2009).

### **2.2.6.3. Temperatura**

Las temperaturas varían desde el tipo semicálido (alrededor de 23 °C), en el área más cerca al Oeste, al tipo frío (alrededor de 6 °C) en el sector Nor oriental quedando comprendida entre estos extremos una serie de variaciones térmicas que caracterizan a cada uno de los pisos altitudinales de esta región. Dado las condiciones de altitud prevalece una temperatura fría.

El régimen de este elemento sigue un patrón típico de variación anual correspondiente a una latitud geográfica tropical, en otras palabras, las temperaturas son altas en los meses de verano, bajas en otoño e invierno y medianas a altas en primavera. Asimismo, se observa que la temperatura desciende en función de la altura. El PNC tiene una variación altitudinal en el

lado sur que va de 1550 hasta los 3500 m s.n.m., y por el lado norte tiene altitud de 2050 a 2900 m s.n.m.

De acuerdo a las altitudes de los 1000 a 2000 m s.n.m. las temperaturas fluctúan anualmente entre los 18.9 °C a 18 °C, en las altitudes de 2000 a 2500 m s.n.m. las temperaturas tienen un promedio que fluctúan anualmente entre los 14 °C a 18 °C y las altitudes que se localizan entre los 2500 y 3500 m s.n.m., se observan temperaturas que fluctúan entre los 7 °C y 14 °C en sus niveles superior e inferior, respectivamente.

#### **2.2.6.4. Evaporación**

La mayor evaporación se registra en el parte más baja hasta los 2000 m s.n.m. con un promedio anual de 1,250 mm, no obstante, la evaporación más baja se registra en el piso altitudinal comprendido entre los 2500 y 3500 m s.n.m. con un promedio anual de 860 mm. La causa de ello es que el rango altitudinal del área de estudiada de la región soporta índice de irradiación solar anual más alto, que está directamente relacionado con la evaporación.

#### **2.2.6.5. Humedad Relativa**

En general, la humedad relativa es más alta durante el verano, y en algunos casos hasta el otoño, y es más baja durante el resto del año. Puede estimarse que el promedio anual es de 81 % en las latitudes bajas y en Cutervo (2650 m.s.n.m.) se ha registrado un 92 %, como valor extremo.

#### **2.2.6.6. Hidrografía**

Dentro del terruño del PNC se cuenta con diecisiete ríos de primer orden (es decir que no tienen afluentes) y 06 ríos de segundo orden (se forman al unirse los de primer orden),

considerados dentro de la cuenca del río Huancabamba (flanco occidental) y el río Socotá (flanco oriental), ambos afluentes del río Marañón (PM PNC, 2009).

Uno de los servicios ecosistémicos que brinda es la retención y distribución regulada del recurso hídrico, del cual se benefician directamente 42 centros poblados situados en la Zona de Amortiguamiento, tanto para sus áreas agrícolas y pecuarias como para la generación de energía eléctrica. Por lo que, es de gran importancia proteger los bosques de esta área natural, ya que la capacidad de captación y fijación del recurso hídrico beneficia a las poblaciones aledañas.

#### **2.2.6.7.Ecosistemas**

Según el Plan Maestro del Parque Nacional de Cutervo (2017), esta área natural protegida presenta tres ecosistemas:

##### **2.2.6.7.1. Bosque húmedo**

Se caracterizan por encontrarse expuestos a corrientes de aire con alto grado de humedad producidos por la evapotranspiración de la vegetación y transpiración de las fuentes de agua cercanas, siendo un gran almacenador y regulador de la distribución de agua dulce.

El bosque húmedo del PNC se encuentra distribuido en el Sector Norte y Sector Sur del ANP (27.27 % y 64.07 % respectivamente) y se encuentra distribuido entre los 1950 msnm y 2900 m.s.n.m., en el Sector Norte y 1700 m s.n.m. a 3400 m s.n.m., en el sector sur, representando el 91.35 % del total del ANP.

Entre los principales servicios ecosistémicos que brindan están: la retención y distribución regulada del recurso hídrico, de donde se benefician directamente 42 centros poblados ubicados en la ZA, tanto para sus áreas agrícolas y pecuarias como para la generación

de energía eléctrica, captura de carbono, ser refugio de vida silvestre (de especies como la pacarana, tigrillo, pavas de montaña, olinguito de las neblinas, oso de anteojos, batracios), entre otros.

La vegetación es bastante densa con vegetación arbórea de doseles que van desde los 20 a 30 m de altura, diversidad de helechos entre gigantes y enanos, bosque de palmera de las familias *Arecaceae* (*Ceroxylon*), *Podocarpaceae*, *Melastomataceae*, los géneros *Ocotea*, *Cinchona*, entre otros.

Los principales factores que afectan este ecosistema en el PNC son:

- Incendios (registrado en el mes de noviembre 2016).
- Tala indiscriminada en bosque natural (no registrada desde hace 2 años atrás).
- Desbosque en áreas en regeneración.
- Tala selectiva con fines de comercialización ilegal.
- Ganadería de tipo vacuna.
- Existencia de caminos de herradura.

#### **2.2.6.7.2. Bosque seco**

Se caracterizan por su vegetación con predominancia de herbáceas y arbustivas, es un ecosistema almacenador de carbono. Sus suelos son relativamente pobres por las grandes presiones, incendios constantes al que se vio expuesto décadas anteriores. Se encuentra en el norte del flanco occidental del Sector Sur entre los 1500 m s.n.m. a 2250 m s.n.m., representando el 1.45 % del ANP. EL principal servicio ecosistémicos es: la protección de suelos y captura de carbono, también es el refugio de vida silvestre de lagartijas, serpientes, venados y zorros, entre otros. Las principales amenazas de este ecosistema en el PNC son: Probables incendios o quemas descontroladas que generalmente se inician en las partes bajas fuera del ANP.

### **2.2.6.7.3. Páramos y jalcas**

Los páramos o Jalcas, se encuentran en el PNC tanto en el Sector Norte como en el sector Sur, en un aproximado de 7.19 %; se caracteriza por una vegetación herbácea y arbustiva con algunos rodales de árboles de pequeños y helechos gigantes, entre otros, adaptados a un clima con altas variaciones de temperatura y abundante precipitación; sus suelos son volcánicos con altos contenidos de materia orgánica. Este ecosistema, tiene una alta capacidad de regulación hídrica.

Los principales servicios ecosistémicos que brinda el ecosistema, es el almacenamiento y distribución regular del recurso hídrico, almacenamiento de carbono, refugio de vida silvestre (venados cola gris, zorro andino, pájaro carpintero andino) y belleza escénica.

Los páramos o jalcas del PNC se encuentran sobre los 2450 msnm a 2900 m s.n.m. en el Sector Norte y 2800 m s.n.m., a 3750 m s.n.m. en el Sector Sur.

Los principales factores que afectan este ecosistema son:

- Probables incendios o quemas descontroladas que se inician en las partes bajas (fuera del ANP), en la comprensión de la Comunidad Campesina de Mochadín.
- Ingreso de ganado vacuno, provenientes de las partes bajas (fuera del ANP), en la comprensión de la Comunidad Campesina de Mochadín (ya no se presentan hace más de 7 años).

### **2.2.6.8. Flora**

En cuanto a la flora en el Parque Nacional de Cutervo, predominan los páramos y bosques de neblina los cuales son considerados como ecosistemas muy importantes que se distinguen por captar, almacenar, nutrir, regular y distribuir el agua.

Estos bosques presentan ecosistemas con una gran diversidad relevante, encontrando especies de orquídeas, líquenes, hongos, bromelias y vegetación arbórea de importancia económica y medicinal, como la cascarilla (*Cinchona* sp.); cedro (*Cedrela* sp.); roble (*Nectandra* sp.); nogal (*Juglans* sp.); aliso (*Alnus jorullensis*); saucecillo (*Podocarpus* sp.). se encuentran además bosques relictos de Palmeras Blancas, dentro del bosque de neblinas en el distrito de San Andrés.

De acuerdo al Inventario florístico y análisis biogeográfico del bosque montano del noroeste de Perú, en el ANP se han encontrado 125 familias, 340 géneros, y 683 especies.

También, se han descubierto especies nuevas para la ciencia como el líquen (*Phisma peruvianum*) Dodge, endémico y la Melastomatácea (*Brachyotum cutervoanum* Wurdack).

#### **2.2.6.9. Fauna**

La fauna no se ha registrado rigurosamente, por lo que la información es muy diversa. Sin embargo, existen algunos estudios de investigación sobre la fauna característica en el PNC.

Entre las especies de animales que habita en los bosques del PNC destaca el jaguar (*Panthera onça*), el tigrillo (*Leopardus pardalis*), el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*), la nutria (*Lontra longicaudis*), el gato silvestre (*Oncifelis colocolo*), el tapir de altura (*Tapirus pinchaque*), el pilco o quetzal de cabeza dorada (*Pharomachrus auriceps*), el gallito de las rocas (*Rupicola peruviana*), majas de altura (*Cunicula taczanowskii*), oso hormiguero (*Myrmecophaga trydactyla*), venado cenizo (*Mazama gonazombira*), pacarana o paca (*Dinomys branickii*), el pez bagre ciego (*Astroblepus rosei*) de las cavernas y a los guacharos (*Steatornis caripensis*) (PM PNC, 2010-2014).

### **2.2.7. Procedimiento para determinar el carbono acumulado en ecosistemas forestales**

Según Schlegel et al. (2001), el procedimiento para determinar el carbono acumulado en ecosistemas forestales, se detalla a continuación:

#### **2.2.7.1.1. Inventario de carbono**

Los pasos fundamentales en el diseño del muestreo con parcelas son: la selección de las unidades, tipo de parcelas según los objetivos, tipo de muestreo y los estratos.

#### **2.2.7.1.2. Diseño del muestreo**

La unidad de muestreo utilizada es una parcela de tipo temporal. Sin embargo, en áreas donde se necesitan llevar a cabo Proyectos de Carbono, con la finalidad de hacer monitoreo de éste a través del tiempo, se establecerán parcelas de muestreo permanentes.

Con respecto a la estratificación de la población, es mejor utilizar el muestreo aleatorio ya que proporciona una estimación más exacta cuando se trata de presupuestos limitados. Así mismo los estratos de la población lo podemos identificar por tipo de vegetación, tipo de suelo o topografía.

En los inventarios de carbono, los estratos deben ser determinados a partir de la estimación del peso total de stock de carbono. La biomasa aérea es el criterio de estratificación más apropiado porque su almacenamiento de carbono depende en gran medida de ella.

Para definir los estratos se pueden utilizar imágenes satelitales, fotografías aéreas y mapas de vegetación, suelo o topografía. Estos elementos deben ser combinados con mediciones directas en terreno para la validación. Este trabajo puede ser apoyado por un sistema de información geográfico (SIG), el cual facilita la estratificación de las unidades y la

localización de los puntos de muestreo. También las áreas o superficies pueden ser determinadas manualmente utilizando un planímetro o red puntos.

#### **2.2.7.1.3. Tamaño muestral**

El nivel de precisión debe considerarse entre 5 y 20 %, luego se establece el tamaño de las muestras para cada estrato y para cada depósito de carbono a evaluar. En los ecosistemas forestales se encuentran cinco depósitos diferentes donde se almacena el carbono absorbido: Biomasa sobre el suelo (los árboles y el sotobosque); biomasa bajo el suelo (las raíces); árboles muertos en pie y troncos caídos; hojarasca y suelo.

Es importante mencionar que los inventarios de carbono son más exactos que los inventarios tradicionales debido a que se deben considerar diferentes depósitos de carbono, los cuales pueden tener una varianza diferente. Por lo tanto, el error estándar de la media para la biomasa aérea puede alcanzar el 20 %, pero para un determinado tamaño muestral el error estándar para el suelo puede ser del 40 % y el de la biomasa subterránea es 80 % o mayor. En resumen, el tamaño de muestra para cada depósito de carbono se determina por separado.

#### **2.2.7.1.4. Selección de las unidades de muestreo**

Las unidades de muestreo vienen hacer las parcelas de área fija y la ubicación de estas puede ser seleccionada aleatoriamente o sistemáticamente. Si se tiene poca información sobre la población que se va a muestrear se recomienda una selección aleatoria; ahora bien, si el monto de carbono en la parcela está distribuido de manera irregular, entonces las dos formas de selección son igualmente precisas; en cambio si parte del estrato contiene más carbono que la otras, la selección sistemática es más precisa que la selección aleatoria.

### 2.2.7.1.5. Ubicación de las parcelas en el terreno

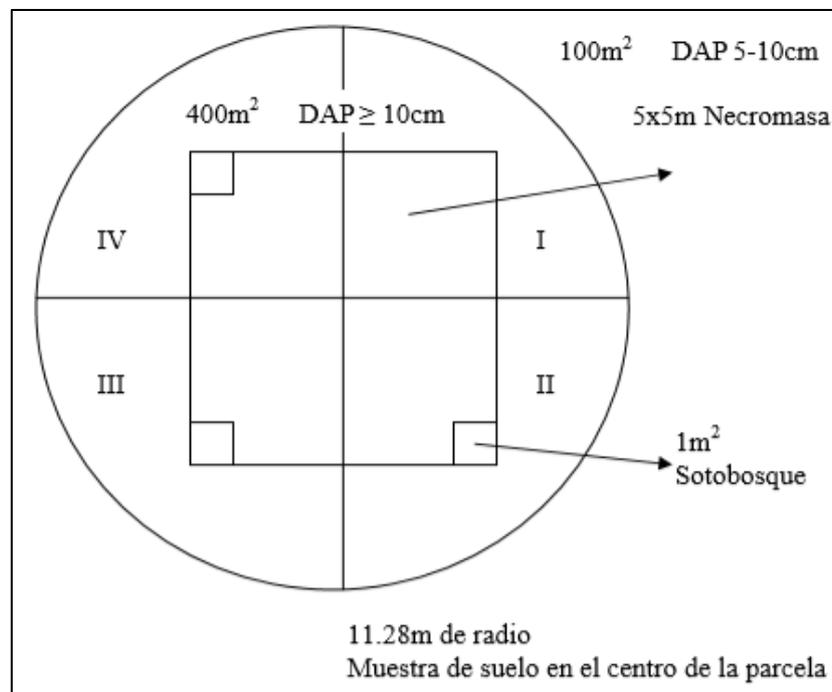
La localización de las parcelas de muestreo en campo debe hacerse con la ayuda del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), este equipo hace posible la ubicación o reubicación eficiente y precisa de las parcelas, particularmente en lugares con pocos caminos.

### 2.2.7.1.6. Parcelas de inventario de carbono

Normalmente para bosques nativos se usan parcelas de muestreo circulares con un radio de 11,28 m y un área de 400 m<sup>2</sup>. Sin embargo, para bosques con una gran densidad, se pueden utilizar parcelas más pequeñas; el tamaño se determina teniendo en cuenta que cada parcela debe contener unos 30 árboles.

**Figura 3**

*Diseño de la parcela de inventario de carbono*

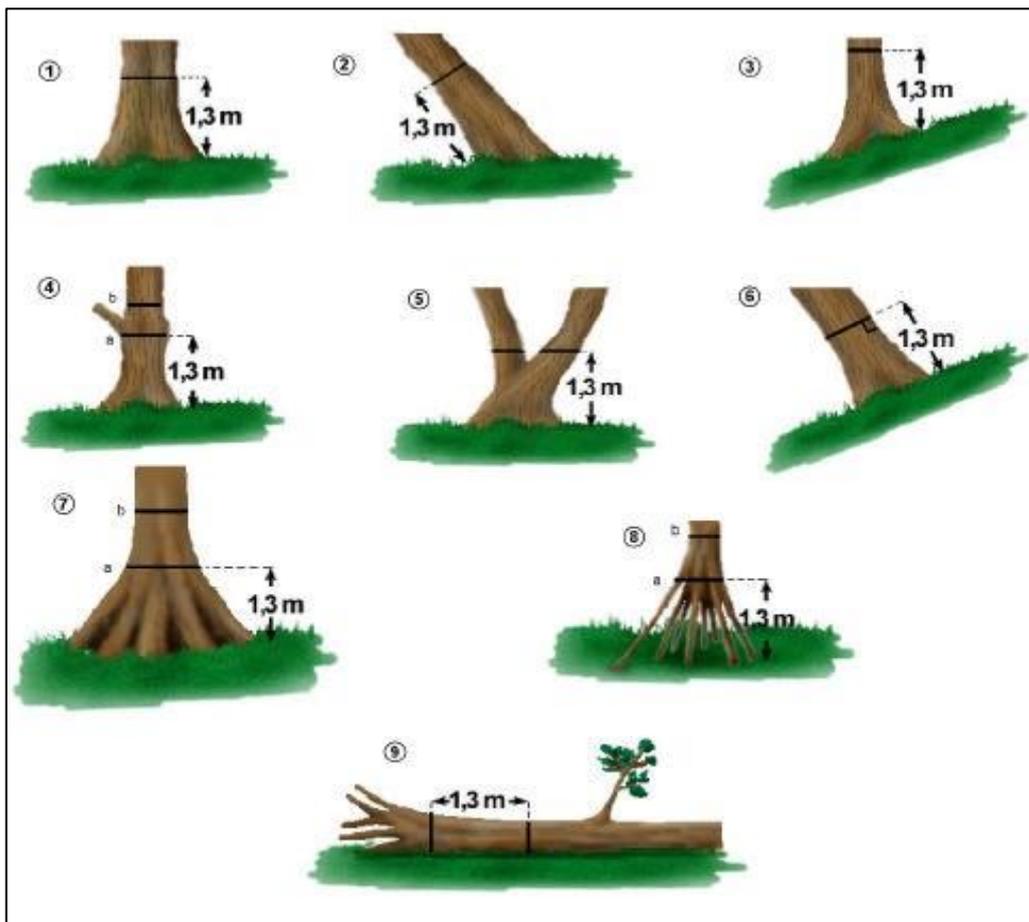


Fuente: Schlegel et al. (2001).

