

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Ambiental*

**TRABAJO EXPERIMENTAL:**

**ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA,  
NECROMASA (HOJARASCA) Y EN EL SUELO EN UN BOSQUE DE PINO EN  
LA COMUNA PAQUIZHAPA (PROVINCIA DE LOJA)**

**AUTORES:**

FRANCISCO ALEJANDRO SARANGO GONZALEZ

WILSON SEBASTIÁN TENEMPAGUAY GUNCAY

**TUTOR:**

ING. FREDI PORTILLA FARFÁN, PhD.

CUENCA - ECUADOR

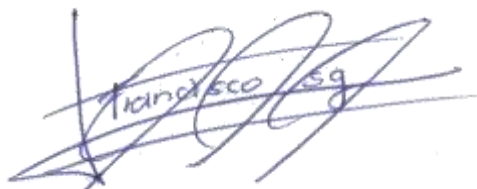
2020

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Francisco Alejandro Sarango Gonzalez con documento de identificación N° 1106115916 y Wilson Sebastián Tenempaguay Guncay con documento de identificación N° 0106995525, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales, en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA, NECROMASA (HOJARASCA) Y EN EL SUELO EN UN BOSQUE DE PINO EN LA COMUNA PAQUIZHAPA (PROVINCIA DE LOJA)**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Ambiental* en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril del 2020



Francisco Alejandro Sarango Gonzalez

C.I. 1106115916



Wilson Sebastián Tenempaguay Guncay

C.I. 0106995525

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA, NECROMASA (HOJARASCA) Y EN EL SUELO EN UN BOSQUE DE PINO EN LA COMUNA PAQUIZHAPA (PROVINCIA DE LOJA)**, realizado por Francisco Alejandro Sarango Gonzalez y Wilson Sebastián Tenempaguay Guncay, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril del 2020



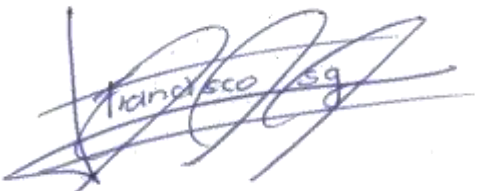
Ing. Fredi Portilla Farfán, PhD.

C.I. 0102824331

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Francisco Alejandro Sarango Gonzalez con documento de identificación N° 1106115916 y Wilson Sebastián Tenempaguay Guncay con documento de identificación N° 0106995525, autores del trabajo de titulación: **ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA, NECROMASA (HOJARASCA) Y EN EL SUELO EN UN BOSQUE DE PINO EN LA COMUNA PAQUIZHAPA (PROVINCIA DE LOJA)**, certificamos que el total del contenido del *Trabajo Experimental* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, abril del 2020



Francisco Alejandro Sarango Gonzalez

C.I. 1106115916



Wilson Sebastián Tenempaguay Guncay

C.I. 0106995525

## **DEDICATORIA.**

**Quiero dedicar este trabajo de investigación:**

*A mis pilares fundamentales “Dios y la Virgen” por acompañarme y bendecirme siempre, dándome salud, fuerza y sabiduría para alcanzar esta etapa tan anhelada y soñada a lo largo de mi vida.*

*A los motores de mi vida, mis queridos padres Luis y Carmen, por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación como profesional. Por ese amor y esas palabras que siempre me acompañaron e incentivaron en los días eternos de estudio. Mil gracias por hacer siempre lo imposible por verme progresar, este meta lo alcance gracias a su gran esfuerzo y sacrificio “estaré eternamente agradecido”.*

*A mis hermanos y hermana (Wilson, Luis, María) por estar siempre a mi lado dándome la mano en cada momento, por ese amor incondicional que me ayudado a superar cada adversidad y esencialmente que ha cooperado a culminar esta meta; a mi hermana María por ser la mejor persona brindándome su apoyo en cada día gris, gracias por cada sonrisa que me inspira y motiva a ser un gran ejemplo para ti mi pequeña Meche.*

*A mis demás familiares y amigos que siempre me apoyan y acompañan a cumplir cada sueño, gracias por los buenos momentos como por la ayuda que ha aportado a formarme como persona y profesional.*

**Francisco Sarango Gonzalez.**

## **DEDICATORIA.**

*A mi madre, Elena Guncay por ser la persona que siempre estaba conmigo durante mi etapa universitaria, por su apoyo incondicional, por todas las mañanas y por las malas noches de trabajo que dedico con el propósito de darme la oportunidad de tener un logro más en mi vida, le dedico este trabajo porque sin su apoyo y compañía no hubiese sido alcanzable este logro.*

*A mi padre, Isaac Tenempaguay por sus consejos y apoyo brindado, por todo su esfuerzo, porque a pesar de su edad y estado de salud dio toda su capacidad para que yo pueda alcanzar este logro, y por qué a pesar de mis errores como hijo, nunca dejo de creer en mi capacidad.*

*A mis hermanos, por el apoyo incondicional y por qué nunca me dejaron solo en esta etapa, en especial a mi hermana Nelly Tenempaguay que ha estado a cada momento pendiente de mi persona y por su apoyo tanto económico como moralmente.*

*A mis sobrinos, Santiago Buestan, Yamileth Bermeo, Daniela Bermeo, Samantha Buestan, Angélica Tenempaguay, que fueron uno de mis motivos de mi superación, por todo su cariño brindado, porque a pesar de su corta edad siempre me estaban motivando a seguir en adelante, porque en mis momentos de tristeza, ellos fueron una de las razones que me ayudaron a ponerme en pie y sobresalir con mucho entusiasmo.*

**Wilson Tenempaguay Guncay.**

## **AGRADECIMIENTO.**

*A Dios por ser nuestro pilar fundamental en nuestra vida, guiándonos por el buen camino que con su gracia y sabiduría hemos podido alcázar esta meta.*

*A nuestros familiares y amigos de la carrera de Ingeniería Ambiental, gracias por los buenos consejos, buenos momentos y por la ayuda a culminar esta etapa Universitaria.*

*A la Universidad Politécnica Salesiana por permitirnos formar profesionalmente y personalmente, como también a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental “Sede Cuenca” por compartirnos su conocimiento y guiarnos a ser unos excelentes profesionales.*

*Al Ingeniero Jimmy Cuenca de la dirección zonal de Producción Forestal del MAGAP Loja, por apoyarnos con la información pertinente de la comuna Paquizhapa y así mismo por guiarnos en el trabajo de campo. Igualmente agradecer a la Doc. Mónica Espadero y a la Ing. Sandy Gavilanes por brindarnos su apoyo y conocimiento en cada etapa de laboratorio.*

*A nuestro tutor de tesis, Dr. Fredi Portilla Farfán por apoyarnos y ser nuestro principal guía en este proyecto de investigación, mil gracias por el aporte de su tiempo y conocimiento para poder desarrollar de la mejor manera este proyecto.*

**Francisco y Wilson.**

## RESUMEN.

Este trabajo de investigación fue realizado con el objetivo de estimar la cantidad de carbono almacenado en el bosque de Pino de la comuna Paquizhapa, ubicada en la parroquia de Urdaneta perteneciente al cantón Saraguro de la provincia de Loja; para así generar un inventario de carbono y a su vez estimar el contenido de CO<sub>2</sub> que puede almacenar este tipo de especies en la parte aérea, en la hojarasca y en el suelo.

Para estimar la cantidad de carbono almacenado en este territorio la metodología se dividió en tres fases, una fase de campo, fase de laboratorio y en una fase de análisis de resultados; la información en el campo se recolectó mediante el método de parcelas, en el cual se estableció 30 parcelas de forma circular y distribuidas uniformemente a lo largo del territorio, a partir de cada parcela de 400 m<sup>2</sup> se recolectó las variables dasométricas (diámetro-altura) de cada especie de pino, en cambio para la recolección de la hojarasca, se empleó tres subparcelas de 1 m<sup>2</sup> distribuidas en tres cuadrantes de la parcela total y la recolección del suelo solo se realizó en el centro de cada parcela a diferentes profundidades (0-10cm, 10-20cm, 20-30cm).

Para determinar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea se empleó el método no destructivo basado en ecuaciones alométricas, en la hojarasca se utilizó el método de relación de biomasa, y en el suelo se determinó el contenido de carbono por medio del método de pérdida de peso (LOI). En base a los resultados obtenidos en cada parcela se estimó que en la biomasa aérea existe una cantidad almacenada de 60.01 tonC/ha, en la biomasa de la hojarasca se estimó que hay 3.20 tonC/ha, finalmente se encontró un mayor almacenamiento en el suelo con un total de 328.73 tonC/ha en donde la profundidad de 30 cm es la de mayor acopio (170.66 tonC/ha).



## **ABSTRACT.**

This research work was carried out with the objective of estimating the amount of carbon stored in the pine forest of the Paquizhapa commune, located in the parish of Urdaneta belonging to the Saraguro canton of the province of Loja; in order to generate a carbon inventory and in turn estimate the CO<sub>2</sub> content that this type of species can store in the aerial part, in the leaf litter and in the soil.

To estimate the amount of carbon stored in this territory, the methodology was divided into three phases, a field phase, a laboratory phase and a phase of analysis of results; The information in the field was collected using the plot method, in which 30 plots were established in a circular way and distributed evenly throughout the territory, from each plot of 400 m<sup>2</sup> the dasometric variables (diameter-height) were collected of each species of pine, however, three subplots of 1 m<sup>2</sup> distributed in three quadrants of the total plot were used to collect the litter, and the soil was only collected in the center of each plot at different depths (0-10cm , 10-20cm, 20-30cm).