Primeramente, las actividades se inician con el trazo de las parcelas de 400 m<sup>2</sup> con sus respectivos cuadrantes (I, II, III Y IV) y sub parcelas de medición de necromasa, sotobosque y hojarasca (Figura 3); seguidamente se comienza con el inventario de árboles con DAP  $\geq 5$  cm, es importante considerar que para este tipo de inventarios se debe medir el DAP y la altura de árboles muertos en pie, además el DAP se mide con una cinta diamétrica o forcípula (Figura 4); por último los árboles que se encuentran en los límites de la parcela deben medirse si más de la mitad del fuste está dentro del parcela.

**Figura 4**

*Medición in-situ del diámetro a la altura del pecho, en las situaciones 4,7 y 8 se traslada la cinta diamétrica a la posición b para medir el DAP*



Fuente: Schlegel et al. (2001).

### **2.2.8. CarbonFix Standard (CFS)**

El CFS fue desarrollado por la organización CarbonFix que está acreditada por la UNFCCC. Sus miembros son científicos expertos en el campo de la silvicultura, ambiente y desarrollo (Ríos et al., 2012, p.18). La asociación sin ánimo de lucro fue fundada en 1999 para seguir el proceso climático de la ONU y promover el potencial de los proyectos de forestación climática. Está registrada según la legislación alemana y administrada por la Secretaría de CarbonFix (CFS, 2009).

La primera versión de este estándar fue lanzada en las Naciones Unidas en diciembre de 2007. Este estándar es permanentemente mejorado y los miembros de la mesa técnica son los responsables directos, por lo cual también validan los proyectos antes de que puedan ser verificados y registrados. La mesa técnica es el soporte de los miembros de la alianza CarbonFix, compuesta por una red de instituciones e individuos con experiencia en el tema. El principal objetivo de este estándar es el de proveer a los desarrolladores de proyectos de altos estándares de calidad que sean aplicables a varias escalas y para diferentes usuarios. El CFS busca, además, mejorar las inversiones en proyectos que tengan el componente ambiental (mejoramiento del clima, reforestación, etc.) y social en países en desarrollo (Merger, 2008). Hamilton et al. (como se citó en Ríos et al., 2012, p.18) menciona que, el énfasis del CFS son los proyectos de manejo forestal sostenible que aseguren que los créditos de carbono del CFS sean obtenidos. El CFS opera de manera transparente, y todos los documentos excepto los financieros están disponibles en su sitio Web. Dentro de este estándar son aceptables proyectos de cambios en el uso del suelo, incluyendo a aquellos de plantaciones para la conservación, plantación para el manejo de los bosques y los proyectos agroforestales (versión 2.1 del CFS) (Merger, 2008).

El Estándar CarbonFix (CFS) sirve para garantizar la calidad de los proyectos de forestación que se aplican en todo el mundo. Los proyectos certificados por CarbonFix secuestran carbono, restauran los bosques y aportan beneficios a la población local y al medio ambiente (CFS, 2009).

La metodología CarbonFix Standard (CFS), se considera como una buena opción para utilizar en la estimación del CO<sub>2</sub> evitado en la atmósfera en el bosque de neblina, por lo económico y práctico que resulta su aplicación, además constituye una ventaja comparativa con respecto a otras metodologías, por su aceptación en los mercados voluntarios de comercialización de carbono (Carrasco, 2009).

En cuanto a la metodología, el CFS sólo acepta la suya propia, basada en las directrices de buenas prácticas del IPCC y alineada en la mayor medida posible con el MDL. Para aquellos promotores de proyectos que quieran maximizar los beneficios ambientales y sociales sin duplicar los costes de validación, el CFS reconoce los sistemas de certificación del Consejo de Administración Forestal (FSC) y del CCB. CarbonFix tiene su propio registro y entrega un ID de certificado único para cada proyecto (Estrada, 2011).

### **2.3. Definición de términos básicos**

**Biomasa:** peso (o estimación equivalente) de la materia orgánica, por encima y por debajo del suelo (Lino, 2019).

**Bosques:** ecosistema compuesto predominantemente por árboles y otra vegetación leñosa que crecen juntos de manera más o menos densa (Lino, 2019).

**Captura de carbono:** es la extracción y almacenamiento del carbono atmosférico en forma de biomasa en los océanos, bosques o la tierra. (IPCC, 2005).

**Carbono:** elemento químico sólido y no metálico que se encuentra en todos los compuestos orgánicos y en algunos inorgánicos. En su estado puro se presenta como diamante o grafito. Su símbolo es C y su número atómico 6. El carbono permanentemente ingresa en la atmósfera en la forma de dióxido de carbono, metano y otros gases (Lino, 2019).

**Deforestación:** eliminación de la cobertura forestal de un bosque natural por causa del ser humano o de la naturaleza (Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre).

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** es uno de los gases más abundantes en la atmósfera, juega un papel importante en los procesos vitales de plantas y animales, tales como fotosíntesis y respiración. El dióxido de carbono es una molécula con la fórmula molecular CO<sub>2</sub>. Esta molécula lineal está formada por un átomo de carbono que está ligado a dos átomos de oxígeno, O = C = O (Lino, 2019).

**Fotosíntesis:** proceso a través del cual las plantas, las algas y algún tipo de bacteria captan la energía de la luz que emana el sol y la utilizan para transformar la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que les resultará fundamental a la hora de su crecimiento y desarrollo (Romero, 2015).

**Fuga de CO<sub>2</sub>:** en el contexto de la captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC), se entiende por fuga de CO<sub>2</sub> el escape de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) inyectado desde el emplazamiento de almacenamiento y la liberación final a la atmósfera (IPCC, 2005).

**Gas de efecto invernadero:** los gases de efecto invernadero son gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico. Los gases de efecto invernadero atrapan la energía del sol en la atmósfera, provocando que esta se caliente (IPCC, 2005).

**Mitigación del cambio climático:** intervención antropogénica para reducir las fuentes de gases de efecto invernadero o mejorar los sumideros (los procesos, las actividades o los mecanismos que eliminan un gas de efecto invernadero de la atmósfera) (IPCC, 2005).

**Sumidero:** cualquier proceso, actividad o mecanismo que retira de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol, o un precursor de gases de efecto invernadero (IPCC, 2005).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Localización de la investigación

La investigación se llevó a cabo en un bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo, el bosque evaluado se encuentra ubicado en el distrito de Pimpingos, sector Norte del ANP, representa el 27.27 % (2240.02 ha) del total del ANP y se encuentra distribuido entre los 1950 m.s.n.m. y 2900 m.s.n.m. (PM – PNC, 2009). Según la clasificación de Holdrige presenta dos zonas de vida: bosque muy húmedo - Montano Bajo Tropical (bmh – MBT) y el bosque húmedo – Montano bajo Tropical (bh – MBT), en la cuales se produce una asociación atmosférica dando lugar a los bosques de neblina quienes son los principales captadores de esta humedad, produciendo una evapotranspiración baja añadiendo agua al sistema hidrográfico (PM – PNC, 2017).

**Tabla 4**

*Coordenadas UTM del área de estudio en el bosque húmedo del Parque Nacional de Cutervo (Figura 5)*

Vértices	Este	Norte	Altitud (msnm)
A	749944	9319787	2525
B	749984	9319695	2518
C	749892	9319655	2492
D	749852	9319746	2485

#### 3.1.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación desarrollada tiene un diseño no experimental, transversal del tipo descriptivo de características de recolección de datos para un único momento (Hernández et al., 2014, p. 127).

### 3.1.2. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<b>Variable Independiente</b> Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo – Cajamarca	Bosque de neblina se puede definir como un bosque húmedo que se caracteriza por una alta concentración de niebla superficial, especialmente en el dosel arbóreo (Sánchez, 2019). Los bosques cumplen un rol importante en los procesos de mitigación del cambio climático, debido a que almacena carbono en la biomasa arbórea y en el suelo.	La variable se evaluó empleando el manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales propuesto por (Schlegel et al., 2001).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomasa tallos leñosos &lt; 5 cm de DAP.</li> <li>• Biomasa árboles <math>\geq 5</math> cm y &lt; 10 cm de DAP.</li> <li>• Biomasa árboles <math>\geq 10</math> cm de DAP.</li> <li>• Hojarasca</li> <li>• Suelo</li> </ul>	t ha <sup>-1</sup>  t ha <sup>-1</sup>  t ha <sup>-1</sup> t ha <sup>-1</sup> t ha <sup>-1</sup>	Razón
<b>Variable dependiente</b> Captura de carbono	Es la extracción y almacenamiento del carbono atmosférico en forma de biomasa en el bosque o la tierra.	Así mismo para estimar la cantidad de carbono acumulado en la biomasa y la fijación de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) de árboles $\geq 5$ cm de DAP, se usó la norma internacional de la Asociación CarbonFix Standard (CFS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captura de carbono en biomasa tallos leñosos &lt; 5 cm de DAP.</li> <li>• Captura de carbono en biomasa árboles <math>\geq 5</math> cm y &lt; 10 cm de DAP.</li> <li>• Captura de carbono en biomasa de árboles <math>\geq 10</math> cm de DAP.</li> <li>• Captura de carbono en hojarasca</li> <li>• Captura de carbono en suelo.</li> <li>• Captura de CO<sub>2</sub> fijado en el <math>\geq 5</math> cm y &lt; 10 cm de DAP.</li> <li>• Captura de CO<sub>2</sub> fijado en biomasa de árboles <math>\geq 10</math> cm de DAP.</li> </ul>	tC ha <sup>-1</sup>  tC ha <sup>-1</sup>  tC ha <sup>-1</sup>  tC ha <sup>-1</sup> tC ha <sup>-1</sup> tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup>  tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup>	Razón

### **3.1.3. Población, muestra y unidad de análisis**

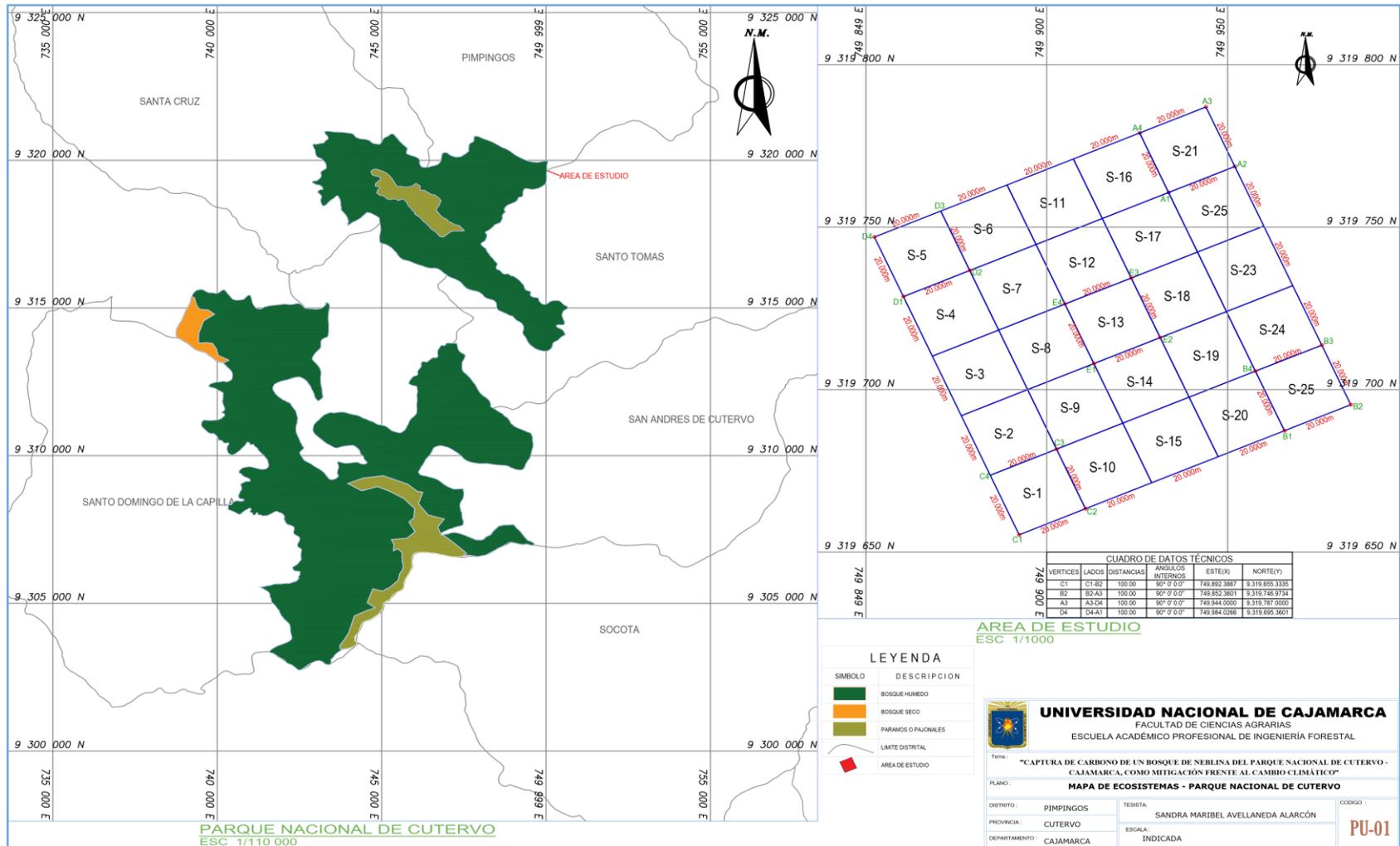
**Población.** 2240.02 ha de bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo.

**Muestra.** Una hectárea del bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo – Cajamarca.

**Unidad de análisis.** Biomasa de tallos leñosos  $< 5$  cm de DAP, árboles  $\geq 5$  cm de DAP, hojarasca y suelo.

**Figura 5**

*Mapa de ecosistemas del Parque Nacional de Cutervo*



### **3.1.4. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

**Fuentes.** Las fuentes de información empleadas en el presente estudio fueron mixtas; las fuentes primarias correspondieron a las registradas en campo (toma de muestra e inventario) y laboratorio (se analizó las muestras del suelo por el método de Walkey y Black). Las fuentes secundarias utilizadas fueron producto de extensas revisiones en artículos científicos, libros e informes.

**Técnicas.** La observación directa con presencia del investigador porque estuvo presente durante las mediciones en campo y en laboratorio.

#### **Instrumentos**

**Ficha de registro de datos:** es un instrumento donde se registran los datos de las variables cuantitativas como el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (Ht), altura comercial (Hc) y peso (w), instrumento adaptado de la metodología propuesta por Schlegel et al. (2001). Se trata de un instrumento fundamental para la obtención de datos.

**Hipsómetro:** instrumento utilizado para medir la altura de los árboles.

**Forcípula de madera:** instrumento utilizado para medir el DAP de los árboles.

**Cilindro metálico:** instrumento utilizado para tomar muestras suelos y determinar la densidad aparente.

### **3.1.5. Validación por expertos y prueba de confiabilidad de instrumentos**

La validación por experto y prueba de confiabilidad de instrumentos (Anexo 1).

### 3.1.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos en la investigación fueron procesados a través de cálculos estadísticos para luego ser analizados, donde se hizo uso de softwares como Microsoft Excel versión 2016, para la obtención de resultados y gráficas.

### 3.1.7. Aspectos éticos

Respeto al medio ambiente

Respeto al derecho de la propiedad intelectual de autores citados en las referencias.

### 3.1.8. Presentación de la información

Los resultados alcanzados en este trabajo de investigación se presentan mediante promedios, porcentajes, tablas, y figuras. Asimismo, el cuál ha sido elaborado, analizando las variables: variable independiente (bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo) y la variable dependiente (captura de carbono).

### 3.1.9. Matriz de consistencia

La matriz de consistencia se muestra en el Anexo 2.

## 3.2. Materiales, equipos, herramientas e insumos

**Material biológico.** Tallos leñosos  $< 5$  cm DAP, árboles  $\geq 5$  cm y  $< 10$  cm DAP, árboles  $\geq 10$  cm de DAP, hojarasca y suelo (30 cm de profundidad).

**Materiales.** Papel bond, libretas de apuntes, lapiceros, lápices, marcadores permanentes, fotografías del (PN de Cutervo), formularios de campo, cinta masking type  $\frac{3}{4}$ , esmalte en sprays de color, bolsas de polietileno de 50 kg, bolsas de papel tamaño oficio, material de apoyo bibliográfico, rafia, agua destilada, alcohol, bolsa plástica x 48 kg.

**Reactivos para la determinación de Carbono en el suelo.** Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1N, solución ferrosa ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ), difenilamina (indicador), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 98 %, ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 95 %.

**Material de vidrio.** Erlenmeyer de 1 L, pipetas graduadas y volumétricas, agitador, buretas para titulación, probetas, tubos de ensayo, morteros.

**Equipos e instrumentos.** Navegador GPS, hipsómetro Blume Leiss BL7, balanza, forcípula de madera, PC (ordenador), Impresora, cámara fotográfica, estufa, calculadora.

**Herramientas.** Machetes, tijeras de podar, wincha de 50 m, jalones, cilindros de metal de volumen conocido (10 cm x 3.8 cm), porta muestra, martillo.

**Equipo personal.** Botas, carpa, poncho para agua, mochila, vestimenta de campo, linternas.

**Servicios de terceros.** Pasajes, alimentación, jornales.

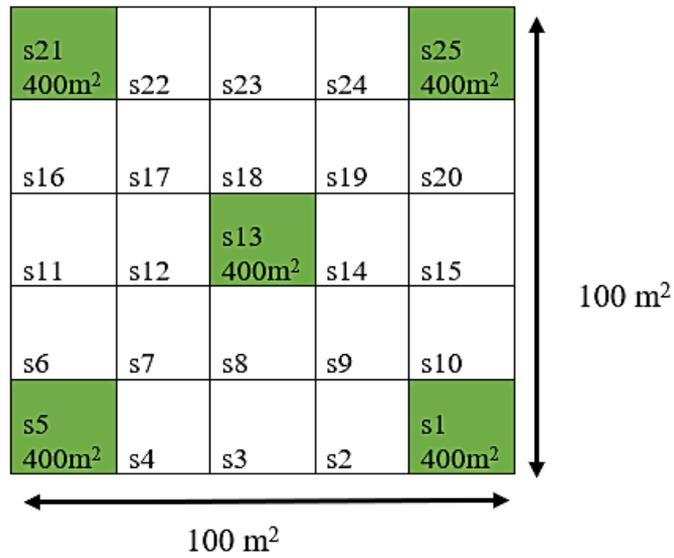
### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Delimitación del área de estudio**

La delimitación in-situ se realizó en campo, con el trazo de rutas, para luego ubicar un área sin intervención antrópica en el bosque húmedo, en donde se estableció una parcela de 100 m x 100 m, dividida en subparcelas de 20 m x 20 m (Figura 6) debidamente georreferenciados los puntos, donde se establecieron las parcelas a muestrear, siguiendo el criterio de la (Figura 7). El área y puntos georreferenciados fueron descargados y procesados con ayuda del software ArcMap 10.4.

**Figura 6**

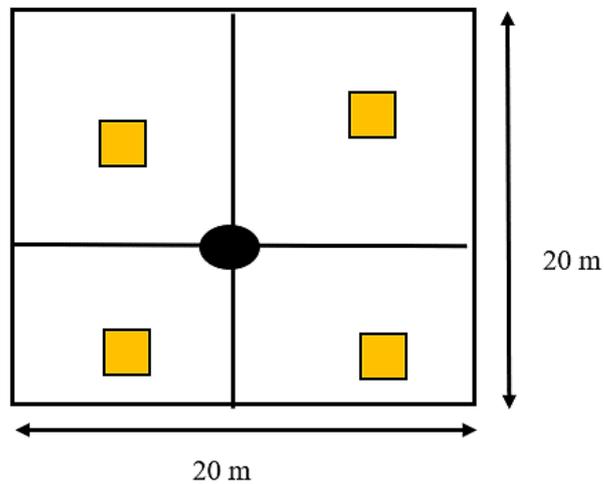
*Diseño de la parcela de evaluación*



s1= subparcela de muestreo

**Figura 7**

*Diseño de la subparcela de muestreo*



 = Subparcela de 1 m<sup>2</sup> de biomasa de tallos leñosos < a 5 cm (sotobosque) y hojarasca.

 = Inventario de árboles y arbustos ≥ 5 cm de DAP.

 = Muestreo de suelo hasta 30 cm de profundidad.

### 3.3.2. Registro de información a nivel de campo

El registro de información de campo se realizó siguiendo la metodología propuesta por Schlegel et al. (2001), consistente en:

#### 3.3.2.1. Biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP (sotobosque)

La biomasa de especies arbóreas y arbustos, se pesaron todos los individuos < a 5 de DAP, que se ubicaron dentro de las cuatro subparcelas de 1 m<sup>2</sup> en los cuadrantes II, III y IV situados a 7 m del centro de la parcela en el centro de cada cuadrante (Figura 7).

#### 3.3.2.2. Inventario

Se realizó el censo a los árboles  $\geq 5$  cm a < 10 cm de DAP y árboles  $\geq 10$  cm de DAP en toda la parcela temporal de evaluación de 1 hectárea, divididos en 25 subparcelas de 20 m x 20 m de tamaño fijo demarcadas convenientemente. Tomando datos de las variables dasométricas como el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (Ht) y altura comercial (Hc), y los datos fueron registrados de acuerdo al formato de la tabla 5.

**Tabla 5**

*Formato para registro de especies en inventario*

N° de parcela de 400 m <sup>2</sup>		01			
N° árb.	Especie		DAP $\geq 5$	Altura comercial	Altura total
	Nombre común	Nombre científico			

Fuente: Schlegel et al. (2001).

#### 3.3.2.3. Hojarasca

La hojarasca de las subparcelas de 1 m<sup>2</sup>, se pesó toda la hojarasca (hojas, ramas, ramillas) con diámetro hasta 10 cm.

### 3.3.2.4. Suelo

Se obtuvieron muestras de suelo del centro de cada una de las 5 subparcelas a muestrear (Figura 7), haciendo un hoyo hasta 30 cm de profundidad, mediante el método del cilindro de volumen conocido, también se colectó una porción de suelo de 250 gramos para el análisis químico.

### 3.3.3. Cálculos para la estimación de carbono acumulado

#### 3.3.3.1. Biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP (sotobosque)

Cada muestra colectada se colocó en una bolsa rotulada y se pesó al instante (peso húmedo). Para el cálculo de la biomasa se obtiene el peso total húmedo (PhBt) en cada subparcela de 1m<sup>2</sup>, de esta se sacó una alícuota y se llevó a laboratorio para determinar el contenido de humedad en base húmeda de la siguiente manera:

$$CH = (Phs - Pss) / Phs * 100$$

CH = Contenido de humedad (%)

Phs = Peso húmedo submuestra (g/m<sup>2</sup>)

Pss = Peso seco submuestra (g/m<sup>2</sup>)

Con el contenido de humedad se calculará la proporción del peso húmedo que corresponde a biomasa:

$$B = PhBt / (1 + (CH / 100))$$

B = biomasa seca (g/m<sup>2</sup>)

PhBt = peso húmedo total de biomasa (g/m<sup>2</sup>)

CH = contenido de humedad (%)

El valor de la biomasa seca se multiplica por la proporción de carbono ponderada 0.50 recomendado por el IPCC. Los valores de carbono se estiman para una hectárea y se expresan en tC ha<sup>-1</sup>.

### 3.3.3.2. Árboles $\geq 5$ y $< 10$ cm de DAP

Para estimar en este caso la cantidad de carbono acumulado en la biomasa arbórea y fijación de CO<sub>2</sub> se usó la norma internacional de la Asociación CarbonFix Standard (CFS) Versión 2.0, desarrollada en base a las fórmulas y directrices de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

#### 1) Cálculo del volumen existente (VE):

Es el volumen obtenido del censo realizado en la parcela evaluada, se calcula con la siguiente fórmula.

$$VE = (0.7854 * DAP^2 * HC * FM) m^3 / ha$$

VE = volumen existente (m<sup>3</sup>/ha)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)

HC = Altura comercial (m)

FM = Factor mórfico (0.70)

#### 2) Cálculo del “above wood volumen” o volumen maderable sobre el suelo (A):

$$A = (VE * 4) m^3 / ha$$

#### 3) Cálculo del “belowg Wood volumen” o volumen maderable bajo el suelo incluye raíces (B):

$$B = (A * 0.5) m^3 / ha$$

- 4) Cálculo del volumen total existente (VTE):

$$VTE = (A + B) m^3 / ha$$

- 5) Cálculo del volumen total de la “baseline wood” o línea base maderable (Línea Base m):

$$Línea Base m = (VE * 1.3) + (VE * 0.2) m^3 / ha$$

- 6) Cálculo del “leakage” o fuga maderable (F m):

$$F maderable = (CO_2 fijado del VTE * 0.2 * Área) tCO_2 / ha$$

- 7) Cálculo del carbono almacenado en el bosque:

$$CA del VTE = (VTE * D * 0.5 * Área) tC / ha$$

$$CA Línea Base maderable = (VE * 1.3) + (VE * 0.2) * D * 0.5 * Área) tC / ha$$

D = Densidad de madera (0.45 tn/m<sup>3</sup>)

0.5 = Proporción de carbono

- 8) Cálculo del CO<sub>2</sub> fijado en el bosque:

$$CO_2 fijado del VTE = (CA del VTE * 3.666) tCO_2 / ha$$

$$CO_2 fijado Línea Base maderable = (CA Línea base maderable * 3.666) tCO_2 / ha$$

3.666 = factor de conversión de C a CO<sub>2</sub>

- 9) CO<sub>2</sub> neto = (+ (CO<sub>2</sub> fijado del VTE) – (CO<sub>2</sub> fijado Línea Base maderable) – (F maderable))  
tCO<sub>2</sub> / ha

### 3.3.3.3. Árboles ≥ 10 cm de DAP

Para estimar en este caso la cantidad de carbono acumulado en la biomasa arbórea y fijación de CO<sub>2</sub> se usó el mismo procedimiento que se usó para los árboles ≥ 5 cm y < 10 cm de DAP.

### 3.3.3.4. Hojarasca

Para el cálculo de carbono acumulado en la hojarasca se sigue el mismo procedimiento que para la biomasa de tallos leñosos de < 5 cm de DAP. Se incluyó en la medición toda la biomasa de hojas, ramas y ramillas de hasta 10 cm de diámetro.

### 3.3.3.5. Suelo

Para determinar el contenido de carbono acumulado por unidad de volumen se obtuvo la muestra de suelo utilizando un cilindro de volumen conocido del centro de la parcela. Preparándose antes la superficie del suelo hasta 30 cm de profundidad, luego se introdujo el cilindro en el suelo sin comprimir, la muestra se llevó a la balanza para obtener el peso húmedo, para posteriormente secar en estufa a 103 ° C hasta peso constante.

- 1) Cálculo de la densidad aparente

$$(DA) \text{ g / cm}^3 = (P_{ss} - \text{Peso del cilindro}) / (\text{Volumen del cilindro})$$

- 2) Para calcular el carbono acumulado en el suelo se utilizó el porcentaje de carbono estandarizado de 50 % y la densidad aparente, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$CS = CC * DA * P$$

CS = carbono en suelo (tC ha<sup>-1</sup>)

CC = contenido de carbono (%)

DA = densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

P = Profundidad de muestreo (0.30 m)

- 3) Determinación del porcentaje de carbono (% C), se analizó las muestras del suelo por el método de Walkey y Black, con el siguiente procedimiento:
  - a) Se pesa entre 0.15 y 0.25 gramos de suelo seco y tamizado

- b) El suelo se coloca en un matraz de 1L de capacidad.
  - c) Al matraz conteniendo el suelo se adiciona 10 ml de bicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1N. y 20 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 98 %.
  - d) Mezclar para homogeneizar la reacción 1 o 2 minutos.
  - e) Dejar en reacción durante 60 minutos a más, la coloración del líquido debe ser similar a la del bicromato de potasio (anaranjada)
  - f) Si la solución resulta verde, se debe reiniciar la determinación con 0.15 a 0.17 gramos de suelo.
  - g) Adicionar 100 ml de agua destilada.
  - h) Adicionar 10 ml de ácido ortofosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 95 % y 1 ml del indicador difenilamina.
  - i) Titular con la solución de sulfato ferroso 1N hasta que la solución cambie de violeta a verde que es cuando se ha terminado la titulación.
  - j) Llevar un blanco (sin muestra) para conocer la normalidad de la solución ferrosa ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ).
- 4) Cálculo del porcentaje de materia orgánica (% MO):

$$\% MO = (4(a - b) / (a * p) * 1.724)$$

a = volumen gastado del blanco (ml)

b = volumen gastado de la muestra (ml)

p = peso de la muestra (gramos)

- 5) Cálculo del porcentaje de carbono en el suelo (% C):

$$\% C = \% MO / 1.724$$

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Captura de carbono acumulado en biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP

El contenido de carbono acumulado en biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP en el bosque evaluado fue de 6.39 tC ha<sup>-1</sup>. La biomasa de tallos leñosos es uno de los componentes que almacena una menor cantidad de carbono, como podemos apreciar en el presente estudio, en el bosque de neblina evaluado represento el 0.85 % del total de carbono almacenado por hectárea. Carrasco (2009), en su evaluación realizada en el bosque de neblina, Área de Conservación Municipal “Bosque de Huamantanga” reporto valores de captura de carbono en biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP con un valor promedio de 15.47 tC ha<sup>-1</sup>. Chinchilla et al. (2019) menciona que, la alta variabilidad en especial en los componentes con menor fijación, puede estar asociada a la representatividad del sitio a escala de paisaje, siendo una de las posibles fuentes de error en el momento de estimar la biomasa en general de los bosques naturales.

#### 4.2. Captura de carbono acumulado en la biomasa de árboles ≥ 5 y < 10 cm de DAP

**Tabla 6**

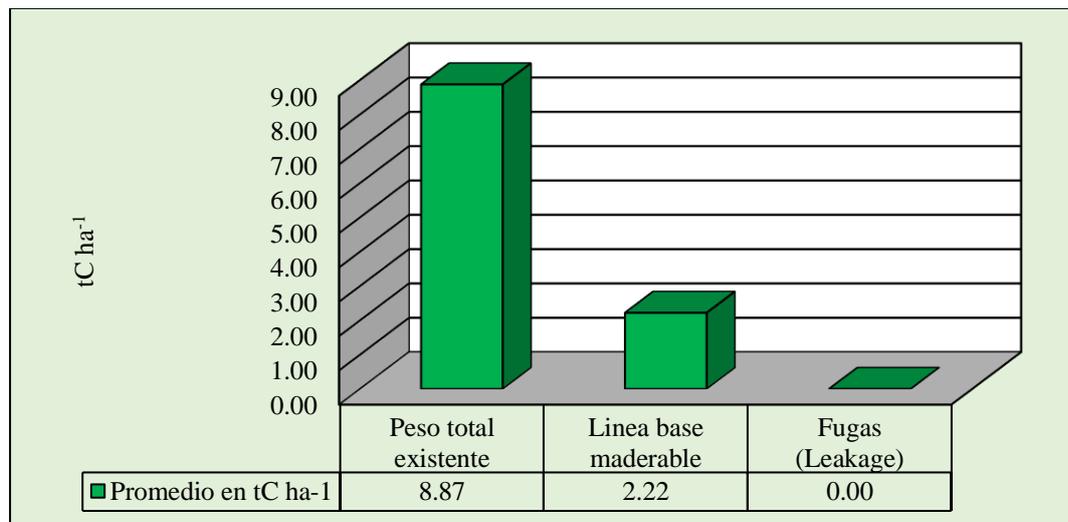
*Resumen de datos evaluados en el inventario de árboles con DAP ≥ 5 y < 10 cm, en el bosque de neblina (PNC) (CarbonFix Standard (CFS))*

<b>Ecosistema (Bosque Húmedo)</b>	<b>Biomasa total sobre el suelo (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Biomasa total bajo el suelo incluye raíces (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Biomasa total existente (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carbono almacenado en el bosque (tC ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>CO<sub>2</sub> total fijado (tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>)</b>
Peso total existente (A)	11.83	5.92	17.75	8.87	32.53
Línea base maderable (B)	3.84	0.59	4.44	2.22	8.13
Fugas (C)					6.51
<b>Total neto en el bosque (+ A - B - C)</b>				<b>6.65</b>	<b>17.89</b>

En la Tabla 6, se señalan que, las variables consideradas para el proceso de cuantificación del carbono neto acumulado en Biomasa de árboles con DAP  $\geq 5$  y  $< 10$  cm, cuyo resultado es de  $6.65 \text{ tC ha}^{-1}$  y la fijación de  $\text{CO}_2$  es de  $17.89 \text{ tCO}_2 \text{ ha}^{-1}$ . Una evaluación apropiada de la biomasa de un bosque es de suma importancia, debido a que mediante el conocimiento de la misma se pueden determinar el total de carbono en sus compartimientos; asimismo, muestra la cantidad potencial de este elemento que se puede liberar a la atmósfera o almacenar en una determinada superficie cuando existe un adecuado manejo de los bosques (Brown et al., 1996; citados por Schlegel, 2001).