To determine the carbon content stored in the aerial biomass, the non-destructive method based on allometric equations was used, in the litter the biomass ratio method was used, and in the soil the carbon content was determined by means of the loss method of weight (LOI). Based on the results obtained in each plot it was estimated that in the aerial biomass there is a stored amount of 60.01 tonC / ha, in the litter biomass it was estimated that there are 3.20 tonC / ha, finally there was a greater storage in the soil with a total of 328.73 tonC / ha where the depth of 30 cm is the one with the highest collection (170.66 tonC / ha).

## INDICE GENERAL.

<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Problema.....	1
1.2 Delimitación del área de estudio .....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general .....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1 Antecedentes relacionados a la investigación .....	4
2.1.1 Nivel internacional .....	4
2.1.2 Nivel nacional .....	5
2.1.3 Nivel local .....	6
2.2 Calentamiento global y cambio climático .....	6
2.2.1 Causas del cambio climático.....	8
2.2.2 Consecuencias del cambio climático.....	9
2.3 Efecto invernadero.....	9
2.3.1 Gases de efecto invernadero.....	10
2.3.1.1 Principales gases de efecto invernadero .....	10
2.4 Plantaciones forestales.....	12
2.4.1 Beneficios de las plantaciones forestales .....	13
2.4.2 Plantaciones forestales en el Ecuador .....	14
2.5 El carbono.....	16
2.5.1 Ciclo del carbono .....	16
2.5.1.1 Descripción del ciclo de carbono .....	18
2.5.2 Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en la atmósfera .....	19
2.5.3 Captura y almacenamiento de carbono .....	20
2.5.3.1 Concentración de carbono en la vegetación forestal .....	21
2.6 Alternativas a las necesidades de reducir los GEI.....	24
2.6.1 Mercados de carbono .....	24
2.6.1.1 Tipos de mercados de carbono .....	26
2.7 Metodología para la determinación de stock de carbono en los ecosistemas forestales .....	28
2.7.1 Método para la estimación de la biomasa .....	29

2.7.1.1	Método directo o destructivo.....	29
2.7.1.2	Método no destructivo.....	29
2.7.2	Ecuaciones alométricas .....	30
2.7.2.1	Tipo de ecuaciones alométricas.....	31
2.8	Especie de estudio .....	32
2.8.1	Descripción taxonómica (DFM, 2018).....	32
2.8.1.1	Forma biológica.....	33
2.8.2	Origen y distribución geográfica.....	33
2.8.3	Requerimientos ambientales .....	34
2.8.3.1	Clima .....	34
2.8.3.2	Altitud (msnm) .....	34
2.8.3.3	Suelo .....	35
2.8.4	Generalidades del <i>Pinus patula</i> .....	35
2.8.4.1	Importancia económica .....	35
2.8.4.2	Madera.....	36
2.8.4.3	Usos .....	36
2.8.4.4	Ventajas y desventajas del <i>Pinus patula</i> .....	37
2.9	Marco legal.....	37
2.9.1	Constitución del Ecuador .....	38
2.9.2	La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).....	39
2.9.3	Protocolo de Kioto .....	40
2.9.4	Acuerdo de Paris .....	41
2.9.5	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) ..	43
2.9.6	Ley de gestión ambiental (Registro Oficial Suplemento 418 de 10 de septiembre de 2004) .....	43
2.9.7	Incentivos para la conservación .....	44
	<b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
3.	Metodología .....	47
3.1	Fase de campo .....	47
3.1.1	Determinación de Parcelas .....	47
3.1.1.1	Tamaño y forma de las parcelas .....	48
3.1.1.2	Número de parcelas .....	49
3.1.1.3	Ubicación de las parcelas en el terreno .....	51
3.1.2	Recolección de datos.....	57

3.1.2.1	Equipos y Materiales utilizadas en la recolección de datos.....	57
3.1.2.2	Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP).....	58
3.1.2.3	Medición de alturas .....	59
3.1.2.4	Recolección de la hojarasca.....	60
3.1.2.5	Recolección de muestras de suelos.....	61
3.2	Fase de laboratorio.....	62
3.2.1	Análisis de la hojarasca.....	62
3.2.2	Análisis del suelo .....	63
3.2.2.1	Determinación de la densidad aparente (DA) del suelo .....	63
3.2.2.2	Determinación del carbono orgánico en el suelo .....	64
3.3	Fase de análisis de resultados .....	66
3.3.1	Estimación del contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea.....	66
3.3.1.1	Biomasa aérea.....	66
3.3.1.2	Contenido de carbono en la biomasa aérea .....	67
3.3.2	Estimación del contenido de carbono almacenado en la hojarasca.....	68
3.3.2.1	Contenido de humedad .....	68
3.3.2.2	Cálculo de la biomasa seca.....	69
3.3.2.3	Contenido de carbono en la hojarasca.....	69
3.3.3	Estimación del contenido de carbono almacenado en el suelo .....	70
3.3.3.1	Densidad aparente (DA) .....	70
3.3.3.2	Porcentaje de materia orgánica del suelo .....	71
3.3.3.3	Porcentaje de Carbono Orgánico del suelo .....	71
3.3.3.4	Contenido o stock de Carbono en el suelo .....	72
3.3.4	Estimación del CO <sub>2</sub> almacenado en la biomasa aérea, necromasa y suelo .....	72
3.3.5	Estimación del Carbono y CO <sub>2</sub> almacenado por hectárea.....	73
	<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>74</b>
4.1	Resultados.....	74
4.1.1	Resultados obtenidos en la Biomasa aérea.....	74
4.1.1.1	Contenido estimado de carbono en la biomasa aérea.....	74
4.1.1.2	Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en la biomasa aérea .....	76
4.1.1.3	Contenido estimado de carbono y CO <sub>2</sub> por hectárea en la biomasa aérea ....	78
4.1.2	Resultados obtenidos en la Hojarasca .....	79
4.1.2.1	Contenido estimado de carbono en la hojarasca.....	79
4.1.2.2	Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en la hojarasca.....	81

4.1.2.3	Contenido estimado de Carbono y CO <sub>2</sub> por hectárea en la hojarasca .....	84
4.1.3	Resultados obtenidos en el Suelo .....	84
4.1.3.1	Contenido estimado de carbono en el suelo a 10 cm de profundidad .....	84
4.1.3.2	Contenido estimado de Carbono en el suelo a 20 cm de profundidad .....	87
4.1.3.3	Contenido estimado de Carbono en el suelo a 30 cm de profundidad .....	89
4.1.3.4	Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en el suelo a 10 cm de profundidad .....	91
4.1.3.5	Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en el suelo a 20 cm de profundidad .....	94
4.1.3.6	Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en el suelo a 30 cm de profundidad.....	96
4.1.3.7	Contenido estimado de carbono y CO <sub>2</sub> por hectárea en el suelo.....	98
4.1.4	Comparación .....	100
4.1.4.1	Contenido estimado de Carbono almacenado por hectárea en cada unidad	100
4.1.4.2	Contenido estimado de CO <sub>2</sub> almacenado por hectárea en cada unidad.....	101
4.2	Análisis descriptivo .....	102
4.2.1	Análisis descriptivo en la biomasa aérea.....	102
4.2.1.1	Histogramas.....	102
4.2.1.2	Diagramas de caja.....	107
4.2.2	Análisis descriptivo de la hojarasca .....	108
4.2.2.1	Histogramas.....	108
4.2.2.2	Diagramas de caja.....	113
4.2.3	Análisis descriptivo del Suelo.....	115
4.2.3.1	Histogramas.....	115
4.2.3.2	Diagramas de caja.....	120
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>122</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>124</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>126</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>128</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>139</b>
	ANEXO 1. Hojas de campo y laboratorio para el registro de datos. ....	139
	ANEXO 2. Registro fotográfico de la fase de campo. ....	142
	ANEXO 3. Registro fotográfico de la fase de laboratorio. ....	144

## INDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración 1:</b> Ubicación geográfica del bosque de Pino de la Comuna Paquizhapa. ....	3
<b>Ilustración 2:</b> Erupción del volcán monte Pinatubo en Filipinas, y su efecto en la temperatura global.....	8
<b>Ilustración 3:</b> Ciclo de carbono .....	17
<b>Ilustración 4:</b> Representación del presupuesto de carbono en áreas forestales. ....	21
<b>Ilustración 5:</b> Carbono almacenado en los bosques de Ecuador Continental.....	23
<b>Ilustración 6:</b> Diagrama de los stocks y flujos de carbono en bosques forestales.....	29
<b>Ilustración 7:</b> Especie en estudio (Pinus patula) de la comuna Paquizhapa. ....	32
<b>Ilustración 8:</b> Fases metodológicas utilizadas para la estimación del carbono en la comuna Paquizhapa. ....	47
<b>Ilustración 9:</b> Parcela circular utilizada para la estimación de carbono, de 400 m <sup>2</sup> con sus cuatro cuadrantes (I, II, III, IV) y subparcelas de medición de suelo y hojarasca. ....	49
<b>Ilustración 10:</b> Conversión del archivo shapefile (mapa base) a raster. ....	52
<b>Ilustración 11:</b> Ventana de conversión de polígono a raster.....	52
<b>Ilustración 12:</b> Raster de la comuna Paquizhapa.....	53
<b>Ilustración 13:</b> Conversión del archivo raster a punto.....	53
<b>Ilustración 14:</b> Ventana de conversión de raster a punto.....	53
<b>Ilustración 15:</b> Puntos centrales de las parcelas en el mapa base de la comuna Paquizhapa. ....	54
<b>Ilustración 16:</b> Procedimiento para el cálculo de las coordenadas UTM. ....	54
<b>Ilustración 17:</b> Ventana para el cálculo de coordenadas UTM.....	54
<b>Ilustración 18:</b> Localización de las 30 parcelas para la estimación de carbono en la comuna Paquizhapa. ....	55
<b>Ilustración 19:</b> Delimitación de la parcela y restricción de la zona a muestrear en la comuna Paquizhapa. ....	57
<b>Ilustración 20:</b> Medición de la circunferencia del árbol mediante cinta métrica en la comuna Paquizhapa. ....	59
<b>Ilustración 21:</b> Medición de la altura de los árboles mediante un hipsómetro Nikon Forestry Pro en la comuna Paquizhapa. ....	60
<b>Ilustración 22:</b> Recolección de la muestra de hojarasca en una parcela de 1m <sup>2</sup> en la comuna Paquizhapa. ....	61
<b>Ilustración 23:</b> Recolección y almacenamiento de una muestra de suelo en la comuna Paquizhapa. ....	62
<b>Ilustración 24:</b> Secado y pesado de las muestras de hojarasca recolectadas en la etapa de campo.....	63
<b>Ilustración 25:</b> Pesado de la muestra de suelo seco para el cálculo de la densidad aparente. ....	64
<b>Ilustración 26:</b> Secado y calcinado del suelo de la comuna Paquizhapa mediante la mufla. ....	66
<b>Ilustración 27:</b> Contenido estimado de carbono en la biomasa aérea en cada parcela analizada de la comuna Paquizhapa.....	76
<b>Ilustración 28:</b> Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en la biomasa aérea de cada parcela analizada de la comuna Paquizhapa.....	78
<b>Ilustración 29:</b> Contenido estimado de Carbono y CO <sub>2</sub> por hectárea en la biomasa aérea de la comuna Paquizhapa. ....	79
<b>Ilustración 30:</b> Contenido estimado de carbono en la hojarasca de cada parcela analizada de la comuna Paquizhapa. ....	81

<b>Ilustración 31:</b> Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en la hojarasca en cada parcela muestreada de la comuna Paquizhapa. ....	83
<b>Ilustración 32:</b> Contenido estimado de Carbono y CO <sub>2</sub> por hectárea en la hojarasca de la comuna Paquizhapa. ....	84
<b>Ilustración 33:</b> Contenido estimado de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 10 cm de profundidad. ....	86
<b>Ilustración 34:</b> Contenido estimado de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 20 cm de profundidad. ....	89
<b>Ilustración 35:</b> Contenido estimado de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 30 cm de profundidad. ....	91
<b>Ilustración 36:</b> Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 10 cm de profundidad. ....	93
<b>Ilustración 37:</b> Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 20 cm de profundidad. ....	95
<b>Ilustración 38:</b> Contenido estimado de CO <sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 30 cm de profundidad. ....	97
<b>Ilustración 39:</b> Contenido estimado de Carbono por hectárea en el suelo de la comuna Paquizhapa. ....	98
<b>Ilustración 40:</b> Contenido estimado de CO <sub>2</sub> por hectárea en el suelo de la comuna Paquizhapa. ....	99
<b>Ilustración 41:</b> Contenido estimado de carbono por hectárea en cada unidad evaluada de la comuna Paquizhapa. ....	100
<b>Ilustración 42:</b> Contenido estimado de CO <sub>2</sub> por hectárea en cada unidad evaluada de la comuna Paquizhapa. ....	101
<b>Ilustración 43:</b> Histograma de frecuencias del DAP de las especies arbóreas. ....	102
<b>Ilustración 44:</b> Histograma de frecuencias de alturas de las especies arbóreas. ....	103
<b>Ilustración 45:</b> Histograma de frecuencias de la biomasa de las especies arbóreas. ....	104
<b>Ilustración 46:</b> Histograma de frecuencias del carbono almacenado en las especies arbóreas. ....	105
<b>Ilustración 47:</b> Histograma de frecuencias del CO <sub>2</sub> almacenado en las especies arbóreas. .	106
<b>Ilustración 48:</b> Diagrama de caja del contenido de Carbono por parcela en la biomasa aérea. ....	107
<b>Ilustración 49:</b> Diagrama de caja del contenido de CO <sub>2</sub> por parcela en la biomasa aérea. ..	108
<b>Ilustración 50:</b> Histograma del contenido de humedad de las subparcelas de hojarasca. ....	109
<b>Ilustración 51:</b> Histograma del contenido de biomasa de las subparcelas de hojarasca. ....	110
<b>Ilustración 52:</b> Histograma del contenido de carbono almacenado en las subparcelas de hojarasca. ....	111
<b>Ilustración 53:</b> Histograma del Contenido de CO <sub>2</sub> almacenado en las subparcelas de hojarasca. ....	112
<b>Ilustración 54:</b> Diagrama de caja del contenido de carbono almacenado por parcela en la hojarasca. ....	113
<b>Ilustración 55:</b> Diagrama de caja del contenido de CO <sub>2</sub> almacenado por parcela en la hojarasca. ....	114
<b>Ilustración 56:</b> Histograma de frecuencias de la densidad aparente de las muestras de suelo. ....	115

<b>Ilustración 57:</b> Histograma de frecuencias del porcentaje de materia orgánica en las muestras de suelo. ....	116
<b>Ilustración 58:</b> Histograma de frecuencias del porcentaje de carbono orgánico en las muestras de suelo. ....	117
<b>Ilustración 59:</b> Histograma de frecuencias del contenido carbono en las muestras de suelo. ....	118
<b>Ilustración 60:</b> Histograma de frecuencias del contenido de CO <sub>2</sub> en las muestras de suelo. ....	119
<b>Ilustración 61:</b> Diagrama de caja del contenido de carbono almacenado por parcela en cada profundidad de suelo. ....	120
<b>Ilustración 62:</b> Diagrama de caja del contenido de CO <sub>2</sub> almacenado por parcela en cada profundidad de suelo. ....	121



## INDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1:</b> Principales gases de efecto invernadero en la atmósfera (expresados en unidades equivalentes de CO <sub>2</sub> ).....	10
<b>Tabla 2:</b> Emisiones de GEI correspondiente a sectores económicos en Ecuador (2010). .....	12
<b>Tabla 3:</b> Principales especies forestales en el Ecuador. ....	15
<b>Tabla 4:</b> Depósitos de carbono.....	17
<b>Tabla 5:</b> Cantidad mundial de carbono presente en la vegetación y en los reservorios de carbono hasta una profundidad de 1 m. ....	20
<b>Tabla 6:</b> Contenido de carbono según los diferentes estratos boscosos.....	23
<b>Tabla 7:</b> Carbono almacenado en los estratos boscosos del Ecuador. ....	24
<b>Tabla 8:</b> Diferencia entre mercado regulado y voluntario. ....	27
<b>Tabla 9:</b> Clasificación científica del pino. ....	32
<b>Tabla 10:</b> Requerimiento climático.....	34
<b>Tabla 11:</b> Altitudes favorables de adaptación. ....	35
<b>Tabla 12:</b> Características de la madera de <i>Pinus patula</i> . ....	36
<b>Tabla 13:</b> Incentivos ambientales aplicados en el Ecuador.....	45
<b>Tabla 14:</b> Descripción de la parcela de muestreo. ....	49
<b>Tabla 15:</b> Determinación del número de parcelas y la distancia en la comuna Paquizhapa...	50
<b>Tabla 16:</b> Coordenadas geográficas de las parcelas utilizadas en la estimación del carbono de la comuna Paquizhapa.....	56
<b>Tabla 17:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en la biomasa aérea de la comuna Paquizhapa.....	74
<b>Tabla 18:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido de CO <sub>2</sub> en la biomasa aérea de la comuna Paquizhapa. ....	76
<b>Tabla 19:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en la hojarasca de la comuna Paquizhapa. ....	79
<b>Tabla 20:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido de CO <sub>2</sub> en la hojarasca de la comuna Paquizhapa. ....	82
<b>Tabla 21:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 10 cm de profundidad. ....	85
<b>Tabla 22:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 20 cm de profundidad. ....	87
<b>Tabla 23:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 30 cm de profundidad. ....	89
<b>Tabla 24:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido CO <sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 10 cm de profundidad. ....	92
<b>Tabla 25:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido CO <sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 20 cm de profundidad. ....	94
<b>Tabla 26:</b> Parámetros obtenidos para determinar el contenido CO <sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 30 cm de profundidad. ....	96

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problema

Actualmente el cambio climático es considerado como una problemática que ha emergido del comportamiento inadecuado del hombre hacia los recursos existentes en el planeta, ocasionado daños colaterales casi irreversibles que han comprometido con la vida existente. Se ha manifestado que el clima global siempre ha mantenido una evolución natural a través del tiempo, sin embargo, pruebas, tanto empíricas como científicas evidenciadas en todo el mundo declaran que en la actualidad el clima ha llegado a convertirse en uno de los desafíos más críticos a nivel global, mismos que podrían ocasionar repercusiones violentas en la vida del planeta (UNFCCC, 2017). Por lo que se ha evidenciado que, la concentración global de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera ha tenido un aumento de aproximadamente 280 ppm a finales del siglo XVIII y para el 2015 ha incrementado hasta más de 400 partes por millón (ppm) de CO<sub>2</sub> (Vergara et al., 2015), ocasionando de esta manera que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera alcance una tasa de dos partes por millón en cada año, como respuesta a este acontecimiento, la (IPCC, 2007) afirma “que la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> de más de 400 ppm conlleva un aumento de 2 °C en la temperatura global del planeta, con respecto a los niveles preindustriales” motivo por el cual estos niveles de concentración no debería ser sobrepasados con la finalidad de evitar posibles consecuencias peligrosas desencadenadas por los efectos del cambio climático a nivel mundial. De esta manera, la elevada concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del planeta se ha convertido en una las amenazas más serias y con repercusiones casi irreversibles para el medio ambiente global, conllevando al desarrollo progresivo del fenómeno del Calentamiento global, mismo que según se prevé tendrá un impacto negativo sobre la salud de los seres humanos, seguridad alimenticia, la actividad económica, el agua y otros recursos naturales e incluso la infraestructura física (Eguren et al., 2004).

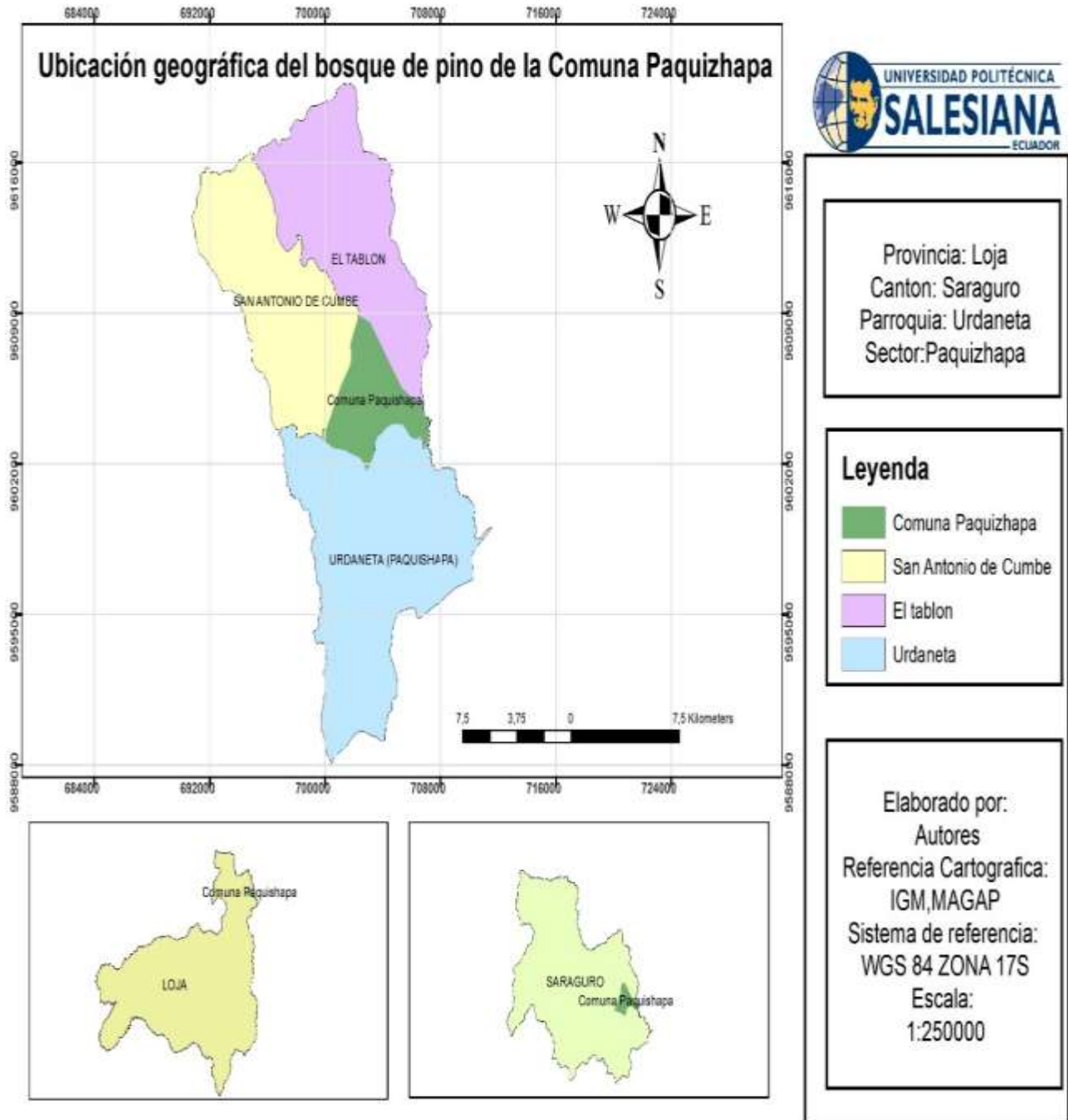
Los bosques forestales cuyo objetivo es de almacenar el carbono atmosférico ya que actúan como sumideros de CO<sub>2</sub> al momento de capturar este gas de la atmósfera mediante el proceso de fotosíntesis llegando a acumular en sus tejidos el carbono fijado, por tanto, dada la capacidad de los bosques forestales para realizar esta acción en beneficio del bienestar del planeta, se afirma que cumplen un papel muy importante como estrategia para regular la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del planeta hasta niveles aceptables (Arrien et al., 2014). Con el tiempo la acumulación de carbono en los ecosistemas forestales globales alcanza un valor de stock de carbono orgánico en equilibrio, desventajosamente el mal manejo del ecosistema llevado a cabo por actividades como: talas masivas, incendios, erosión, laboreo, ganadería, entre otros., afligen el comportamiento del carbono en los ecosistemas forestales.

Motivos suficientes por el cual se ha visto necesario llevar a cabo la elaboración del presente trabajo de investigación enfocado a la estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea, necromasa (hojarasca) y en el suelo de una plantación forestal ocupada por *Pinus patula*. Esperando de esta manera la obtención de resultados confiables de la cantidad de carbono almacenado en el sitio de estudio.

## **1.2 Delimitación del área de estudio**

El bosque de Pino de la comuna Paquizhapa se encuentra ubicado en la provincia de Loja, en las parroquias de Urdaneta, San Antonio de Cumbe y el Tablón perteneciente al cantón Saraguro (Ilustración 1); comprende un área total de 2388.9 hectáreas conformado por especies tanto nativas como introducidas, en donde predominan las especies de *Pinus patula* con una densidad de plantación de 1347 árboles por hectárea. De acuerdo al PDOT (2015-2019) de Urdaneta el rango Altitudinal se encuentra entre 2500 a 2600 msnm, el rango de temperatura climática varía entre 10°C y 14°C y el promedio de precipitación anual esta entre 500mm a 1750 mm (GADPU, 2015).

**Ilustración 1:** Ubicación geográfica del bosque de Pino de la Comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Comuna Paquizhapa, MAGAP.

**Elaboración:** Los Autores, 2020.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Estimar la cantidad de carbono almacenado en el bosque de Pino de la comuna de Paquizhapa.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea mediante el uso de ecuaciones alométricas a partir del diámetro y altura de cada especie de Pino.
- Determinar el carbono almacenado en la hojarasca mediante el peso de la hoja de Pino en cada parcela de estudio.
- Determinar el stock carbono almacenado a diferentes profundidades del suelo.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo se indaga a profundidad los fundamentos teóricos y una parte de la reseña histórica relacionado con el tema de investigación, para lo cual se tomaron en cuenta los acontecimientos más importantes que dieron empuje a la preservación de los ecosistemas forestales como sumideros para la concentración de carbono (C).

### **2.1 Antecedentes relacionados a la investigación**

#### **2.1.1 Nivel internacional**

(Oliva et al., 2017), con su artículo e información extraída de la tesis de (Mirano, 2015) “Determinación de la reserva de carbono en un sistema Silvopastoril compuesto por Pino (*Pinus patula*) y herbáceas nativas”. Cuyo objetivo establecido fue determinar las reservas de carbono de un sistema silvopastoril compuesto por Pino (*Pinus patula*) como especie arbórea y especies

herbáceas nativas, en el distrito de Molinopampa, Perú. La investigación fue realizada mediante el método de muestreo directo y de esta investigación se ha concluido que los árboles presentaron un promedio de 30.90 kg de carbono secuestrado en el tejido vegetal, la hojarasca aportó un total de 2.64 t/ha de carbono y por último la cantidad de carbono almacenado en el suelo fue de 81.24 t/ha de carbono en las diferentes profundidades.

(FAO, 2011), en su documento encontrado en <http://ecuadorforestal.org/> titulado “El papel de los bosques en la mitigación del cambio climático y la adaptación” argumenta que la vegetación forestal a nivel mundial contiene “283 gigatoneladas de carbono en la biomasa, 38 gigatoneladas en la madera muerta, y 317 gigatoneladas en el suelo hasta una profundidad de 30 cm conjuntamente con la hojarasca”. Entendiéndose de esta manera que el total de carbono en los ecosistemas forestales es de 638 gigatoneladas, valor que supera la cantidad de carbono presente en la atmósfera.

(García & Arias, 2017) en su artículo “Almacén de carbono en plantaciones de *Pinus patula* y *Pinus ayacahuite* en San Miguel Tenextepec, Amanalco, Estado de México” se ha concluido que la especie *Pinus patula* presenta mayor carbono almacenado a nivel del fuste y biomasa aérea, esto se lo atribuye a su mayor volumen y biomasa que presenta el árbol.