### Figura 8

*Carbono acumulado en la biomasa de árboles  $\geq 5$  y  $< 10$  cm de DAP en el bosque de neblina (Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))*



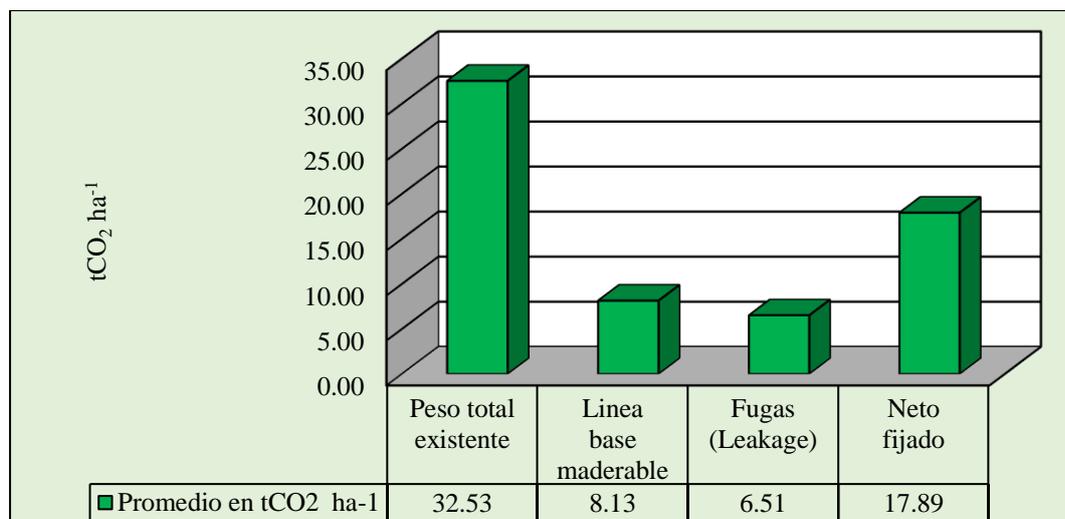
En la figura 8, se observó que, el peso total promedio de carbono acumulado en la biomasa de árboles  $\geq 5$  y  $< 10$  cm de DAP fue de  $8.87 \text{ tC ha}^{-1}$ . Este resultado se debe a que en esta clase diamétrica se inventariaron 545 individuos por hectárea, con un DAP promedio de 6.9 cm, este DAP guarda estrecha relación con el contenido de biomasa. Algunos autores no consideran esta clase diamétrica al momento de realizar evaluaciones de captura de carbono, porque presenta una baja fijación de carbono y no es muy representativa. La línea base

maderable en esta clase diamétrica es de 2.22 tC ha<sup>-1</sup>, este valor se ha determinado utilizando valores en un cálculo conservador, representa el peso de carbono que potencialmente emite el bosque en forma natural, esta variable es de especial interés conocerla en el supuesto caso de reemplazar el bosque por una plantación (caso antrópico generado o transformado por una actividad desarrollada por el hombre) para desarrollar un proyecto forestal.

Las fugas (leakage) de carbono no están representado en este cuadro, porque se consideró al bosque de neblina como fuente de reserva importante de carbono fijado en su biomasa, cuya estabilidad podría ser perturbada y devuelta a la atmósfera con la intervención de factores antropogénicos. Las fugas representan un valor negativo cuando el carbono es liberado a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>; esto ocurre en el cambio de uso del suelo. Esta información es importante, para conocer la capacidad de compensación de los bosques, ya que ellos ayudan aminorar el impacto del cambio climático, al ser una medida de mitigación frente al cambio climático asociados a la reducción de emisiones de dióxido de carbono.

**Figura 9**

*Estimación del servicio ambiental de fijación de CO<sub>2</sub> en la biomasa de árboles ≥ 5 y < 10 cm de DAP en el bosque de neblina ((Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))*



En la Figura 9, se puede apreciar que el total de CO<sub>2</sub> fijado en la biomasa de árboles  $\geq 5$  y  $< 10$  cm de DAP fue de 32.53 t ha<sup>-1</sup>, este valor es importante para hacer el balance conservador de captura-emisión.

La línea base (baseline) representa el 25 % y las fugas (leakage) el 20 % del total existente; estos valores son resultado de un cálculo conservador y se les considera negativos por el hecho que la línea base es la estimación, resultado de la oportunidad que supone mantener al bosque en su estado actual y no transformarlo. Las fugas son el efecto que se puede producir emitiendo CO<sub>2</sub> a la atmósfera por el uso de los recursos del bosque de otro lugar como fuente calórica (traslado de actividades). La evaluación muestra que del 100 % de CO<sub>2</sub> que fija el bosque de neblina solo el 55 % constituye la fijación neta y el 45 % es emitido o devuelto a la atmósfera. Por lo tanto, la fijación neta de CO<sub>2</sub> en el bosque de neblina de esta clase diamétrica es de 17.89 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, siendo un fijador de CO<sub>2</sub> estable y seguro en tanto no sea perturbado. Sin duda alguna uno de los temas más importantes en discusión sobre cambio climático es la estimación precisa de la dinámica de los flujos netos de carbono entre los bosques y la atmósfera, es decir, el balance emisión-captura (IPCC, 1995, citado por Benjamín et al., 2001).

### 4.3. Captura de carbono acumulado en la biomasa de árboles $\geq 10$ cm de DAP

**Tabla 7**

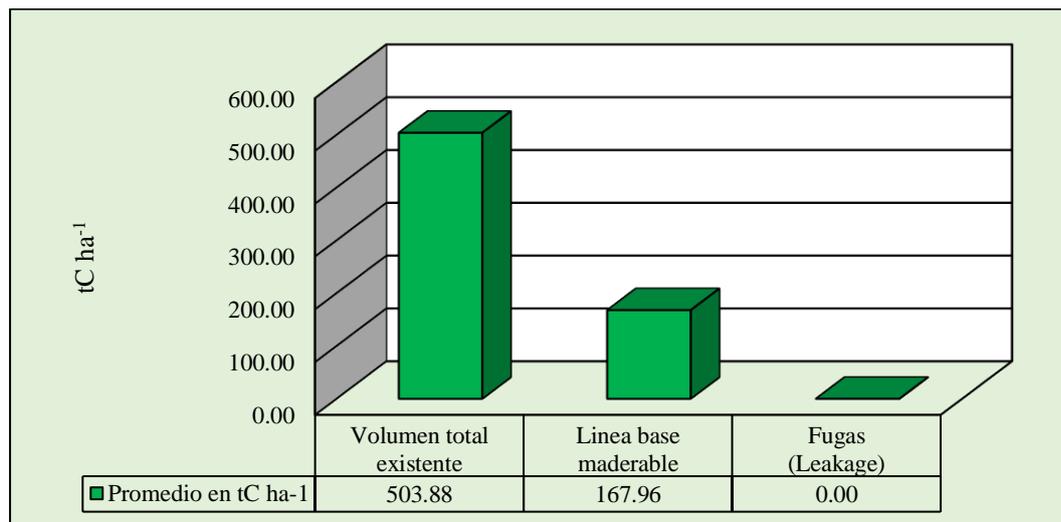
*Resumen de datos evaluados en el inventario de árboles  $\geq 10$  cm de DAP, en el bosque de neblina (Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))*

<b>Ecosistema (Bosque Húmedo)</b>	<b>Biomasa total sobre el suelo (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Biomasa total bajo el suelo incluye raíces (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Biomasa total existente (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carbono almacenado en el bosque (tC ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>CO<sub>2</sub> total fijado (tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>)</b>
Peso total existente (A)	895.78	447.89	1343.68	671.84	2462.96
Línea base maderable (B)	291.13	44.89	335.92	167.96	615.74
Fugas (C)					492.59
<b>Total neto en el bosque (+ A - B - C)</b>				<b>503.88</b>	<b>1354.63</b>

En la tabla 7, se observan las variables consideradas para el proceso de cuantificación del carbono neto acumulado en Biomasa de árboles con DAP  $\geq 10$  cm, cuyo resultado fue de 503.88 tC ha<sup>-1</sup> y la fijación de CO<sub>2</sub> es de 1354.63 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. Carrasco (2009), reportó valores de carbono neto acumulado para el bosque de neblina del Área del Conservación Municipal – Bosque de Huamantanga (ACM – BH) en árboles  $\geq 10$  cm de DAP fue de 280.25 tC ha<sup>-1</sup>, y la fijación de CO<sub>2</sub> fue de 753.4 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. Puede notarse la variación en la estimación, sin embargo, la variación de los resultados depende del manejo dado a la cobertura vegetal, edad, distribución de tamaños, estructura y composición de ésta. Siguiendo las recomendaciones de algunos autores para evitar errores de estimación y poder tener datos con más precisión, debería utilizarse unidades de muestreo de mayor tamaño y un tamaño de muestra más grande; y procurar una distribución al azar de las parcelas en todo el bosque para obtener información más representativa (Brown y Lugo, 1992; citado por Arrega, 2003).

**Figura 10**

*Carbono acumulado en la biomasa de árboles  $\geq 10$  cm de DAP en el bosque de neblina (Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))*



En la figura 10, se aprecia que el peso total promedio de carbono acumulado en la biomasa en árboles  $\geq 10$  cm de DAP fue de  $503.88 \text{ tC ha}^{-1}$ , esto significa que el bosque de neblina evaluado es una importante fuente de reserva de biomasa donde está fijado el carbono.

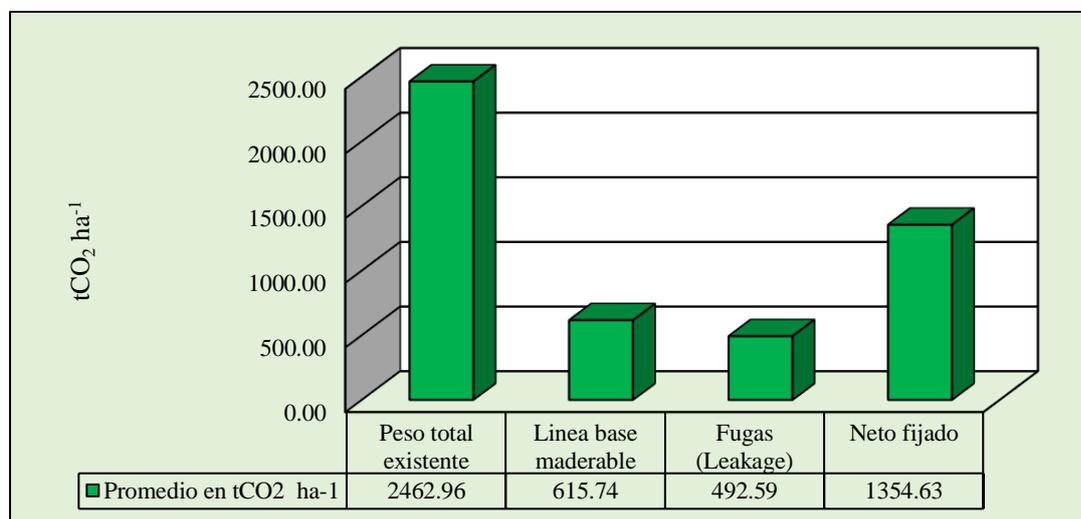
En términos de evaluación de biomasa en árboles, el dato reportado se encuentra por encima de lo que otros autores han encontrado para bosques de neblina. Ramírez (2016) reportó valores de contenido de carbono en la biomasa arbórea de  $102 \text{ tC ha}^{-1}$ , el autor resalta la distribución de las clases diamétricas, donde refleja la presencia de individuos con diámetros inferiores a 25 cm, estos diámetros guardan estrecha relación con el contenido de área basal y biomasa, lo cual afecta directamente los contenidos de carbono en la biomasa arbórea. De igual forma Villalobos (2015), en su evaluación realizada en el bosque siempreverde en la región de Los Lagos - Chile, indica un valor de  $167 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en la biomasa aérea, donde la marca de clase con mayor acumulación corresponde a 22.5 cm. La variación de los resultados según Segura (1997), Ortiz y Riascos, (2006) citados por Gonzales (2013), manifiesta que, se debe tener en cuenta criterios como tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que se basan en datos de biomasa calculada a partir de volúmenes por hectárea de inventarios forestales, así como también de las condiciones del sitio, como localización y clima. El alto contenido de carbono encontrado en la biomasa arbórea del bosque de neblina del PNC, se debe a que es un bosque primario (sin actividad antropogénica), calidad de sitio, especies, densidad del bosque, exposición, entre otros. Brown & Lugo (1982) y Clark & Clark (1996), indican que la presencia de árboles con  $\text{DAP} > 70$  cm en bosques tropicales y subtropicales incrementan considerablemente los contenidos de biomasa y en consecuencia los contenidos de carbono para estos bosques. La distribución de las clases diamétricas del bosque de neblina del PNC, nos reflejó la presencia de individuos con diámetros inferiores a 110 cm, estos diámetros guardan estrecha relación con la biomasa presente en el bosque de neblina del PNC, lo cual afecta directamente los contenidos de carbono en la biomasa arbórea, de esta manera

podemos concluir que los árboles con mayores diámetros concentran la mayor cantidad de biomasa y de carbono. Confirmando lo expuesto por los autores citados, los bosques que presenten individuos con DAP altos, van a presentar mayor contenido de biomasa y carbono.

La línea base maderable fue de 167.96 tC ha<sup>-1</sup> (Figura10), esto representa el peso de carbono que potencialmente emite el bosque en forma natural, esta variable es de especial interés conocerla en el supuesto caso de reemplazar el bosque por una plantación para desarrollar un proyecto forestal, como resultado sería muy negativo que esto sucediera, sin duda alguna el gran valor que representa tener un bosque de neblina natural que nos brinda muchos servicios ambientales de calidad.

**Figura 11**

*Estimación del servicio ambiental de fijación de CO<sub>2</sub> en la biomasa de árboles ≥ 10 cm de DAP en el bosque de neblina (Parque Nacional de Cutervo) (CarbonFix Standard (CFS))*



En la figura 11, se puede apreciar que el total de CO<sub>2</sub> fijado por el bosque de neblina fue de 2462.96 t ha<sup>-1</sup>, la fijación neta de CO<sub>2</sub> en esta clase diamétrica en el bosque de neblina es de 1354.63 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, siendo un fijador de CO<sub>2</sub> estable y seguro en tanto no sea perturbado.

#### **4.4. Captura de carbono acumulado en hojarasca**

El contenido de captura de carbono acumulado en hojarasca (hojas, ramas, ramillas) con diámetro hasta 10 cm del bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo evaluado fue de 7.94 tC ha<sup>-1</sup>.

El resultado obtenido, se encuentra por encima de los reportados por Carrasco (2009) quien menciona que, el contenido de carbono orgánico en la hojarasca del bosque de neblina: Área de Conservación Municipal “Bosque de Huamantanga”, fue de 6.15 tC ha<sup>-1</sup>.

Lapeyre, et al. (2004), reportó 3.51 tC ha<sup>-1</sup> para reservas de carbono en hojarasca en bosque, 4.7 tC ha<sup>-1</sup> para bosques secundario de 50 años y 3.90 tC ha<sup>-1</sup> para bosque secundario con 20 años de edad, en el departamento de San Martín-Perú. Los niveles de hojarasca contribuyen muy poco a la captura de carbono en los sistemas boscosos, sin embargo, son muy significativos los resultados obtenidos en el bosque de neblina del PNC. La diversidad florística del bosque de neblina del PNC, está relacionada con las reservas de carbono en hojarasca, al presentar especies que aportan gran cantidad de biomasa en hojarasca. Adicionalmente, es posible que las hojas de árboles y arbustos del bosque de neblina del PNC presentan mayor tamaño y masa foliar, por lo que se ha encontrado un alto contenido de carbono en hojarasca.

#### **4.5. Captura de carbono en el suelo**

El análisis químico que se realizó al suelo del Bosque de Neblina del PNC, la parcela de evaluación mostró 2.15 % de carbono y 3.80 % de materia orgánica. El carbono orgánico acumulado en suelo del bosque de neblina del PNC fue de 54.37 tC ha<sup>-1</sup>, concentrados a 30 cm de profundidad.

En los bosques primarios la mayor acumulación de carbono orgánico se encuentra en el primer estrato de suelo, esto se debe: a la descomposición de la materia orgánica (hojarasca, restos vegetales y animales) por las condiciones climáticas, como la elevada precipitación

pluvial y la temperatura. El PNC presenta una temperatura que va entre los 12 °C de promedio anual, con oscilaciones entre 10 °C y 14 °C, llegando a mínimas absolutas de 0 °C (en invierno) y máximas absolutas de 23 °C. Al respecto, Álvarez et al. (2013) indica que, el contenido de carbono en el suelo tiende a registrar valores altos debido a la persistencia de una capa orgánica superficial.

El contenido de carbono orgánico encontrado en el suelo del bosque de neblina, fue mayor que los resultados reportados por Burga (2019) quien señala que, el contenido de carbono orgánico en el suelo del bosque primario (zona de vida bosque muy húmedo Montano Tropical, ubicado a 2629 m.s.n.m.) de la provincia de Chota, Región Cajamarca-Perú, fue de 37.22 t ha<sup>-1</sup> hasta 49.22 t ha<sup>-1</sup> acumulados en los primeros 30 cm de profundidad. Sin embargo, los resultados obtenidos en el bosque evaluado en el PNC se encuentran por debajo de los reportados por otros autores. Al respecto Carrasco (2009) menciona que, el contenido de carbono orgánico en el suelo del bosque de neblina del Área de Conservación Municipal “Bosque de Huamantanga” ubicado entre los 1800 a 2100 m.s.n.m.”, en la provincia de Jaén, región Cajamarca-Perú, tuvo un valor de 106.18 tC ha<sup>-1</sup> a una profundidad de 30 cm.

Esta variación en los resultados se debería a que la cantidad de carbono almacenado en suelo, es multifactorial, principalmente, la altitud, temperatura, tasa de descomposición de la materia orgánica, actividad microbiana en el suelo, capacidad respirativa, temporalidad de la evaluación, edad del bosque, etc.

Los factores abióticos como las condiciones climáticas y la textura del suelo, pueden limitar la capacidad del suelo para secuestrar carbono, particularmente al afectar el ciclo del carbono a través de la biota del suelo (FAO y GTIS, 2015). Conant et al. (2011), indican que, aunque se ha establecido claramente en los modelos del ciclo de carbono del suelo, que la temperatura controla enormemente el almacenamiento de materia orgánica superficial (MOS),

la sensibilidad a la temperatura de la descomposición de diferentes partes de la MOS sigue siendo un área incierta. El agua también afecta el almacenamiento del carbono orgánico superficial (COS) en varios procesos. Las tasas de descomposición disminuyen a medida que el suelo se vuelve más seco, siendo el suelo húmedo y bien aireado óptimo para la actividad microbiana. Por el contrario, la tasa de descomposición de la materia orgánica disminuye en los humedales debido a la aireación limitada, lo que a menudo da como resultado suelos que contienen cantidades muy altas de COS (FAO y GTIS, 2015).

Ramírez (2016), reportó que el contenido de carbono en el bosque de neblina de Samanga, provincia de Ayabaca, región Piura, el contenido de carbono en el suelo fue mayor en las parcelas ubicadas entre los 2800 a 2900 msnm ( $473.40 \text{ t ha}^{-1}$  y  $604.31 \text{ tC ha}^{-1}$ ) y en las parcelas ubicadas en la parte más alta entre los 3000 a 3200 msnm presentaron una disminución en el contenido de carbono ( $342.59 \text{ tC ha}^{-1}$  y  $176.11 \text{ tC ha}^{-1}$ ); el autor concluye que la capa orgánica superficial que presenta el bosque ha disminuido conforme aumenta la altitud y por lo tanto acumula menor contenido de carbono. Del mismo modo Álvarez et al. (2013) indica que, los almacenes de carbono en la fracción mineral del suelo en el bosque de Oaxaca, México, se mantuvieron constantes entre 1500 a 2000 m s.n.m., fue de  $220 \text{ MgC ha}^{-1}$ , pero desde 2400 hasta los 2500 m s.n.m., disminuyeron a  $158 \text{ MgC ha}^{-1}$ , esta variación se entiende por dos condiciones, primero el espesor de la capa orgánica superficial el cual se mantuvo casi constante hasta 2400 m, pero disminuyó drásticamente a partir de 2500 m y segundo los horizontes minerales del suelo acumularon menores contenidos de carbono conforme aumentó la altitud.

La gran mayoría de los bosques primarios alberga una gran diversidad de especies de flora que genera hojarasca al suelo, posteriormente esta se descompone y genera la materia orgánica. La densidad aparente del bosque de neblina del PNC es baja, por ser menor a  $1 \text{ g/cm}^3$

(Tabla 8), como resultado la porosidad del suelo es alta, esta condición añadida a la elevada precipitación pluvial de la zona causa que la materia orgánica almacenada en la parte superior se lixivie y se acumule en los niveles más profundos del suelo. Así mismo es importante mencionar que los suelos con un alto porcentaje de carbono orgánico son los más afectados por la variabilidad de la densidad aparente (Hiederer y Köchy, 2011).

**Tabla 8**

*Densidad aparente del suelo de cada una de las muestras*

<b>Densidad aparente encontradas en las muestras</b>	
<b>Código</b>	<b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Sub. 1 - M1	0.9311
Sub. 1 - M2	0.8153
Sub. 1 - M3	0.9748
Sub. 1 - M4	0.9459
Sub. 5 - M1	0.8359
Sub. 5 - M2	0.8837
Sub. 5 - M3	0.9341
Sub. 5 - M4	0.8512
Sub. 13 - M1	0.7158
Sub. 13 - M2	0.8018
Sub. 13 - M3	0.7989
Sub. 13 - M4	0.8203
Sub. 21 - M1	0.7536
Sub. 21 - M2	0.7813
Sub. 21 - M3	0.7700
Sub. 21 - M4	0.8410
Sub. 25 - M1	0.7237
Sub. 25 - M2	0.7927
Sub. 25 - M3	0.7199
Sub. 25 - M4	0.7705
<b>Promedio</b>	<b>0.8231</b>

En la tabla 8, se observó que la densidad aparente del suelo del bosque de neblina, a una profundidad de 30 cm varia de 0.7158 g/cm<sup>3</sup> a 0.9748 g/cm<sup>3</sup>, con un valor promedio de 0.8231 g/cm<sup>3</sup>. Conforme va aumentando la densidad aparente se reduce la porosidad total del suelo, así mismo se ve afectada la disponibilidad de agua y de oxígeno, la penetración de las raíces y otras características (Duchaufour, 1965; citado por Ramírez, 1997). En un tipo de suelo los

valores bajos de densidad aparente ( $< 1 \text{ g/cm}^3$ ) nos indican suelos porosos, bien aireados con buen drenaje y buena penetrabilidad de las raíces, todo lo cual significa un buen crecimiento y desarrollo de los árboles (Donoso 1992, citado por Araucaria, 2005).

#### **4.6. Análisis de los resultados sobre captura de carbono de un Bosque de Neblina del PNC, como medida de mitigación frente al cambio climático**

El cambio climático es un problema ambiental al que debe hacer frente la sociedad mundial, sin embargo, hay alternativas para mitigar este fenómeno y en ese contexto, los bosques juegan un papel importante ya que estos regulan las concentraciones de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, mediante su captura, almacenamiento y fijación en la biomasa y el suelo (Chinchilla et al., 2019). Los bosques de neblina del PNC son una fuente importante de capturar el dióxido de carbono atmosférico por medio de la fotosíntesis e incorporarlo a las estructuras vegetales, para así reducir la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, mitigando a largo plazo el cambio climático. Así mismo brinda otros servicios ecosistémicos como ser, refugio de vida silvestre de especies como *Tremarctos ornatus* (oso de anteojos), es un gran indicador de la calidad de conservación del bosque, el principal beneficio que brinda esta especie es por ser uno de los mejores diseminadores de semillas, por lo tanto, garantiza la vigencia natural del bosque; *Steatornis caripensis* (guácharos), *Dinomys branickii* (la pacarana o paca) entre otros (Resolución Presidencial N° 031-2017). La vegetación es bastante densa con vegetación arbórea de doseles que van desde los 20 a 45 m de altura, albergando una gran biodiversidad, de acuerdo a la identificación de muestras de plantas de la parcela evaluada en el bosque de neblina del PNC, se identificó y ordenó para los grupos taxonómicos de Pteridophyta, Gimnospermae y Angiospermae (Dicotiledoneae), a nivel de la categoría sistemática especie y familia botánica, que se presentan en las tablas siguiente:

**Tabla 9***División Pteridophyta*

N°	Especie	Familia	Nombre común
1	<i>Cyathea delgadoi</i> Pohl ex Sternb.	Cyatheaceae	Chontilla
2	<i>Dicksonia sellowiana</i> Hooker	Dicksoniaceae	Chontilla

**Tabla 10***División Gimnospermae*

N°	Especie	Familia	Nombre común
1	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	Podocarpaceae	Saucecillo

**Tabla 11***División Angiospermae – clase Dicotiledoneae*

N°	Especie	Familia	Nombre común
1	<i>Solanum sycophanta</i> Dunal	Solanaceae	Zapotillo, capotillo
2	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Asteraceae	Chilca
3	<i>Hieronyma asperifolia</i> Pax K. Hoffm.	Euphorbiaceae	Chupica
4	<i>Miconia punctata</i> (Desr.) D. Don ex DC.	Melastomataceae	Juanjil
5	<i>Miconia lepidota</i> DC.	Melastomataceae	Juanjil
6	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Euphorbiaceae	Lalush
7	<i>Eugenia riparia</i> DC.	Myrtaceae	Lanchesillo
8	<i>Cecropia polystachya</i> Trécul	Cecropiaceae	Magmog
9	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	Euphorbiaceae	Ojapaca
10	<i>Nectandra reflexa</i> Rohwer	Lauraceae	Roble
11	<i>Hedyosmum sprucei</i> Solms	Chloranthaceae	Silvana, silvador
12	<i>Alchornea pearcei</i> Britton ex Rusby	Euphorbiaceae	Sonsoquero
13	<i>Cybianthus peruvianus</i> (A. DC.) Miq.	Myrsinaceae	nn
14	<i>Toxicodendron striatum</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	Anacardiaceae	Valdico
15	<i>Warszewiczia coccinea</i> (Vahl) Klotzsch	Rubiaceae	Wasiquero
16	<i>Weinmannia chryseis</i> Diels	Cunoniaceae	Zallyu, sayo

Los principales factores que afectan este ecosistema en el PNC son los incendios (registrado en el mes de noviembre del año 2016), tala indiscriminada en bosque natural (no registrada desde hace 2 años atrás), desbosque en áreas en regeneración, tala selectiva con fines

de comercialización ilegal, ganadería de tipo vacuna, existencia de caminos de herradura (Resolución Presidencial N° 031 - 2017). Siendo el trabajo articulado del SERNAP, la sociedad civil e instituciones, enfocados en el desarrollo sostenible de las poblaciones asentadas dentro y fuera del ANP, herramientas de gestión que permite que estas poblaciones desarrollen actividades económicas rentables y amigables con el ambiente a fin de lograr una mayor y mejor capacidad de adaptación al cambio climático.

Se conoce como volumen total existente (VTE) al resultado de la biomasa obtenida que está sobre el suelo (fuste-copa) y bajo el suelo (raíces), para su estimación se utilizan factores de expansión de biomasa propuestos por la metodología *CarbonFix Standard* en caso de ausencia de datos (Carrasco, 2009). Teniendo en cuenta solo el peso total existente que es la biomasa total en bruto sin descuentos (línea base maderable-fugas, que en este caso viene a ser supuestos que discriminan el VTE); el bosque de neblina evaluado tiene una acumulación promedio total de carbono de 749.71 tC ha<sup>-1</sup> en los depósitos evaluados y un total de emisión de CO<sub>2</sub> evitado en la atmósfera de 2 495.49 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.

En lo que respecta a la estimación del servicio ambiental de fijación de CO<sub>2</sub> neto comercializable según la metodología empleada es de 1 372.52 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> calculado para el componente biológico árboles > 5 cm de DAP, por tal motivo los resultados en la parcela temporal de muestreo (PTM) en el bosque de neblina del PNC muestra que es un sumidero de carbón importante para nuestro planeta, ya que el ecosistema bosque húmedo en el sector norte representa en el PNC 27.27 % (2 240. 02 ha) del total del Área Natural Protegida, por lo que se estima una fijación de 3,074,465.31 tCO<sub>2</sub> comercializable. Ello nos permite visualizar la importancia de su conservación, así como mostrar la relevancia del manejo sostenible de este ecosistema (bosque húmedo). Es preciso aclarar que se ha utilizado la metodología *CarbonFix Standard* (CFS) para calcular el CO<sub>2</sub> fijado, porque se ha evaluado al bosque de neblina desde

el punto de vista conservacionista-comercial, partiendo de la premisa que los servicios ambientales que este bosque brinda (agua, aire, regulación del microclima, fijación de CO<sub>2</sub>, etc.) merecen ser compensados económicamente.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

El Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo tiene una acumulación promedio total de carbono orgánico de 749.41 tC ha<sup>-1</sup> en los depósitos evaluados (suelo, hojarasca, tallos leñosos < 5 cm de DAP, en la biomasa de árboles ≥ 5 y < 10 cm de DAP, y en la biomasa de árboles ≥ 10 cm de DAP) y un total de emisión de CO<sub>2</sub> evitado en la atmósfera de 2 495.49 tCO<sub>2</sub> ha.

El contenido de carbono orgánico acumulado en el Bosque de Neblina evaluado en la biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP fue de 6.39 tC ha<sup>-1</sup> (0.85 %).

El contenido de carbono orgánico acumulado en el Bosque de Neblina evaluado en la biomasa de árboles ≥ 5 y < 10 cm de DAP fue de 8.87 tC ha<sup>-1</sup> (1.18 %).

El contenido de carbono orgánico acumulado en el Bosque de Neblina evaluado en la biomasa de árboles ≥ 10 cm de DAP fue de 671.84 tC ha<sup>-1</sup> (89.65%).

El contenido de carbono orgánico acumulado en el Bosque de Neblina evaluado en la hojarasca fue de 7.94 tC ha<sup>-1</sup> (1.06 %).

El contenido de carbono orgánico acumulado en el Bosque de Neblina evaluado en el suelo fue de 54.37 tC ha<sup>-1</sup> (7.25 %) para los primeros 30 cm de profundidad.

La captura de carbono en un Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo -sector Norte, como medida de mitigación frente al cambio climático, muestra que es una medida de mitigación frente al cambio climático por su contribución de fijación de 3,074,465.31 tCO<sub>2</sub> comercializable.

## **5.2. Recomendaciones**

A los grupos de investigación de universidades públicas y privadas, realizar investigaciones en contenidos de carbono en otras Zonas de Vida o ecosistemas del Parque Nacional de Cutervo abarcando compartimientos como: raíces, hojarasca, biomasa aérea arbustiva, necromasa y suelo.

A las autoridades locales y tomadores de decisiones, incentivar estudios similares en otras Áreas Naturales Protegidas, y específicamente en el norte del Perú, con la finalidad de conocer y entender la dinámica de los bosques andinos y el contenido de carbono en cada uno.

A la comunidad científica, promover investigaciones a largo plazo que permita determinar los cambios en la fijación de carbono en los bosques andinos, en un contexto de cambio climático.

La información generada en este estudio puede ser utilizada para las futuras investigaciones y/o proyectos de cuantificación de carbono en el Parque Nacional de Cutervo. Para complementar la información sobre cuantificación de carbono en esta área natural protegida por el estado, se recomienda realizar estudios relacionados con contenidos de carbono en otros ecosistemas; lo que permitirá que la suma de estos datos nos dé una información más completa del almacenaje de carbono que guardan estos bosques.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo de París. (2015). *Naciones Unidas (ONU)*.  
[https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- Álvarez, G., Krasilnikov, P., & García-Calderón, N. E. (2014). *Los bosques montanos de niebla en México: Heterogeneidad ambiental y almacenes de carbono*. En M. E. Orozco & P. Mireles (Eds.), *Carbono en ambientes biofísicos y productivos. Línea base sobre cambio climático* (pp. 87–108). Universidad Autónoma del Estado de México.
- Álvarez, G; García, N; Krasilnikov, P & García, F. (2013). *Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la sierra norte de Oaxaca, México*. Facultad de ciencias Universidad Nacional Autónoma de México.
- Araucaria. (2005). <http://araucarias.blogspot.com/2005/09/densidadaparente.html>
- Arreaga, W. (2002). *Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Tesis para optar el título de Magister Scientiae. Turrialba, Costa Rica.
- Asquith, N. M., Vargas, M. T., & Wunder, S. (2008). *Selling two environmental services: In-kind payments for bird habitat and watershed protection in Los Negros, Bolivia*. *Ecological Economics*, 65(4), 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.014>
- Brown S. (1997). *Estimación de la biomasa y el cambio de biomasa de los bosques tropicales. Documento forestal de la FAO 134. Urbana, Illinois, EE. UU.*  
<http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.HTM>
- Brown S.; Gillespie A, JR; Lugo, AE. (1989). *Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. Forest Science. Vol. 35.*

<https://www.researchgate.net/publication/233643575> Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data

Brown S; Lugo AE. (1992). *Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon*. Interciencia, Vol. 17, No. 1.

<https://www.researchgate.net/publication/305348793> Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian amazon

Brown, S & Lugo, A. (1982). *The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle*. Biotropical., 14: 161-187pp

Bruijnzeel, L. A., Kappelle, M., Mulligan, M., & Scatena, F. N. (2011). *Tropical montane cloud forests: state of knowledge and sustainability perspectives in a changing world*. En L. A. Bruijnzeel, F. N. Scatena, & L. S. Hamilton (Eds.), *Tropical montane cloud forests: Science for conservation and management* (pp. 691–740). Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511778384.074>

Bubb, P., May, I., Miles, L., & Sayer, J. (2004). *Cloud forest agenda*. UNEP-WCMC.

Burbano, H. (2018). *El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático*. Revista de ciencias agrícolas, 35 (1). <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v35n1/0120-0135-rcia-35-01-00082.pdf>

Burga, E. (2019). *Determinación del Carbono en el Suelo del Bosque del Caserío la Palma, Chadin, Chota*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Cajamarca.

Carrasco, W. (2009). *Eficiencia de captura de carbono del bosque de neblina, Área de Conservación Municipal “Bosque de Huamantanga”, Jaén – Perú*. Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero Forestal. Jaén – Cajamarca – Perú.

CFS (Asociación CarbonFix Standard). (2009). *Criteria & Methodology*.