De esta manera, la especie *Pinus patula* con un volumen fustal de  $422 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y biomasa aérea  $169.397 \text{ Mg ha}^{-1}$  almacena una cantidad de  $84.700 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono aéreo; mientras que la especie *Pinus ayacahuite* con un volumen fustal de  $124 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y biomasa aérea  $57.176 \text{ Mg ha}^{-1}$  almacena una cantidad de  $28.588 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono aéreo.

### **2.1.2 Nivel nacional**

(Pacheco et al., 2017), en su artículo “Valoración financiera de una plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham, en la microcuenca Zamora Huayco – Loja, Ecuador” el objetivo fue

“determinar el valor real en pie de una plantación de Pino (*Pinus patula*) de acuerdo a la calidad de los fustes, volumen de madera y el valor de mercado en la microcuenca de Zamora Huayco”. De ello se ha concluido que la valoración real en pie de la plantación fue baja (4183.76 USD/ha), esto se debe a que, la plantación de Pino no ha recibido ningún tipo de tratamiento silvicultural.

### **2.1.3 Nivel local**

(Jumbo et al., 2018) en su artículo “MEDICIÓN DE CARBONO DEL ESTRATO ARBÓREO DEL BOSQUE NATURAL TINAJILLAS-LIMÓN INDANZA, ECUADOR” con el objetivo “determinar el carbono almacenado en el estrato arbóreo de un bosque natural”. De ello se ha concluido que el bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, almacena 4.835 ton, resultando 41 ton/ha., en lo que respecta al CO<sub>2</sub> almacenado, el “bosque Tinajillas-Limón Indanza es 17 864 ton, representando 151 ton/ha”.

(Vásquez & Morales, 2019), en su tesis de pregrado “Valoración económica de la captura de carbono en las especies *Podocarpus sprucei* y *Oreocallis grandiflora* en el Bosque Protector Aguarongo” el objetivo fue determinar el valor económico de la captura de carbono en las especies *Podocarpus sprucei* y *Oreocallis grandiflora* en el Bosque Protector Aguarongo. De esta investigación se ha concluido que en promedio la especie *Podocarpus sprucei* captura 0.045 ton/ind de carbono mientras que la especie *Oreocallis grandiflora* captura 0.03 ton/ind.

## **2.2 Calentamiento global y cambio climático**

El calentamiento global se ha convertido en el problema ambiental más trascendente del presente siglo y ha sido considerada como uno de los mayores desafíos que enfrenta la raza humana (Mendiola, 2008).

Según (Cepssa, 2015) el calentamiento global se refiere “al incremento gradual, observado o proyectado, en la temperatura media de la superficie global terrestre”, debiéndose así a la alteración

del balance energético del planeta es decir, la diferencia entre la radiación solar absorbida y la reflejada, misma alteración energética es atribuida a las emisiones resultantes de la actividad del hombre sobre el ecosistema.

De la misma forma, (Mendiola, 2008) lo define como “un Fenómeno proveniente del efecto invernadero por el que la temperatura media del planeta aumenta y afecta los ecosistemas.

En cuanto al cambio climático, según (Ahumada et al., 2018) con información extraída del artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, afirma que el cambio climático, “es considerado como un cambio en el clima atribuido, en su mayor parte, a la actividad humana”. Estos cambios tienen la capacidad de alterar la composición atmosférica y junto a ello la variabilidad natural del clima observada y comparada en un determinado periodo de tiempo. La (IPCC, 2013) menciona que “dichos cambios en el clima son establecidos en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, mismos que persiste durante largos períodos de tiempo”.

Además, (Lera St. Clair, Asunción, 2010) define al cambio climático desde un punto de vista diferente, no como un problema ambiental sino más bien como un “problema social, un problema del desarrollo y un problema ético que está estrechamente vinculado con la seguridad de la humanidad. Según (Ordóñez & Masera, 2016) argumenta que el cambio climático global conjuntamente con el aumento potencial de la temperatura superficial del planeta, vendría a ser uno de los problemas ambientales más rigurosos para el presente siglo, razón por la cual según mismo autor, argumenta que uno de los principales problemas de este fenómeno se debe al rápido incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y a su vez a las dificultades que se presentan para reducir el incremento de estos gases en el tiempo venidero.

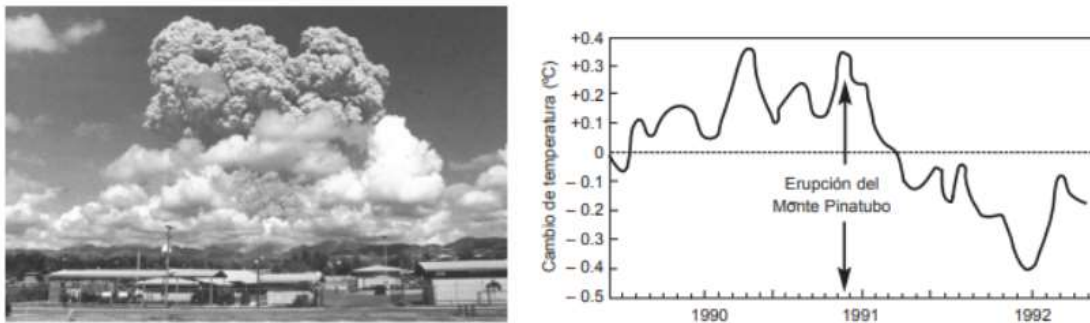


Por lo tanto, en base a la información anteriormente presentada, se puede plantear la diferencia entre cambio climático y calentamiento global. Refiriéndose de esta manera, que el cambio climático es un cambio significativo y duradero de los patrones locales y globales del clima y sus causas proviene de acciones tanto naturales como artificiales, mientras que el calentamiento global se refiere al aumento de la temperatura en la atmósfera terrestre misma que se ha estado observando desde los finales del siglo IXX, es decir, se refiere únicamente a la temperatura de la superficie del planeta por consecuencias de la presencia de los gases de efecto invernadero en la atmósfera .

### 2.2.1 Causas del cambio climático

Según (Power, 2009) con datos extraídos de la IPCC 2004, afirma que el aumento de la temperatura global desde la segunda mitad del siglo XX se lo atribuye “al incremento antropogénico de la concentración de GEI, fenómenos naturales como es la variación del ciclo solar y erupciones volcánicas”.

**Ilustración 2:** Erupción del volcán monte Pinatubo en Filipinas, y su efecto en la temperatura global.



**Fuente:** (Power, 2009).

Razón por la cual, la (IPCC et al., 2000) afirma que las principales causas que determinaran los futuros incrementos o decrementos de la concentración de gases de efecto invernadero seguirán

siendo “el cambio demográfico, el desarrollo social y económico, y la rapidez y dirección del cambio tecnológico”.

### **2.2.2 Consecuencias del cambio climático**

Se afirma que este fenómeno tendría repercusiones adversas preferente graves en los ecosistemas naturales, conllevando de esta manera a la pérdida y degradación de la riqueza biótica del planeta, la erosión de suelos, cambios en los patrones de evapotranspiración, contaminación de acuíferos, entre otros (Ordóñez et al., 2016).

Entre otra de las consecuencias según (Luque, 2010) son las graves e inusuales inundaciones, siendo así una consecuencia muy lamentable ya que trae consigo tanto la pérdida de muchas vidas humanas como las pérdidas económicas producto de la destrucción de viviendas, carreteras, puentes, industrias y por último la pérdida de miles de hectáreas de zonas de cultivos.

Las consecuencias del calentamiento global o la intensificación de fenómenos de variabilidad natural en el Ecuador se ha expresado, como es el caso de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), cabe recalcar que ambas inciden de forma adversa en el desarrollo del país (MAE, 2016). De la misma forma según el mismo autor con datos extraídos de la (IPCC, 2013), señalan un calentamiento de 0.7°C a 1°C desde la década de 1970. Esto conlleva a que el fenómeno del cambio climático expresa grandes retos para el Ecuador, debido a que afecta adversamente en el cumplimiento de uno de los principales objetivos del desarrollo, que viene a ser la superación de las condiciones de pobreza.

### **2.3 Efecto invernadero**

Según (Mendiola, 2008), menciona que el efecto invernadero es un “fenómeno por el que la atmósfera terrestre retiene energía calorífica proveniente del sol y permite que la temperatura media de la tierra se mantenga en 14.4 °C”.

Mientras tanto que (Power, 2009) para facilitar el entendimiento de este fenómeno, lo compara con un invernadero en donde se cultivan plantas, afirmando que “es la acumulación de energía radiante proporcionada por el sol en un recinto cerrado que permite el ingreso de la radiación pero pocas pérdidas al exterior”, de tal modo que, la temperatura en el interior del invernadero aumenta y las plantas pueden crecer en condiciones más favorables que en un sistema abierto.

### 2.3.1 Gases de efecto invernadero

Son considerados como Gases que promueven la acción del efecto invernadero, por lo que (Mendiola, 2008), afirma que estos gases “ocasiona que la atmósfera retenga más energía calorífica que en su ausencia”.

#### 2.3.1.1 Principales gases de efecto invernadero

Los principales gases son:

**Tabla 1:** Principales gases de efecto invernadero en la atmósfera (expresados en unidades equivalentes de CO<sub>2</sub>).