- Chávez, J. (2018). *Captura y Almacenamiento de Carbono de los Bosques Estacionalmente Secos de la Costa Norte (Lambayeque), como Mitigación Frente al Cambio Climático*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Chinchilla, L., Méndez, A., Sánchez, T. Montero, W., Barquero, I., y Hernandez, L. (2019). *Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un bosque primario intervenido de la zona protectora "El Rodeo", Costa Rica*. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. Sept.- diciembre 2019, 7(3): 341-353.
- Clark, D & Clark, A. (1996). *Abundance, growth and mortality of very large trees in neotropical lowland rain forests*. *For. Ecol. Manage.*, 80: 235-244pp
- CMNUCC (La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). (1992). <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Cognuck, S. y Numer, E. (2020). *Herramientas para la acción climática*. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). Ciudad del Saber Panamá, República de Panamá. <https://www.unicef.org/lac/media/18751/file/herramientas-para-la-accion-climatica.pdf>
- Conant, R., Ryan, M. G., Ågren, G. I., Birge, H. E., Davidson, E. A., Eliasson, P. E., Evans, S. E., Frey, S. D., Giardina, C. P., Hopkins, F. M., Hyvönen, R., Kirschbaum, M. U. F., Lavalée, J. M., Leifeld, J., Parton, W. J., Steinweg, J. M., Wallenstein, M. D., Wetterstedt, J. Å. M. & Bradford, M. A. (2011). *Temperature and soil organic matter decomposition rates – synthesis of current knowledge and a way forward*. *Global Change Biology*, 17: 3392-3404.
- Conferencia Internacional de la Organización de las Naciones Unidas (COP26). (2021). *Juntos por el planeta*. <https://www.un.org/es/climatechange/cop26>

- COP20 (La Conferencia sobre Cambio Climático). (2014): *Las perspectivas y los temas críticos para el Perú. Primera edición. Lima - Perú: Sandra Namihas.*  
<http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/39925>
- Cumbre de Johannesburgo (2002). *Nueva York.*  
<https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/index.html>
- Delacámara, G. (2008). *Análisis económico de externalidades ambientales: Guía para decisores. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).* p. 82.  
[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3624/1/S2008426\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3624/1/S2008426_es.pdf)
- Diaz, H. F., Bradley, R. S., & Ning, L. (2014). *Climatic changes in mountain regions of the american cordillera and the tropics: Historical changes and future outlook. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 46(4), 735–743.* <https://doi.org/10.1657/1938-4246-46.4.735>
- Eguren, L. (2004). *El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Santiago de Chile. CEPAL - SERIE Medio ambiente y desarrollo N° 83.*  
<http://www.fao.org/tempref/docrep/nonfao/lead/x6367s/x6367s00.pdf>
- El protocolo de Kyoto. (2005). *Horizonte Sanitario, vol. 4, núm. 2.* Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Villahermosa, México.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457845044005>
- Estrada M., (2011). *Normas y métodos disponibles para estimar los beneficios de carbono de REDD+ a nivel de proyecto.* Centro de Investigación Forestal Internacional.  
<https://www.jstor.org/stable/resrep02293.4>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2003). *Agroforestería para la Producción Animal en América Latina - II - Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica (agosto de 2000-marzo de 2001).*  
<http://www.fao.org/3/y4435s/y4435s00.htm#Contents>

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2020). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2020*. <http://www.fao.org/3/CA8753ES/CA8753ES.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2020). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020*. <http://www.fao.org/3/ca8985es/CA8985ES.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2021). *Reducción de la deforestación*. <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/reducing-deforestation/in-more-depth/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2017). *El trabajo de la FAO sobre el cambio climático, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2017*. <http://www.fao.org/3/a-i8037s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2002). *Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, 26 de agosto – 4 de septiembre de 2002) importantes y la sociedad civil*. <http://www.fao.org/3/Y7675s/Y7675s.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). (2011). *El cambio climático para los responsables de políticas forestales*. <http://www.fao.org/3/i2429s/i2429s00.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). (2016). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. <http://www.fao.org/3/a-i4793s.pdf>
- Freitas, G. (2016). *La Conservación de Bosques en el Perú*. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/11-la-conservacion-de-bosques-en-el-peru.pdf>

- Fundación Matrix. (2020). *El bosque protege el clima*. <https://fundacionmatrix.es/1101/>
- Girardin, C. A. J., Malhi, Y., Aragão, L. E. O. C., Mamani, M., Huaraca Huasco, W., Durand, L., Feeley, K. J., Rapp, J., Silva-Espejo, J. E., Silman, M., Salinas, N., & Whittaker, R. J. (2010). *Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes*. *Global Change Biology*, 16(12), 3176–3192. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02235.x>
- Gonzales, P. G. (2013). *Valoración económica del secuestro de CO2 en plantaciones de Vochysia lomatophylla (standl) “quillosa” de diferentes edades en el CIEFOR Puerto Almendra*. Tesis (Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales.
- Harris, J., Birjandi, M., y García, A. 2011. Bosques, Agricultura y Clima: *Consideraciones Económicas y de Políticas. Un Módulo de Enseñanza del GDAE Sobre Temas Sociales y Medioambientales de la Economía*. [http://www.bu.edu/eci/files/2019/06/REDD\\_Spanish.pdf](http://www.bu.edu/eci/files/2019/06/REDD_Spanish.pdf)
- Hernández, R., Fernández, C. Y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Editorial McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hiederer, R; Köchy, M. (2011). *Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database*. Luxembourg: JRC-IES.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). s.f. *Cambio climático ¿Qué es una NAMA?* <https://www.namacafe.org/es/que-es-una-nama-0>
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). (2007). *Plan Maestro del Santuario Nacional Tabaconas Namballe 2007-2011. Bosque de Podocarpus*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2395?show=ful>
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2013). *Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio*

*Climático). Cambio Climático 2013. Bases físicas.*

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/wg1ar5\\_summaryvolume\\_final\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/wg1ar5_summaryvolume_final_spanish.pdf)

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Ginebra, Suiza.*

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changes). (1995). *Climate Change 1995. The Science of Climate Change.* Cambridge University Press. U. K.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changes). (2002). *Informe sobre recursos mundiales de suelos: Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Francia.*

83p. <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>

Jackson, P. (sf.). *De Estocolmo a Kyoto: Breve historia del cambio climático. Naciones unidas*

(ONU). <https://www.un.org/es/chronicle/article/de-estocolmo-kyotobreve-historia-del-cambio-climatico#>

Jara, D. (2015). *Acumulación de carbono en un bosque siempreverde y una pradera natural, en condiciones de suelo Ñadi (aquands) en la región de Los Lagos, Chile.* Universidad Austral de Chile.

Kappelle, M. (2004). Tropical Montane Forests. En *Encyclopedia of Forest Sciences* (pp. 1782–1792). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-145160-7/00175-7>

Krasilnikov, P. (2020). *Montane cloud forests. En Encyclopedia of the World's Biomes* (pp. 138–145). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11708-7>

Lapeyre, T., Alegre J., Arévalo, L. 2004. *Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú.* Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Universidad Agraria la Molina (UNALM), Proyecto Cordillera Azul (CIMA).

Ley N°26834. *Ley de Áreas Naturales Protegidas. 30 de junio de 1997.*  
<http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/recursos/archivos/legislacion/peru/ley26834.pdf>

f

Lino, k. (2009). *Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuenca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú.* Tesis para optar el título de ingeniero forestal. Universidad Nacional de Ucayali.

Lister, B. C., & García, A. (2018). Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *PNAS*, 115(44), E10397–E10406.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1722477115>

López S. (2015). *Regeneración natural arbórea en el bosque de neblina "Chonta", Montero - Ayabaca - Piura*". Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura.

Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Vázquez, G., Castillo-Campos, G., García-Franco, J., Mehltreter, K., Equihua, M., & Landgrave, R. (2009). Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1856–1863.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.023>

Merger, E. (2008). *Forestry Carbon Standards 2008: a comparison of the leading standards in the voluntary carbon market, Climate, Community and Biodiversity Standard (CCBS), CarbonFix Standard (CFS), Plan Vivo Systems and Standard, Voluntary Carbon Standard AFOLU (VCS) and the state of climate forestation projects.*

MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). (2015). *Elementos Estratégicos de la implementación de REDD+ en el Perú.*

MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). (2018). *Listado de especies de Fauna Silvestre CITES-Perú.* Dirección General de Diversidad Biológica.

- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). (2019). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2014 – INGEI 2014*. <https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/09/INGEI-2014-PERU-MOD-ENER2020.pdf>
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). (2016). *El Perú y el Cambio Climático. Tercera comunicación nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/tercera-comunicacion-nacional-peru-convencion-marco-las-naciones>
- ONU (Naciones Unidas, EEUU). (2016). *Acuerdo de París [De la Convención Marco sobre el Cambio Climático]*. <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/acuerdo-paris-la-convencion-marco-cambio-climatico>
- Orellana, G., Sandoval, M. L., Linares, G., García, N. E. & Tamariz, J. V. (2012). *Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios*. Avances en ciencias e ingeniería 3(1): 123 – 135. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Orellana-et-al-2012.pdf>
- Organización Meteorológica Mundial. (2022). 2021: *Uno de los siete años más cálidos jamás registrados, según datos consolidados por la Organización Meteorológica Mundial (2021)*. <https://news.globallandscapesforum.org/es/55859/que-significan-los-resultados-de-la-cop26-en-la-practica-analisis-de-un-experto/>
- Owiunji, I., & Plumpre, A. J. (2011). *The importance of cloud forest sites in the conservation of endemic and threatened species of the Albertine Rift*. En L. A. Bruijnzeel, F. N. Scatena, & L. S. Hamilton (Eds.), *Tropical montane cloud forests: Science for conservation and management* (pp. 164–171). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511778384.018>
- Peris B. (2013). *El suelo como sumidero de CO2: mapa de retención de CO2 de las tierras de labor de los distintos países de la unión europea*. *Revista digital - Ojeando la Agenda*

- Ambiental*. <https://ojeandolaagenda.com/2013/07/08/el-suelo-como-sumidero-de-co2-mapa-de-retencion-de-co2-de-las-tierras-de-labor-de-los-distintos-paises-de-la-union-europea/>
- Plan director de las Áreas Naturales Protegidas (Estrategia Nacional). (2009). <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-director-las-areas-naturales-protegidas-estrategia-nacional>
- Pulgar, M. (2019). *Rol, El Acuerdo de París: El largo proceso hacia el éxito. retos y oportunidades para el Perú*. Ministerio del Ambiente. Lima Perú. 1a. edición. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/COP21-Final.pdf> marzo 2016
- Ramírez, R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*.
- Ramírez. S. (2016). *Contenido de Carbono en Suelo y Biomasa Arbórea en el Bosque de Neblina de Samanga, Ayabaca – Piura*. Tesis para optar el título profesional de biólogo. Universidad Nacional de Piura, Perú.
- Ray, D. K. (2013). *Tropical montane cloud forests*. En *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources (Vol. 5, pp. 79–85)*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384703-4.00519-0>
- Resolución Presidencial N° 031- 2017- SERNAP. *Plan Maestro 2017-2021 del Parque Nacional de Cutervo*.
- Ríos J., Laguado W., Tobón M. y Sánchez P. (2012). *Análisis de aplicabilidad de metodologías del verified carbon standard (vcs) para la cuantificación del stock de carbono en el Parque Nacional Manu (PNM) y su zona de amortiguamiento (ZA)*.
- Romero, F. (2015). *Determinación de la captura del carbono en dos sistemas de pastos mejorados en el distrito de San Silvestre de Cochán Provincia de San Miguel - Cajamarca*. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias.

- Rügnitz T., Chacón M., Porr R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. 1. ed. Lima, Perú: Centro Mundial Agroflorestral (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009. 79 p.  
[https://www.researchgate.net/publication/259176045\\_Guia\\_para\\_la\\_determinacion\\_de\\_carbono\\_en\\_pequenas\\_propiedades\\_rurales](https://www.researchgate.net/publication/259176045_Guia_para_la_determinacion_de_carbono_en_pequenas_propiedades_rurales)
- Sánchez, J. (2019). *Bosques de niebla: qué son y características*. Ecología Verde.  
[//www.ecologiaverde.com/bosques-de-niebla-que-son-y-caracteristicas-1859.html](http://www.ecologiaverde.com/bosques-de-niebla-que-son-y-caracteristicas-1859.html)
- Sandoval, A. (2004). *La captura de carbono en bosques: ¿Una herramienta para la gestión ambiental?* Gaceta Ecológica, núm. 70. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907001>
- Schlegel, B. (2001). *Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*.
- Secretaría AMS & GTIS. (2016). *GSP Guidelines for sharing national data/information to compile a Global soil Organic Carbon map (GSOC17)*. Roma: AMS y GTIS.
- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, Perú). (S.f.). *¿Qué es un ANP?* <https://www.sernanp.gob.pe/ques-es-un-anp>
- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, Perú). (2009). Plan Maestro del Parque Nacional de Cutervo. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-maestro-2010-2014-parque-nacional-cutervo>
- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, Perú). (2013). <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/155/BIV01138.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado). s.f.  
<https://www.sernanp.gob.pe/de-cutervo>

- Sosa, J. (2016). *Valoración económica del secuestro de co2 en tres tipos de bosque en el distrito del Alto Nanay, Loreto-Perú-2014*. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP).
- Soto J. (2020). *Deforestación, ¿Qué es, ¿quién la causa y por qué debería importarnos?* Greenpeace. <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/4074/deforestacion-que-es-quien-la-causa-y-por-que-deberia-importarnos/>
- Torres, F. (2013). *Etnobotánica y sustancias bioactivas de las principales especies no maderables con potencial económico de los bosques de neblina del norte del Perú. Economía y Sociedad* 82, CIES. <http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/07-cipca.pdf>.
- UNFCCC (Convención Marco sobre el Cambio Climático). (2007). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 13º período de sesiones, celebrado en Bali del 3 al 15 de diciembre de 2007*.
- UNFCCC (Convención Marco sobre el Cambio). (2009). *Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 15º período de sesiones, celebrado en Copenhague del 7 al 19 de diciembre de 2009*.
- Vengoechea, A. (2012). *Las cumbres de las naciones unidas sobre cambio climático. Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert – FES*. [https://www.flacsoandes.edu.ec/sites/default/files/agora/files//1340319925.documento\\_fes\\_09155.pdf](https://www.flacsoandes.edu.ec/sites/default/files/agora/files//1340319925.documento_fes_09155.pdf)
- Ward, S. E., Bardgett, R. D., McNamara, N. P., Adamson, J. K. & Ostle, N. J. (2007). *Longterm consequences of grazing and burning on northern peatland carbon dynamics*. *Ecosystems*, 10(7): 1069-1083.

## CAPÍTULO VII

### ANEXO

#### Anexo 1. Matriz de validación por expertos

ANEXO I: MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
<b>Título de la investigación:</b>	"Captura de carbono de un bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo - Cajamarca, como mitigación frente al cambio climático"			
<b>Área</b>	Manejo forestal			
<b>Línea de investigación:</b>	Fijación y almacenamiento de CO <sub>2</sub> en bosques			
<b>Apellidos y nombres del experto:</b>	Ing. M.Sc. Vitoly Becerra Montalvo			
<b>El instrumento de medición pertenece a la variable:</b>	Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?			no aplica
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		
<b>Sugerencias:</b>				
<i>Cooperar bien con instrumentos oficiales de SERFOR, MIDA y M.</i>				
<b>Firma del experto:</b>				
				
<b>Fuente:</b> Elaboración propia				

**FORMATO N° 1**

**REGISTRO DE DATOS DE INVENTARIO DE BIMASA EN EL BOSQUE DE NEBLINA DEL PARQUE NACIONAL DE CUTERVO**

**1. ANTECEDENTES GENERALES**

Nombre del área de conservación		N° de parcela	01
Responsable del inventario			
Tamaño de la parcela			

**2. TIEMPOS TRABAJO DE INVENTARIO**

Fecha	Hora de inicio	Hora final	T. muerto aprox (minutos)	Tiempo total

**3. DATOS GENERALES**

Ecosistema	Grado de Intervención	Pendiente (%)

**3.1. COORDENADAS**

Vértices	Este	Norte	Altitud (msnm)

**4. DEPÓSITOS DE CARBONO EVALUADOS**

**4.1. PESAJE DE BIOMASA DE TALLOS LEÑOSOS ≤ 5 cm**

N° de subparcela 20 m <sup>2</sup>	N° de subparcela 1 m <sup>2</sup>	Peso húmedo (g/m <sup>2</sup> )	Peso seco (g/m <sup>2</sup> )
Sub. 1			
Sub. 5			
Sub. 13			
Sub. 21			
Sub. 25			









#### 4.4. PESAJE DE HOJARASCA (g)

N° de subparcela 20 m <sup>2</sup>	N° de subparcela 1 m <sup>2</sup>	Peso húmedo (g/m <sup>2</sup> )	Peso seco (g/m <sup>2</sup> )
Sub. 1			
Sub. 5			
Sub. 13			
Sub. 21			
Sub. 25			



**4.5. PESAJE DE MUESTRAS DE SUELO PARA CALCULAR LA DENSIDAD**

Nº de subparcela 20 m <sup>2</sup>	Código de muestra	Wc (g)	wmh +wc (g)	Wmh (g)	wms +wc (g)	Wms (g)	Hc (cm)	Di (cm)	V (cm <sup>3</sup> )
Sub. 1									
Sub. 5									
Sub. 13									
Sub. 21									
Sub. 25									

Wc = Peso cilindro(g)

wmh + wc = Peso de la muestra humedad + peso del cilindro (g)

Wmh = Peso de muestra humedad (g)

wms + wc = Peso de la muestra seca + peso del cilindro (g)

Wms = Peso de muestra seca (g)

Hc = Altura cilindro

Di (cm) = diámetro interno cilindro

V (cm<sup>3</sup>) = Volumen del cilindro

Fuente: Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales propuesto por Schlegel et al., (2001).