<b>GEI</b>	<b>Composición molecular</b>	<b>GWP (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Vida media (años)</b>	<b>Origen</b>
<b>Dióxido de carbono</b>	CO <sub>2</sub>	1	50 a 200	Quema de combustibles fósiles y de biomasa, incendios forestales.
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	23	12 + (-) 3	Cultivos de arroz, producción pecuaria, residuos sólidos urbanos, emisiones fugitivas.
<b>Óxido nitroso</b>	N <sub>2</sub> O	296	120	Uso de fertilizantes, degradación de suelos, algunos usos médicos.
<b>Hidrofluorurocarbonos</b>	HFC-23	12000	1,5 a 264	Refrigeración, aire acondicionado,
	HFC-125	3400		extinguidores,

	HFC-134a	1300		petroquímica, solventes en
	HFC-152a	120		producción de espuma,
	HFC-227ea	3500		refrigerantes y aerosoles,
	HFC-236fa	9400		producción y uso de
	HFC-4310mee	1500		halocarbonos.
<b>Perfluorurocarbonos</b>	CF4	5700	2600 a	Refrigerantes naturales, aire
	C2F4	11900	50000	acondicionado, producción de
	C4F10	8600		aluminio, solventes, aerosoles,
	C6F14	9000		producción y uso de
				halocarbonos.
<b>Hexafluoruro de azufre</b>	SF8	22200	3200	Aislante dieléctrico en
				transformadores e interruptores de
				redes de distribución eléctrica,
				refrigerante industrial, producción
				de aluminio, magnesio y otros
				metales, producción y uso de
				halocarbonos.

---

(GWP-potencial de calentamiento). **Fuente:** (Mendiola, 2008)

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se ha considerado como uno de los GEI más importantes y que su emisión a la atmósfera como consecuencia del cambio en el uso del suelo, (Ordóñez & Masera, 2016) afirma que “ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución por parte de las zonas tropicales”.

Nota... “La deforestación mundial anual se calcula en 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación anual de cerca de 1.8 GtC; lo que representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales” (Ordóñez & Masera, 2016).

En lo que respecta a Ecuador, según datos del (MAE, 2016) en el año 2010 las emisiones accedieron a 80'504.230 ton CO<sub>2</sub>eq representando de esta manera un 0,16% de las emisiones globales. El sector de mayor emisión de GEI en el Ecuador, se lo atribuye al uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, de las cuales las cifras alcanzadas de CO<sub>2</sub> producto de esta intervención fueron de aproximadamente 24'000.000 de CO<sub>2</sub> eq, (Jaramillo & Renato, 2017), a continuación se presenta una tabla con más detalle acerca de las emisiones de GEI para el año de referencia.

**Tabla 2:** Emisiones de GEI correspondiente a sectores económicos en Ecuador (2010).

Sectores	Gg de CO <sub>2</sub> _eq	%
Energía	53'812.52	44,5
Procesos industriales	2'659.250	3,3
Utilización de disolventes y otros productos		
Agricultura	14'515.940	18,0
Uso del suelo, cambio del uso de suelo y silvicultura.	24'171.110	30,0
Residuos	3'345.410	4,2
<b>Total</b>	<b>80'504.230</b>	<b>100</b>

**Fuente:** (MAE, 2016)

## 2.4 Plantaciones forestales

Son consideradas como masas arbóreas las cuales ha sido establecida antrópicamente, es el resultado de plantar árboles forestales con múltiples fines como: ambientales, comercial y de manejo (ecuadorforestal, 2013; Pacheco et al., 2017).

De la misma forma (Carle et al., 2002) con datos extraídos de la (FRA, 2000), caracteriza a las plantaciones forestales como “aquellos rodales forestales establecidos mediante la plantación y / o

siembra en el proceso de forestación o reforestación”, y son de especies ya sea introducidas o autóctonas.

#### **2.4.1 Beneficios de las plantaciones forestales**

Uno de los beneficios que brinda las plantaciones forestales es la alternativa para la recuperación de suelos degradados y erosionados ya sea por las malas practica agrícolas o ganaderas, de esta manera las plantaciones ejercen el papel de otorgar materia orgánica al suelo mejorando así su estructura, de tal manera las plantaciones forestales vendrían a ser una alternativa benéfica para aquellos suelos en donde ya no se pueda hacer agricultura o ganadería (Matango, 2015). En cuanto a los beneficios que otorga la industria forestal según el mismo autor establece que la madera proveniente de las plantaciones reduce la presión en los bosques nativos.

Como ya se habían mencionado anteriormente una de los propósitos de las plantaciones forestales es el aprovechamiento para la industria y otros usos , como leña, sin embargo, según lo establece (Carle et al., 2002), las plantaciones forestales también tienen la facultad de suministrar productos y bienes forestales no madereros adicionales, ya sea de los árboles plantados o de otros elementos del ecosistema.

Entre los principales beneficios de las plantaciones forestales se tiene:

- Combaten la desertificación
- Absorción del carbono como una forma de compensar el carbono emitido
- Dependiendo de la especie, protege el suelo y el agua.

(Carle et al., 2002) menciona que a “nivel mundial una parte importante del suministro de madera para usos industriales proviene de plantaciones, en lugar de recursos forestales naturales”.

Sin embargo, en base al mismo autor no todas las plantaciones forestales tienen la capacidad de presentar impactos ambientales, económicos, sociales o culturales positivos, razón por la cual, si

no se lleva una planificación y manejo adecuado de las plantaciones forestales, estas pueden crecer en lugares inapropiados generando de esta manera efectos colaterales para los ecosistemas colindantes.

(FAO, 2011) afirma que los bosques desempeñan un papel muy importante en la mitigación y adaptación a las consecuencias del cambio climático, sin embargo, como respuesta, según datos extraídos de la (FRA, 2010) establece, que los bosques como herramienta para mitigación del cambio climático, también plantea problemas específicos, ya que la propiedad de las existencias de carbono concentrado en los bosques vendría a ser un problema importante que debe ser tratado por los países.

Del mismo modo, se dice que tanto los bosques naturales como plantados, cumplen una importante función en la preservación del equilibrio ecológico, razón por la cual su libre aprovechamiento se encuentra regulado y protegido por organismos competentes con el propósito de salvaguardar la conservación de los diversos ecosistemas. (García & Arias, 2017) de su trabajo investigativo relacionado al almacenamiento de carbono en una plantación forestal de *Pinus Patula*, en base a los resultados obtenidos concluye, que las plantaciones forestales tienen todo el potencial para reducir el calentamiento global, debido a que los árboles disponen de la facultad de capturar y almacenar el carbono atmosférico.

#### **2.4.2 Plantaciones forestales en el Ecuador**

Según (Larrea et al., 2015) Ecuador es considerado como un país ambientalmente diverso, el cual el cual se clasifica en tres grandes regiones: Costa, Sierra y Amazonía. En lo que se refiere a la gran diversidad ambiental, según el mismo autor se debe principalmente a:

- Posición geográfica.
- Presencia de la cordillera de los Andes conjuntamente con volcanes activos.

- Las influencias de los sistemas atmosféricos de baja y alta presión.

Ecuador dispone de una superficie terrestre de 28`356.000 ha referente a un aproximado de 256.370 km<sup>2</sup> de las cuales, el 14.4 millones de hectáreas (130.002 km<sup>2</sup>.) de territorio están preferentemente dispuestas para uso forestal, es decir, más de un 50% del territorio nacional; correspondiendo a las plantaciones forestales, alrededor de 164.000 has. que representan el 1.14% de la superficie forestal del Ecuador (ecuadorforestal, 2013).

Las plantaciones forestales en el Ecuador principalmente están constituidas de *Pinus spp.* Y *Eucalyptus spp.*, que se encuentran principalmente en la Región Sierra. (Jadán et al., 2019), afirma que en el paisaje andino del sur del Ecuador existen superficies indeterminadas de plantaciones forestales de *Pinus patula*, las cuales han sido implantadas hace algunas décadas con el fin de producir bienes y brindar servicios ambientales.

**Tabla 3:** Principales especies forestales en el Ecuador.

<b>Región</b>	<b>Especie</b>	<b>Ha.</b>
<b>(Sierra)</b>	<b>maderera</b>	
	Pino	53000
	Eucalipto	35000
	Otro	10000
<b><u>Total</u></b>		<b><u>80000</u></b>

**Fuente:**(Matango, 2015)



## **2.5 El carbono**

El carbono (C) es un elemento químico de la tabla periódica y es considerado como “el cuarto elemento más abundante en el Universo, después del hidrógeno, el helio y el oxígeno (O)” (Sánchez, 2019).

(Rueda, 2014) también afirma que “el carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo y subsuelo”, mismos que son considerados depósitos de carbono o sumideros de carbono debido a que el carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos.

Del mismo modo, (Orihuela, 2019) argumentan que el carbono se puede hallar en el aire como CO<sub>2</sub> y CO, por lo que se considera que los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, mismo que lo obtienen de los resultados de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, los cuales son liberados cuando éstos terminan su ciclo de vida. (Orihuela, 2019) afirma que “Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida”.

### **2.5.1 Ciclo del carbono**

El ciclo del carbono “es un ciclo biogeoquímico donde el carbono sufre distintas transformaciones a lo largo del tiempo” (Ballesteros & Aristizabal, 2007), esto se debe al intercambio entre la biósfera, litósfera, hidrósfera y la atmósfera de la Tierra (Sánchez, 2019, p. 7).

Según la (CIIFEN, 2019) afirma que “el carbono se encuentra depositado en todas las esferas del sistema global en diferentes formas”:

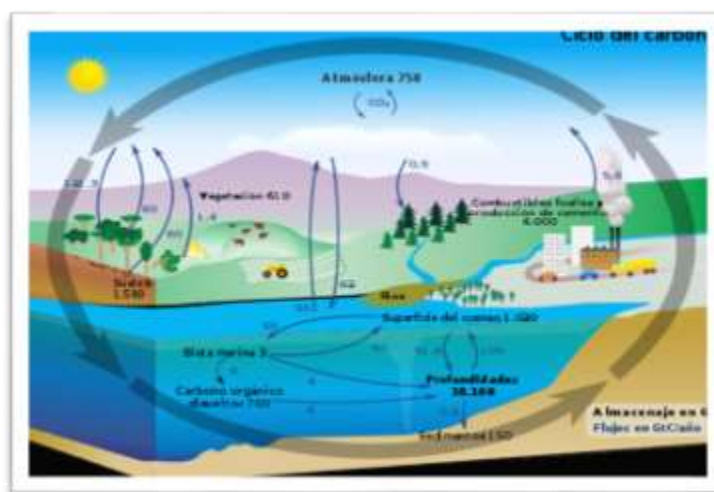
**Tabla 4:** Depósitos de carbono.

<b>Atmósfera</b>	Se encuentra como dióxido de carbono, metano y otros componentes.
<b>Hidrosfera</b>	En forma de dióxido de carbono disuelto en al agua.
<b>Litosfera</b>	Se encuentra en las rocas y en depósitos de carbón, petróleo y gas.
<b>Biosfera</b>	Almacenado en los carbohidratos.
<b>Troposfera</b>	En diferentes formas como los objetos creados por la sociedad.

**Fuente:** (Ballesteros & Aristizabal, 2007)

Cabe mencionar que, durante el ciclo, el carbono interacciona con cada una de las capas mencionadas en la (Tabla 4) siguiendo una escala de tiempo que van desde horas, días, meses y estaciones he incluso, algunos tardan hasta largos periodos geológicos.

**Ilustración 3:** Ciclo de carbono



**Fuente:** (CIIFEN, 2019)

Este proceso está comprendido de dos ciclos, mismos que se desarrollan a diferentes velocidades:

**a. Ciclo biológico**

Hace referencia al intercambio de dióxido de carbono entre los seres vivos y la atmósfera, dado que el carbono es suministran por los organismos autótrofos hacia las cadenas alimenticias a través

de procesos de síntesis, generando de esa manera una gran cantidad de compuestos orgánicos. (Rueda, 2014).

El proceso se da por medio de la fotosíntesis, en el momento que las plantas absorben energía solar y CO<sub>2</sub> atmosférico, produciendo oxígeno e hidratos de carbono mismos que son esenciales para su crecimiento. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación, constituyendo conjuntamente con sus residuos (madera muerta y hojarasca) un stock natural de carbono (Hidalgo, 2011, p. 20). Por otro lado, se tiene el proceso inverso, mismo que ocurre con la emisión de carbono a través de la respiración de las plantas, animales y por la descomposición orgánica.

#### **b. Ciclo biogeoquímico**

Este ciclo se encarga de regular la transferencia de carbono entre la atmósfera y la litosfera (océanos y suelo) (Rueda, 2014). En este proceso el CO<sub>2</sub> atmosférico se disuelve con facilidad en el agua, formando otro compuesto, como es el ácido nítrico, mismos que atacan los silicatos que constituyen las rocas llegando a transformarse en iones bicarbonatos. Estos iones de bicarbonato disueltos alcanzan el mar, los mismos que son aprovechados por los animales para formar sus tejidos, y posterior a su muerte se depositan en los sedimentos. Cabe mencionar que este proceso también puede ser acentuado por la acción humana (Huamán Huamaní, 2011).

Por lo tanto, se estima que el intercambio de carbono entre los sumideros oceánicos y el atmosférico se da mediante procesos químicos, también cabe recalcar que el retorno a la atmósfera del carbono, se da a través de las erupciones volcánicas.

##### **2.5.1.1 Descripción del ciclo de carbono**

El carbono existente en el planeta queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo, por medio de los sistemas ecológicos, mismos que desempeñan un

papel importante en el ciclo del carbono global. El ciclo se da de una forma natural en el momento que el carbono es intercambiado entre estos sistemas y la atmósfera mediante los procesos fotosintéticos, respiración, descomposición y combustión. Cabe recalcar, que la actividad humana constituye un factor que altera la concentración de carbono almacenado y a la vez los intercambios entre estos reservorios y la atmósfera mediante el uso inadecuado de los suelos, el cambio de uso de suelos y las actividades forestales (IPCC, 2000).

De tal manera, se afirma que el carbono es aprovechado tanto por la vegetación como por los suelos de los ecosistemas terrenos y por ende según (IPCC, 2000) “la cantidad de carbono almacenado es actualmente mucho mayor en los suelos que en la vegetación, particularmente en los ecosistemas no forestados de latitudes medias y altas”.

### **2.5.2 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera**

El CO<sub>2</sub> es considerado como un Gas de Efecto Invernadero (GEI), mismo que se encuentra de forma natural en la atmósfera, no sin embargo, durante el tiempo que transcurre su concentración aumenta como producto de las actividades antrópicas (Valderrama et al., 2019). Las grandes industrias también están involucradas en el aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> razón por la cual estas también inciden en el efecto invernadero. Dichas emisiones tanto de CO<sub>2</sub> como de CO también son producidas cuando se quema combustible fósiles con el fin de conseguir energía por combustión o prácticas no saludables para el ambiente como la quema de biomasa forestal.

**Tabla 5:** Cantidad mundial de carbono presente en la vegetación y en los reservorios de carbono hasta una profundidad de 1 m.

Biomasa	Área (10 <sup>9</sup> ha)	Carbono mundial almacenado (GtC)		
		Vegetación	Suelo	Total
Bosques tropicales	1.74	212	216	428
Bosques templados	1.04	59	100	159
Bosques boreales	1.37	88	471	559
Sabanas tropicales	2.25	66	264	330
Herbazales templados	1.25	9	295	304
Desiertos y semidesiertos	4.55	8	191	199
Tundra	0.95	6	121	127
Humedales	0.35	15	225	240
Tierra de cultivo	1.60	3	128	131
<b>Total, mundial</b>	<b>15.12</b>	<b>466</b>	<b>2011</b>	<b>2477</b>

**Fuente.** (IPCC, 2000)

Nota: La presente tabla proporciona una panorámica de datos general de la magnitud del carbono almacenado en los sistemas terrestres.

### 2.5.3 Captura y almacenamiento de carbono

Según la (IPCC & CMNUCC, 2005) la captación y almacenamiento de carbono hace referencia a “un proceso consistente en la separación del CO<sub>2</sub> emitido por la industria y fuentes relacionadas con la energía, su transporte a un lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera a largo plazo”.

Por otro lado, (Valderrama et al., 2019) considera que la captura y almacenamiento de carbono, “consiste en capturar el CO<sub>2</sub> emitido por los procesos de combustión controlada en industrias,

transportarlo y someterlo a un ambiente subterráneo dentro de formaciones geológicas adecuadas con miras a su almacenamiento permanente”.

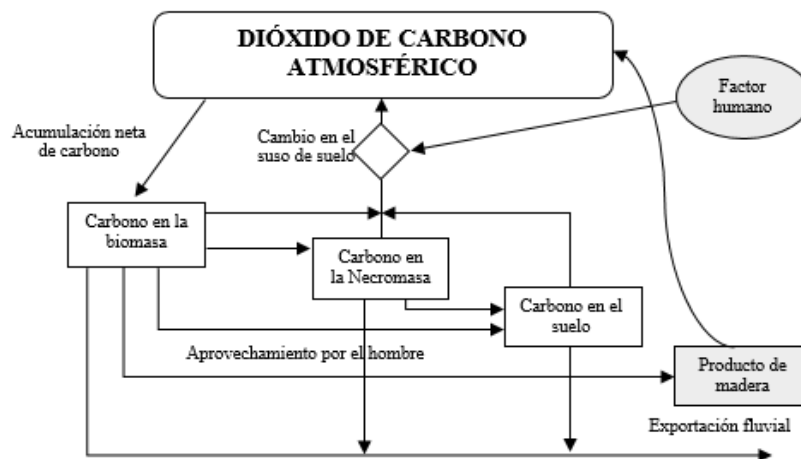
También (Valderrama et al., 2019) menciona que “la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> es una de las técnicas utilizadas para reducir sus emisiones”, por lo tanto, se considera como una más de las medidas de mitigación con el fin de controlar y/o estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera .

### 2.5.3.1 Concentración de carbono en la vegetación forestal

La (FAO, 2011) con información extraída del cuarto informe del (IPCC, 2007) indico que:

“La vegetación forestal mundial contiene 283 gigatoneladas de carbono en la biomasa, 38 gigatoneladas en la madera muerta y 317 gigatoneladas en el suelo (hasta una profundidad de 30 cm) y la hojarasca. El carbono total en los ecosistemas forestales se ha calculado en 638 gigatoneladas, cifra que supera la cantidad de carbono presente en la atmósfera” (FAO, 2011).

**Ilustración 4:** Representación del presupuesto de carbono en áreas forestales.



**Fuente:** (Brown et al., 1993)

A nivel mundial, los bosques templados y tropicales tienen la capacidad de capturar y conservar más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre, razón por la cual los bosques participan con

el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. En respuesta a este enunciado en la ( ilustración 4) se puede visualizar que los principales almacenes de Carbono en los ecosistemas forestales están concentrados en el suelo, vegetación y el mantillo (Ordóñez & Masera, 2016; Brown et al., 1993).