## Anexo 2: Matriz de consistencia

"CAPTURA DE CARBONO DE UN BOSQUE DE NEBLINA DEL PARQUE NACIONAL DE CUTERVO – CAJAMARCA, COMO MITIGACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO"						
Titulo	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<b>General</b> ¿Cuánto es la captura de carbono orgánico de un Bosque de Neblina del parque nacional de Cutervo - Cajamarca, como medida de mitigación frente al cambio climático?	<b>General</b> Determinar la cantidad de captura de carbono orgánico en una hectárea de Bosque de Neblina del parque nacional de Cutervo - Cajamarca, como medida de mitigación frente al cambio climático.	<b>General</b> La captura de carbono orgánico de un Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo – Cajamarca, es una medida efectiva de mitigación frente al cambio climático.	<b>Variable Independiente:</b> Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo – Cajamarca	Biomasa tallos leñosos < 5 cm de DAP.  Biomasa árboles ≥ 5 cm y < 10 cm de DAP.  Biomasa árboles ≥ 10 cm de DAP.  Hojarasca  Suelo	t h <sup>-1</sup>  t h <sup>-1</sup>  t h <sup>-1</sup>  t h <sup>-1</sup>  t h <sup>-1</sup>	<b>Tipo de investigación:</b> Descriptiva  <b>Diseño de investigación:</b> No experimental  <b>Población:</b> 2240.02 ha de bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo.  <b>Muestra:</b> Una hectárea del bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo – Cajamarca  <b>Unidad de análisis:</b> Biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP, árboles ≥ 5 cm de DAP, hojarasca y suelo.  <b>Fuentes:</b> Fuentes primarias  Fuentes secundarias  <b>Técnicas:</b> La observación directa.  <b>Instrumentos:</b> Ficha de registro de datos, hipsómetro, forcípula de madera y cilindro metálico.  <b>Técnicas de procesamiento y análisis de datos:</b> Los datos obtenidos en la investigación fueron procesados a través de cálculos estadísticos para luego ser analizados, donde se hizo uso de softwares como Microsoft Excel versión 2019, para la obtención de resultados y gráficas.
	<b>Específico</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar la captura de carbono acumulado en biomasa de tallos leñosos &lt; 5cm de DAP.</li> <li>- Determinar la captura de carbono acumulado en la biomasa de árboles ≥ 5 cm y &lt; 10 cm de DAP.</li> <li>- Determinar la captura de carbono acumulado en la biomasa de árboles ≥ 10 cm de DAP.</li> <li>- Determinar la captura de carbono acumulado en la hojarasca.</li> <li>- Determinar la captura de carbono acumulado en el suelo.</li> <li>- Analizar los resultados de captura de carbono de un Bosque de Neblina del parque nacional de Cutervo, como medida de mitigación frente al cambio climático.</li> </ul>		<b>Variable dependiente:</b> Captura de carbono	Captura de carbono en biomasa tallos leñosos < 5 cm de DAP.  Captura de carbono en biomasa árboles ≥ 5 cm y < 10 cm de DAP.  Captura de carbono en biomasa de árboles ≥ 10 cm de DAP.  Captura de carbono en hojarasca  Captura de carbono en suelo.  Secuestro de CO <sub>2</sub> fijado en el ≥ 5 cm y < 10 cm de DAP.  Secuestro de CO <sub>2</sub> fijado en biomasa de árboles ≥ 10 cm de DAP.	tC h <sup>-1</sup>  tC h <sup>-1</sup>  tC h <sup>-1</sup>  tC h <sup>-1</sup>  tC h <sup>-1</sup>  tCO <sub>2</sub> h <sup>-1</sup>  tCO <sub>2</sub> h <sup>-1</sup>	

### Anexo 3. Certificado de identificación dendrológica

**LEIWER FLORES FLORES**  
**ESPECIALISTA EN DENDROLOGÍA**  
 C.I.P. N° 56894  
 Cel. 918217105  
 Email: lflores@unc.edu.pe

LEIWER FLORES FLORES, CON REGISTRO C.I.P. N° 56894 - ESPECIALISTA EN DENDROLOGÍA.

#### CERTIFICA:

La identificación de muestras de plantas provenientes del Parque Nacional de Cutervo, distrito de Pimpingos, provincia de Cutervo, con fines de investigación para informe de tesis, solicitada por la Srta. **Sandra Maribel Avellaneda Alarcón**. Identificada y ordenada para grupos taxonómicos de Pteridophyta, Gimnospermae y Angiospermae (Dicotiledoneae), a nivel de la categoría sistemática especie y familia botánica, que se presentan en la tabla siguiente:

#### DIVISIÓN PTERIDOPHYTA

N°	Especie	Familia	Nombre común
1	<i>Cyathea delgadoi</i> Pohl ex Sternb.	Cyatheaceae	Chontilla
2	<i>Dicksonia sellowiana</i> Hooker	Dicksoniaceae	Chontilla

#### DIVISIÓN GYMNOSPERMAE

N°	Especie	Familia	Nombre común
1	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	Podocarpaceae	Saucecillo

#### DIVISIÓN ANGIOSPERMAE – CLASE DICOTILEDONEAE

N°	Especie	Familia	Nombre común
1	<i>Solanum sycophanta</i> Dunal	Solanaceae	Zapotillo, capotillo
2	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Asteraceae	Chilca
3	<i>Hieronyma asperifolia</i> Pax K. Hoffm.	Euphorbiaceae	Chupica
4	<i>Miconia punctata</i> (Desr.) D. Don ex DC.	Melastomataceae	Juanjil
5	<i>Miconia lepidota</i> DC.	Melastomataceae	Juanjil
6	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Euphorbiaceae	Lalush
7	<i>Eugenia riparia</i> DC.	Myrtaceae	Lanchesillo
8	<i>Cecropia polystachya</i> Trécul	Cecropiaceae	Magmog
9	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	Euphorbiaceae	Ojapaca
10	<i>Nectandra reflexa</i> Rohwer	Lauraceae	Roble
11	<i>Hedyosmum sprucei</i> Solms	Chloranthaceae	Silvana, salvador
12	<i>Alchornea pearcei</i> Britton ex Rusby	Euphorbiaceae	Sonsoquero
13	<i>Cybianthus peruvianus</i> (A. DC.) Miq.	Myrsinaceae	nn
14	<i>Toxicodendron striatum</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	Anacardiaceae	Valdico
15	<i>Warszewiczia coccinea</i> (Vahl) Klotzsch	Rubiaceae	Wasiquero
16	<i>Weinmannia chryseis</i> Diels	Cunoniaceae	Zallyu, sayo

Jaén, 11 de julio del 2022.

  
 Ing. M. Cs. Leiver Flores Flores  
 Especialista en Dendrología  
 C.I.P. N° 56894

## Anexo 4. Ensayo de materia orgánica en suelo forestal



**ENSAYO DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELO FORESTAL- 1727-2020**

Solicitante : Bach. Sandra Maribel Avellaneda Alarcón  
Distrito : Santo Tomás  
Provincia : Cutervo  
Región : Cajamarca  
Fecha de recepción : 05-12-2020  
Muestra proporcionada por la solicitante

Proyecto:  
"Captura de carbono de un bosque de neblina del Parque Nacional de Cutervo Cajamarca, como mitigación frente al cambio climático"

I. Datos de la Muestra

Tipo de muestra : Suelo de cobertura vegetal  
Profundidad : 30 cm  
Tamaño de partícula : 2.0 mm

II. Resultados

Método	% Carbono	%Materia Orgánica
Walkley Black	2.15	3.80

  
Jorge A. Delgado Soto  
ING. RESPONSABLE  
CIP. 56757



Paje, San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén  
Cel. 970 911 920  
jads14@hotmail.com

## Anexo 5. Georreferenciación de la parcela de 100 m<sup>2</sup> y subparcelas de muestreo

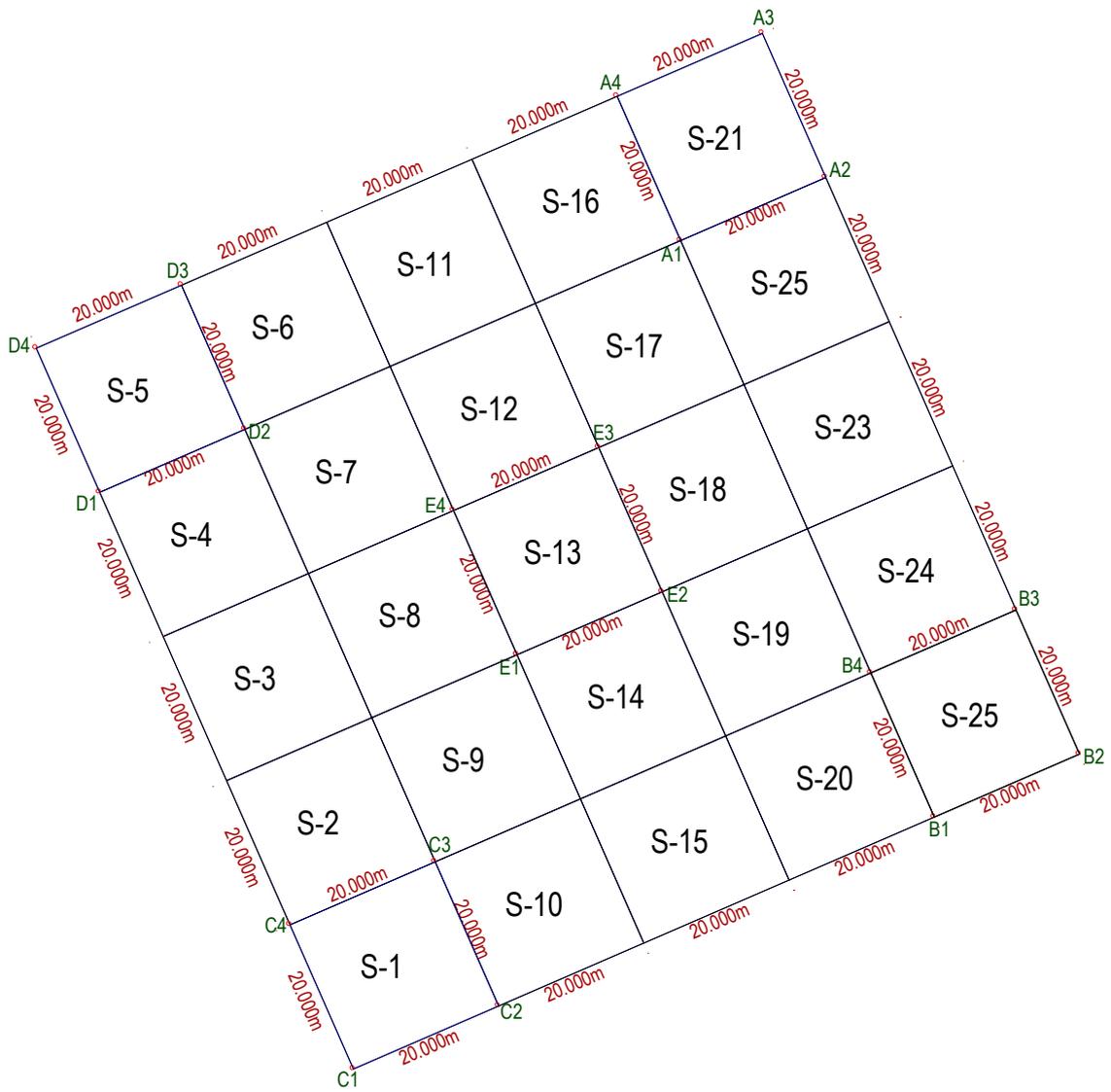
CUADRO DE DATOS TÉCNICOS						
VERTICES	LADOS	DISTANCIAS	ANGULOS INTERNOS	ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)
A1	A1-A2	20	90° 0' 0.0"	749,933	9,319,760	2,520
A2	A2-A3	20	90° 0' 0.0"	749,952	9,319,768	2,522
A3	A3-A4	20	90° 0' 0.0"	749,944	9,319,787	2,525
A4	A4-A1	20	90° 0' 0.0"	749,925	9,319,778	2,525

CUADRO DE DATOS TÉCNICOS						
VERTICES	LADOS	DISTANCIAS	ANGULOS INTERNOS	ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)
B1	B1-B2	20	90° 0' 0.0"	749,965	9,319,687	2,516
B2	B2-B3	20	90° 0' 0.0"	749,984	9,319,695	2,518
B3	B3-B4	20	90° 0' 0.0"	749,976	9,319,713	2,523
B4	B4-B1	20	90° 0' 0.0"	749,957	9,319,705	2,518

CUADRO DE DATOS TÉCNICOS						
VERTICES	LADOS	DISTANCIAS	ANGULOS INTERNOS	ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)
C1	C1-C2	20	90° 0' 0.0"	749,892	9,319,655	2,492.00
C2	C2-C3	20	90° 0' 0.0"	749,910	9,319,663	2,499.00
C3	C3-C4	20	90° 0' 0.0"	749,902	9,319,681	2,502.00
C4	C4-C1	20	90° 0' 0.0"	749,884	9,319,673	2,494.00

CUADRO DE DATOS TÉCNICOS						
VERTICES	LADOS	DISTANCIAS	ANGULOS INTERNOS	ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)
D1	D1-D2	20	90° 0' 0.0"	749,860	9,319,728	2,482
D2	D2-D3	20	90° 0' 0.0"	749,878	9,319,736	2,500
D3	D3-D4	20	90° 0' 0.0"	749,870	9,319,754	2,495
D4	D4-D1	20	90° 0' 0.0"	749,852	9,319,746	2,485

CUADRO DE DATOS TÉCNICOS						
VERTICES	LADOS	DISTANCIAS	ANGULOS INTERNOS	ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)
E1	E1-E2	20	90° 0' 0.0"	749,913	9,319,708	2,512
E2	E2-E3	20	90° 0' 0.0"	749,931	9,319,716	2,514
E3	E3-E4	20	90° 0' 0.0"	749,923	9,319,734	2,507
E4	E4-E1	20	90° 0' 0.0"	749,905	9,319,726	2,505



## Anexo 6. Composición florística de la parcela evaluada

N°	Especie	Familia	Nombre común	N° de individuos h <sup>-1</sup>	Biomasa total existente (t ha <sup>-1</sup> )	%
1	<i>Cyathea delgadoi</i> Pohl ex Sternb.	Cyatheaceae	Chontilla I	304	47.09	4.04
2	<i>Alchornea pearcei</i> Britton ex Rusby	Euphorbiaceae	Sonsoquero	66	528.53	45.37
3	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Asteraceae	Chilca	15	0.47	0.04
4	<i>Cecropia polystachya</i> Trécul	Cecropiaceae	Magmog	10	0.38	0.03
5	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Euphorbiaceae	Lalush	40	96.87	8.32
6	<i>Cybianthus peruvianus</i> (A. DC.) Miq.	Myrsinaceae	nn	11	2.80	0.24
7	<i>Dicksonia sellowiana</i> Hooker	Dicksoniaceae	Chontilla II	251	69.02	5.92
8	<i>Eugenia riparia</i> DC.	Myrtaceae	Lanchesillo	149	16.29	1.40
9	<i>Hedyosmum sprucei</i> Solms	Chloranthaceae	Silvana, silvador	20	1.18	0.10
10	<i>Hieronyma asperifolia</i> Pax K. Hoffm.	Euphorbiaceae	Chupica	5	8.78	0.75
11	<i>Miconia lepidota</i> DC.	Melastomataceae	Juanjil I	247	87.58	7.52
12	<i>Miconia punctata</i> (Desr.) D. Don ex DC.	Melastomataceae	Juanjil II	78	21.16	1.82
13	<i>Nectandra reflexa</i> Rohwer	Lauraceae	Roble	85	172.62	14.82
14	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don	Podocarpaceae	Saucesillo	15	0.63	0.05
15	<i>Solanum sycophanta</i> Dunal	Solanaceae	Zapotillo, capotillo	10	2.33	0.20
16	<i>Toxicodendron striatum</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	Anacardiaceae	Valdico	5	0.31	0.03
17	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	Euphorbiaceae	Ojapaca	55	17.98	1.54
18	<i>Warszewiczia coccinea</i> (Vahl) Klotzsch	Rubiaceae	Wasiquero	5	0.72	0.06
19	<i>Weinmannia chryseis</i> Diels	Cunoniaceae	Zallyu, sayo	44	90.24	7.75
Totales				<b>1415</b>	<b>1164.97</b>	<b>100.00</b>

Biomasa total existente (incluye copa y raíz)

**Anexo 7. Registro de datos de biomasa de tallos leñosos < 5 cm de DAP**

Subparcela	Código	PhBt (kg)	C.H. %	Biomasa seca kg/m <sup>2</sup>	tC ha <sup>-1</sup>
Sub. 1	Sub. 1 - CII	8.95	59.26	5.62	28.10
	Sub. 1 - CIII	1.20	55.44	0.77	3.86
	Sub. 1 - CIV	0.70	66.03	0.42	2.11
Sub. 5	Sub. 5 - CII	1.20	55.40	0.77	3.86
	Sub. 5 - CIII	0.80	58.94	0.50	2.52
	Sub. 5 - CIV	1.10	62.03	0.68	3.39
Sub. 13	Sub. 13 - CII	1.10	62.68	0.68	3.38
	Sub. 13 - CIII	1.20	64.21	0.73	3.65
	Sub. 13 - CIV	0.90	63.44	0.55	2.75
Sub. 21	Sub. 21 - CII	0.70	59.26	0.44	2.20
	Sub. 21 - CIII	7.95	59.72	4.98	24.89
	Sub. 21 - CIV	2.20	78.92	1.23	6.15
Sub. 25	Sub. 25 - CII	1.20	75.12	0.69	3.43
	Sub. 25 - CIII	1.10	66.18	0.66	3.31
	Sub. 25 - CIV	0.80	72.41	0.46	2.32
Promedio		2.07	63.94	1.28	6.39

PhBt = Peso húmedo de la Biomasa total (kg)

C.H. = Contenido de Humedad (%)

**Anexo 8 Registro de datos procesados por parcela en la biomasa de árboles  $\geq 5$  cm y < 10 cm de DAP**

Sub parcela	Nº de individuos	Vol m <sup>3</sup>	Biomasa sobre el suelo (t ha <sup>-1</sup> )	Biomasa bajo el suelo (t ha <sup>-1</sup> )	Biomasa total existente (t ha <sup>-1</sup> )	Línea Base maderable (t ha <sup>-1</sup> )		
						Biomasa sobre el suelo	Biomasa bajo el suelo	Biomasa total Línea Base
1	21	0.31	0.56	0.28	0.83	0.18	0.03	0.21
2	28	0.27	0.48	0.24	0.72	0.16	0.02	0.18
3	18	0.27	0.48	0.24	0.73	0.16	0.02	0.18
4	13	0.19	0.34	0.17	0.52	0.11	0.02	0.13
5	28	0.28	0.50	0.25	0.75	0.16	0.02	0.19
6	24	0.34	0.62	0.31	0.93	0.20	0.03	0.23
7	25	0.23	0.42	0.21	0.63	0.14	0.02	0.16
8	20	0.20	0.35	0.18	0.53	0.11	0.02	0.13
9	18	0.20	0.36	0.18	0.54	0.12	0.02	0.14
10	25	0.23	0.42	0.21	0.63	0.14	0.02	0.16
11	19	0.38	0.69	0.34	1.03	0.22	0.03	0.26
12	16	0.30	0.54	0.27	0.81	0.17	0.03	0.20
13	24	0.35	0.63	0.31	0.94	0.20	0.03	0.23
14	23	0.20	0.36	0.18	0.55	0.12	0.02	0.14
15	20	0.22	0.40	0.20	0.60	0.13	0.02	0.15
16	28	0.24	0.43	0.22	0.65	0.14	0.02	0.16
17	21	0.24	0.43	0.22	0.65	0.14	0.02	0.16
18	28	0.30	0.55	0.27	0.82	0.18	0.03	0.20
19	22	0.34	0.60	0.30	0.91	0.20	0.03	0.23
20	23	0.20	0.37	0.18	0.55	0.12	0.02	0.14
21	16	0.17	0.31	0.15	0.46	0.10	0.02	0.12
22	20	0.31	0.56	0.28	0.84	0.18	0.03	0.21
23	21	0.21	0.37	0.19	0.56	0.12	0.02	0.14
24	24	0.34	0.61	0.30	0.91	0.20	0.03	0.23
25	20	0.25	0.46	0.23	0.69	0.15	0.02	0.17
<b>Total</b>	<b>545</b>	<b>6.57</b>	<b>11.83</b>	<b>5.92</b>	<b>17.75</b>	<b>3.84</b>	<b>0.59</b>	<b>4.44</b>

## Anexo 9. Registro de datos procesados por parcela en la biomasa de árboles $\geq 10$ cm de

### DAP

Sub parcela	Nº de individuos	Vol m <sup>3</sup>	Biomasa total sobre el suelo (t ha <sup>-1</sup> )	Biomasa total bajo el suelo (t ha <sup>-1</sup> )	Biomasa total existente (t ha <sup>-1</sup> )	Línea Base maderable (t h <sup>a-1</sup> )		
						Biomasa sobre el suelo	Biomasa bajo el suelo	Biomasa total Línea Base
1	46	10.61	19.11	9.55	28.66	6.21	0.96	7.16
2	27	21.67	39.01	19.51	58.52	12.68	1.95	14.63
3	27	24.37	43.86	21.93	65.80	14.26	2.19	16.45
4	47	21.31	38.36	19.18	57.55	12.47	1.92	14.39
5	27	21.59	38.87	19.43	58.30	12.63	1.94	14.58
6	36	7.48	13.47	6.74	20.21	4.38	0.67	5.05
7	37	22.36	40.25	20.13	60.38	13.08	2.01	15.09
8	37	21.94	39.50	19.75	59.24	12.84	1.97	14.81
9	46	21.49	38.68	19.34	58.02	12.57	1.93	14.51
10	36	18.87	33.97	16.99	50.96	11.04	1.70	12.74
11	36	13.13	23.63	11.82	35.45	7.68	1.18	8.86
12	47	14.91	26.84	13.42	40.26	8.72	1.34	10.07
13	37	20.47	36.84	18.42	55.27	11.97	1.84	13.82
14	28	33.17	59.70	29.85	89.55	19.40	2.98	22.39
15	38	15.65	28.17	14.08	42.25	9.15	1.41	10.56
16	27	22.97	41.34	20.67	62.02	13.44	2.07	15.50
17	36	21.66	38.98	19.49	58.47	12.67	1.95	14.62
18	27	20.28	36.51	18.25	54.76	11.87	1.83	13.69
19	26	12.83	23.09	11.55	34.64	7.51	1.15	8.66
20	27	19.85	35.74	17.87	53.61	11.61	1.79	13.40
21	37	29.58	53.25	26.62	79.87	17.30	2.66	19.97
22	37	12.35	22.23	11.11	33.34	7.22	1.11	8.34
23	36	19.40	34.92	17.46	52.38	11.35	1.75	13.10
24	27	26.15	47.06	23.53	70.60	15.30	2.35	17.65
25	38	23.55	42.39	21.20	63.59	13.78	2.12	15.90
<b>Total</b>	<b>870</b>	<b>497.66</b>	<b>895.78</b>	<b>447.89</b>	<b>1343.68</b>	<b>291.13</b>	<b>44.79</b>	<b>335.92</b>

### Anexo 10. Registro de datos de hojarasca

Subparcela	Código	Ph (kg)	C.H. %	PhBt (kg/m <sup>2</sup> )	tC ha <sup>-1</sup>
Sub. 1	Sub. 1 - CI	2.8	55.44	1.80	9.01
	Sub. 1 - CII	2.51	63.57	1.53	7.67
	Sub. 1 - CIII	2.5	58.94	1.57	7.86
	Sub. 1 - CIV	2	48.80	1.34	6.72
Sub. 5	Sub. 5 - CI	2	58.09	1.27	6.33
	Sub. 5 - CII	2.8	58.90	1.76	8.81
	Sub. 5 - CIII	2.75	24.32	2.21	11.06
	Sub. 5 - CIV	2.5	62.08	1.54	7.71
Sub. 13	Sub. 13 - CI	2.5	58.66	1.58	7.88
	Sub. 13 - CII	2.75	59.21	1.73	8.64
	Sub. 13 - CIII	2	64.84	1.21	6.07
	Sub. 13 - CIV	2.8	62.89	1.72	8.59
Sub. 21	Sub. 21 - CI	2.75	54.74	1.78	8.89
	Sub. 21 - CII	2.5	58.09	1.58	7.91
	Sub. 21 - CIII	2.8	55.44	1.80	9.01
	Sub. 21 - CIV	2	65.19	1.21	6.05
Sub. 25	Sub. 25 - CI	2.8	62.83	1.72	8.60
	Sub. 25 - CII	2.51	63.68	1.53	7.67
	Sub. 25 - CIII	2	66.07	1.20	6.02
	Sub. 25 - CIV	2.75	64.72	1.67	8.35
Promedio		2.501	58.33	1.59	7.94

PhBt = Peso húmedo de la Biomasa total (Kg)

C.H. = Contenido de Humedad (%)

### Anexo 11. Registro de datos de suelo

Subparcela	Código	Wms (g)	V (cm <sup>3</sup> )	ρ (g/cm <sup>3</sup> )
Sub. 1	Sub. 1 - M1	105.60	113.41	0.93
	Sub. 1 - M2	92.47	113.41	0.82
	Sub. 1 - M3	110.56	113.41	0.97
	Sub. 1 - M4	107.27	113.41	0.95
Sub. 5	Sub. 5 - M1	94.80	113.41	0.84
	Sub. 5 - M2	100.23	113.41	0.88
	Sub. 5 - M3	105.94	113.41	0.93
	Sub. 5 - M4	96.53	113.41	0.85
Sub. 13	Sub. 13 - M1	81.18	113.41	0.72
	Sub. 13 - M2	90.93	113.41	0.80
	Sub. 13 - M3	90.60	113.41	0.80
	Sub. 13 - M4	93.03	113.41	0.82
Sub. 21	Sub. 21 - M1	85.47	113.41	0.75
	Sub. 21 - M2	88.60	113.41	0.78
	Sub. 21 - M3	87.33	113.41	0.77
	Sub. 21 - M4	95.38	113.41	0.84
Sub. 25	Sub. 25 - M1	82.08	113.41	0.72
	Sub. 25 - M2	89.91	113.41	0.79
	Sub. 25 - M3	81.64	113.41	0.72
	Sub. 25 - M4	87.38	113.41	0.77
Promedio				0.82

Wms (g) = Peso de muestra seca

ρ (g/cm<sup>3</sup>) = Densidad aparente

V (cm<sup>3</sup>) = Volumen del cilindro

## Anexo 12. Panel fotográfico



Foto 1: Delimitación del área de estudio



Foto 2. Muestreo de tallos leñosos  $\leq 5$  cm de DAP en la subparcela de 1 m<sup>2</sup>



Foto 3: Pesaje de todos los individuos menores de 5 cm DAP



Foto 4: Muestreo de hojarasca en la subparcela de 1 m<sup>2</sup>



Foto 5: Pesaje de hojarasca



Foto 6: Muestreo de suelo



Foto 7: Medición de la profundidad del hoyo



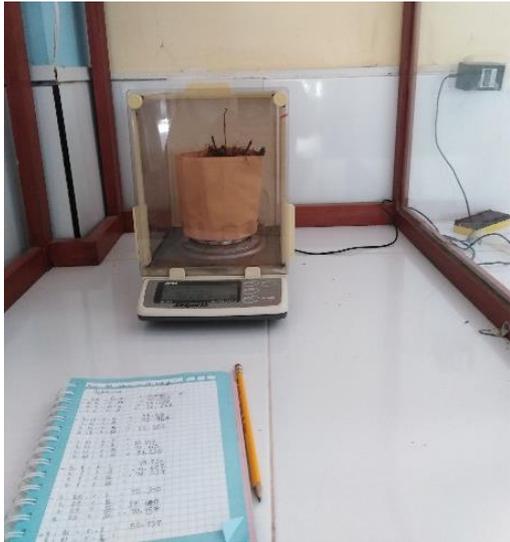
Foto 8: Obtención de muestras de suelo a 30 cm de profundidad



Foto 9: Secado de alícuotas de biomasa de tallos leñosos de < 5 cm de DAP, y la hojarasca en la estufa a 80°C, por un periodo de 24 horas



Foto 10 y 11: Pesaje de alícuotas de biomasa de tallos leñosos de < 5 cm de DAP en la balanza analítica



Fotos 12 y 13: Pesaje de alícuotas de la hojarasca en la balanza analítica



Foto 14: Secado de las muestras de suelo en la estufa a 103 °C



Foto 15: Pesaje de las muestras de suelo en la balanza analítica



Foto 16: Pesaje de muestra de suelo para el análisis químico



Foto 17: Muestra de suelo sometida a reacción química, donde se muestra la lixiviación del suelo empleado mezcla sulfocrómica



Foto 18: Valoración con sulfato ferroso



Foto 19: Punto final de valoración de la muestra y el blanco



Foto 20 y 21: Inventario de árboles  $\geq 5$  cm de DAP, medición del DAP de los árboles inventariados



Foto 22: Recolectando muestras botánicas de las especies inventariadas



Foto 23: Medición de altura de los árboles con el hipsómetro

## Anexo 13: Resolución del jefe del Parque Nacional de Cutervo



### RESOLUCIÓN DEL JEFE DEL PARQUE NACIONAL DE CUTERVO

N° 04-2020-SERNANP-PNC-JEF

Cutervo, 13 de noviembre del 2020.

#### VISTO:

El Informe Técnico N° 076- 2020-SERNANP-PNC/E/EYMM, de fecha 12 de noviembre del 2020, a través del cual se evalúa la solicitud presentada por el investigador, Sandra Maribel Avellaneda Alarcón, con D.N.I 73486071, para realizar investigación científica en el Parque Nacional de Cutervo, con el título: "Captura de Carbono de un Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo – Cajamarca, como Mitigación Frente al cambio Climático"

#### CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013, se aprobó la creación del Servicio Nacional de Áreas Protegidas por el Estado – SERNANP, como un organismo público, técnico, especializado del Ministerio del Ambiente, constituyéndose en el ente rector del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SINANPE, y en su autoridad técnico - normativa;

Que, en este marco el literal h) del artículo 27° del Decreto establece como funciones de las Jefaturas de las Áreas Naturales Protegidas la de autorizar el ingreso para realizar investigación científica y antrópica;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2012-MINAM, se aprueba el Texto Único de Procedimientos Administrativos – TUPA del SERNANP; cuyo procedimiento administrativo N° 4, regula la autorización para realizar investigación científica en Áreas Naturales Protegidas del SINANPE;

Que, mediante Resolución Presidencial N° 287- 2015-SERNANP, de fecha 23 de diciembre del 2015, se aprueba las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas, en materia de investigación, la misma que establece las normas y lineamientos que regulan las investigaciones realizadas al interior de las Áreas Naturales Protegidas



Firmado digitalmente por:  
TAFUR ROJAS Mario Rafael  
FAU 20478053178 soft  
Mbtivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 15/11/2020 10:28:52-0500

Que, mediante Ley N° 13694 se crea el Parque Nacional Cutervo (PNC) y se amplía por Ley 28860; tiene una extensión de 8,214.23 hectáreas y se encuentra ubicado en el departamento de Cajamarca, en la provincia de Cutervo, circunscrito sobre los distritos de San Andrés de Cutervo, Santo Tomas, Pimpingos, Santa Cruz de Cutervo, Callayuc y Santo Domingo de La Capilla. El PNC, tiene la categoría de Uso Indirecto y sus objetivos de creación y conservación son:

- Conservar las grutas de San Andrés y su colonia de guácharos.
- Proteger la flora y fauna del lugar, en especial la colonia de los guácharos (*Steatomis caripensis*).
- Conservar la belleza escénica de la cordillera de los tarros.

Que, mediante Resolución Presidencial N°031-2017-SERNANP, se aprueba el Plan Maestro del Parque Nacional de Cutervo por el periodo de 05 años (2017 – 2021); en él, se especifica la Visión, Objetivos, y las líneas de acción para la gestión efectiva del Área Natural Protegida; en relación a las investigaciones, indica que estas deben realizarse con la finalidad de promover el conocimiento científico del Área Natural Protegida;

Que, mediante Resolución Presidencial N°298-2018-SERNANP, de fecha 06 de diciembre del 2018, se le designa al señor Mario Rafael Tafur Rojas, con DNI N° 16716171, como Jefe del Parque Nacional de Cutervo;

Que, vía correo electrónico, el día 06 de noviembre del 2020, mediante solicitud s/n, el investigador, Sandra Maribel Avellaneda Alarcón, solicita autorización para realizar investigación con el proyecto titulado “Captura de Carbono de un Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo – Cajamarca, como Mitigación Frente al cambio Climático”. La ejecución es al interior del Parque Nacional de Cutervo por el periodo de 03 meses (Noviembre 2020 – Enero 2021);

Que, evaluada la solicitud del investigador Sandra Maribel Avellaneda Alarcón, se ha verificado que cumple con los requisitos exigidos en la Resolución Presidencial N° 287-2015-SERNANP; además, se cumple con los procedimientos establecidos en el Decreto Supremo N° 002-2012-MINAM, por lo que resulta procedente el otorgamiento de la autorización correspondiente

Que, en uso de las atribuciones por lo precedido;

#### **SE RESUELVE:**

**ARTÍCULO 1°.-** Otorgar autorización al investigador Sandra Maribel Avellaneda Alarcón, para realizar investigación científica al interior del Parque Nacional de Cutervo, proyecto titulado: “Captura de Carbono de un Bosque de Neblina del Parque Nacional de Cutervo – Cajamarca, como Mitigación Frente al cambio Climático”

**ARTICULO 2°.-** Otorgar autorización al investigador Sandra Maribel Avellaneda Alarcón, para realizar investigación científica al interior del Parque Nacional de Cutervo



Firmado digitalmente por:  
TAFUR ROJAS Mario Rafael  
FAU 20478053178 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 15/11/2020 18:29:07-0500

por el periodo de 03 meses (Noviembre 2020 – Enero 2021); así mismo a sus colaboradores (tabla 01: Relación de colaboradores de la investigación)

**Tabla 01: Relación de colaboradores de la investigación**

<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>NÚMERO DE DNI</b>
Royser Gamonal Burga	71210510
Heyser Clinton Toro Guevara	71636430

**ARTICULO 3°.-** Mediante la presente resolución, el investigador Sandra Maribel Avellaneda Alarcón, adquiere los siguientes compromisos:

- Deberá informar con anticipación el ingreso al Parque Nacional de Cutervo; así mismo, el personal de la Jefatura podrá acompañar durante la toma de datos
- Deberá aplicar todas las medidas de seguridad y eliminación de impactos que se puedan producir por las actividades propias de la investigación
- Deberá entregar a la Jefatura del Parque Nacional de Cutervo, una copia físico y digital una vez publicado los resultados de la investigación (archivos base); así mismo autorizar su registro en la biblioteca digital del SERNANP

**ARTICULO 4°.-** Comunicar al interesado para las coordinaciones respectivas con la Jefatura del Parque Nacional de Cutervo

**ARTICULO 5°.-** Comunicar y solicitar a la Dirección General de Áreas Naturales Protegidas – DGANP, la publicación de la presente Resolución en la página web institucional: [www.sernanp.gob.pe](http://www.sernanp.gob.pe)

Regístrese y comuníquese.

**Msc.Ing. Mario Rafael Tafur Rojas**  
Jefe del Parque Nacional de Cutervo  
Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado  
SERNANP



Firmado digitalmente por:  
TAFUR ROJAS Mario Rafael  
FAU 20478053178 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 15/11/2020 18:29:19-0500