**Suelo.** –Por su parte el suelo cumple un papel muy importante ya sea en el reciclaje como en el almacén del carbono en los bosques. Por consecuencia de la influencia global de los procesos naturales del suelo están los generados por la descomposición de la materia orgánica del suelo, como el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y otros gases que integran en el ciclo del carbono ( Brown et al., 1993; Dixon et al., 1994; Ordóñez & Masera, 2016). Los suelos disponen de una gran capacidad de captar el carbono debido a que pueden acumularlo por miles de años.

**Vegetación.** – Es la encargada de integrar el carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis (Dixon et al., 1994; Ordóñez & Masera, 2016; Brown et al., 1993)

Por otro lado, según (Ordóñez & Masera, 2016) otro de los factores claves a la hora de determinar el flujo neto de carbono hacia la atmósfera, se lo atribuye a los cambios en el uso del suelo, el cual modifica muchas veces de manera significativa la cantidad de carbono almacenado en los diferentes sumideros.

Los bosques en el Ecuador ocupan un territorio de 15'333.562 hectáreas siendo el 59.8% del territorio nacional, de los cuales 7'620.780 ha forman parte de las áreas protegidas (García & Arias, 2017). Para el 2015 se estimaba que el bosque siempre verde perteneciente a las tierras bajas de la Amazonía es el que tiene mayor concertación de bosque en el país, de tal modo que este territorio, al año 2014 ha registrado un total de 12'753.387 ha, mismas que expresada en términos de carbono, representan una cantidad bastante considerable que se ve reflejada en la Tabla 6 (MAE, 2015).

**Ilustración 5:** Carbono almacenado en los bosques de Ecuador Continental.



**Fuente:** (MAE, 2015)

**Tabla 6:** Contenido de carbono según los diferentes estratos boscosos.

<b>Biomasa viva</b>	<b>%</b>	<b>Biomasa muerta</b>	<b>%</b>
Biomasa	66.2%	Hojarasca	2.1%
DAP mayor a 10cm		Necromasa	8.9%
Sotobosque	2.6%	Biomasa muerta en pie	3%
DAP menor a 10 cm		Raíces muertas	1.4%
Raíces vivas	18.8%		
<b><u>Total</u></b>	<b><u>84.6%</u></b>		<b><u>1.4%</u></b>

**Fuente:** (MAE, 2015)



**Tabla 7:** Carbono almacenado en los estratos boscosos del Ecuador.

Reserva aproximada (toneladas)	CO <sub>2</sub> NO emitido a la atmósfera (toneladas CO <sub>2</sub> )	Promedio de reserva de carbono. (Toneladas por hectárea)
<u>1.553'168.425,46</u>	<u>5.621'617.560,01</u>	<u>134,92</u>

**Fuente:** (MAE, 2015)

## 2.6 Alternativas a las necesidades de reducir los GEI.

(Ordóñez & Masera, 2016) argumenta que para la implantación de estrategias viables enfocadas a la mitigación y adaptación de las consecuencias del cambio climático es necesario:

1. Conocer el comportamiento del carbono en los ecosistemas forestales.
2. Conocer las modificaciones a los flujos de Carbono derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo.

Por lo que el primer paso indispensable para la implantación de mecanismos de reducción de GEI, es contar con la información básica sobre la cantidad de carbono almacenado en los diferentes sumideros de los ecosistemas (Ordóñez & Masera, 2016).

### 2.6.1 Mercados de carbono

El mercado de carbono tiene su inicio a partir de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), misma que fue llevada a cabo en el año 1992 durante la Cumbre de la tierra en Río (Benítez, 2013). Según (Mendiola, 2008) los mercados de carbono son “Conjunto de diferentes sistemas de comercio que los gobiernos, empresas o individuos pueden utilizar para comprar o vender productos que representan derechos, reducción y/o captura de toneladas de dióxido de carbono u otros gases de efecto invernadero”.

Consiste de lo siguiente:

Lograr un acuerdo entre un comprador y un vendedor de créditos de carbono, por otro lado, aquellos que reducen emisiones o capturan carbono son acreedores de pagos y, por último, quienes tienen la obligación de disminuir sus emisiones pueden comprar créditos para compensar sus emisiones (Seeberg, 2010).

El mercado de carbono proviene de la necesidad de tomar medidas ante la evidencia de que la actividad humana se ve influenciada en el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, por lo que el calentamiento climático global cada vez se ve acelerado (Eguren et al., 2004).

Para garantizar el entendimiento de cómo funciona el comercio de carbono a nivel mundial, se presenta una explicación puntual del comercio de carbono según lo argumentado por (Naizot, 2008).

“Una firma de eco-consultoría le hace una eco-auditoria a un cliente y llega a un cálculo que se reivindica exacto, científico, de cuánto carbono liberan a la atmósfera las actividades que realiza. Después le asigna un valor monetario y le vende una cantidad equivalente en oxígeno. El cliente entonces puede restar de su cuenta de carbono la cantidad de carbono secuestrada por el sumidero que compró. Cuando un cliente posee suficientes sumideros como para compensar todas sus emisiones se puede jactar de no estar causando contaminación alguna” (Naizot, 2008).

También se habla de la compensación de carbono, misma que se refiere según (Seeberg, 2010) a “compensar las emisiones que no pueden evitarse pagando a alguien para que ahorre o secuestre los GEI. En cuanto a los precios recibidos por una tonelada de CO<sub>2</sub>, según el mismo autor afirma que estos varían mucho y dependen del tipo de mercado y de proyecto de compensación de carbono, por lo que se estima que durante el 2019 los precios se mantenían en un rango de 1.90 a 13 euros por tonelada de CO<sub>2</sub>-eq.

### **2.6.1.1 Tipos de mercados de carbono**

Según lo afirma (Eguren et al., 2004) con datos extraídos del Banco Mundial, “no existe un solo mercado de carbono definido por un sólo producto, un sólo tipo de contrato o un sólo sistema de compradores y vendedores”, por lo que según el mismo autor afirma que existen dos grandes sistemas en donde se lleva a cabo las transacciones de carbono. Uno de ellas es el sistema que busca cumplir con el marco establecido por el Protocolo de Kioto, y, por otro lado, las mismas iniciativas direccionadas a un mismo propósito de comercio de emisiones, pero fuera del Protocolo de Kioto, como son “las iniciativas voluntarias de restricción de emisiones y las decisiones federales y estatales de EE.UU. para mitigar GEI, país que como ya se mencionó, no es parte del Protocolo de Kioto” (Eguren et al., 2004).

- **Mercado regulado o de Kioto**

Según (Business, 2019) argumenta que este tipo de mercado es llevado a cabo por los gobiernos y empresas que están en la obligación de rendir cuentas de sus emisiones de GEI, es necesario recalcar que en este mercado juegan un papel muy importantes los tres mecanismos establecidos en el Protocolo de Kioto a fin de facilitar el cumplimiento de los objetivos de reducción de GEI, como son:

1. Comercio internacional de derechos de emisión entre las partes participantes (países del Anexo I) en el mercado de carbono, donde los países con emisiones inferiores a sus metas pueden vender el excedente a aquellos que las han superado.
2. Aplicación conjunta, que permite a los países del Anexo I invertir en proyectos para aminorar las emisiones de gases de efecto invernadero en otros países de

dicho Anexo, de modo que los créditos generados por esos proyectos valgan para sus compromisos de reducción de emisiones.

3. Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL), que permite a los países del Anexo I invertir en proyectos para disminuir las emisiones en países en desarrollo, de manera que los créditos generados por esos proyectos valgan para sus compromisos del Protocolo de Kioto (Ludeña et al., 2016).

- **Mercados voluntarios o no de Kioto**

Este mercado tiene la misma trayectoria que el mercado regulado con la diferencia que abarca únicamente a las entidades que han optado por ser partícipes voluntariamente para el cuidado del planeta. Algunas de ellas invierten en reducciones de carbono mediante la ejecución de proyectos en los países en vías de desarrollo, mientras que otras lo hacen en economías en transición (Business, 2019).

**Tabla 8:** Diferencia entre mercado regulado y voluntario.

Kioto	No Kioto
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auspiciado por UNFCCC</li> <li>• Sistema regulado a nivel intergubernamental</li> <li>• Hay diferentes tipos de productos: EUAs, ERUs, CERs, AAUs, RMUs</li> <li>• Existen distintos requerimientos según los productos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es regulado, hay distintos estándares</li> <li>• Distintas calidades de proyecto</li> <li>• Los proyectos son a medida del comprador</li> <li>• El volumen de los proyectos es pequeño, proyectos de corto plazo</li> </ul>
<p>Requisitos de un MDL:</p> <p>Ser real, medible, de largo plazo, que exista una</p>	<p>Riesgos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay criterios de selección</li> <li>• No hay metodología</li> </ul>

metodología, adicional, línea de base, verificable y certificable

- Hay riesgo de doble contabilidad al no existir un registro único
- Calidad cuestionable

---

**Fuente:** (Eguren et al., 2004)

Según (Seeberg, 2010) “en 2008, se comerciaron en el mercado regulado 119.000 millones de dólares estadounidenses (US\$), y en el voluntario, 704 millones US\$”.

## **2.7 Metodología para la determinación de stock de carbono en los ecosistemas forestales**

Previo a la explicación de los métodos para la determinación de stock de carbono, lo más importante que se debe entender es la diferencia entre STOCK y FLUJO de carbono:

### **a) STOCK de Carbono**

Hace referencia a todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes, razón por la cual a la hora de cuantificar el stock de un bosque forestal según (Honorio & Baker, 2010) se muestrea:

- Biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces.
- Necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta.
- Carbono en la materia orgánica del suelo.

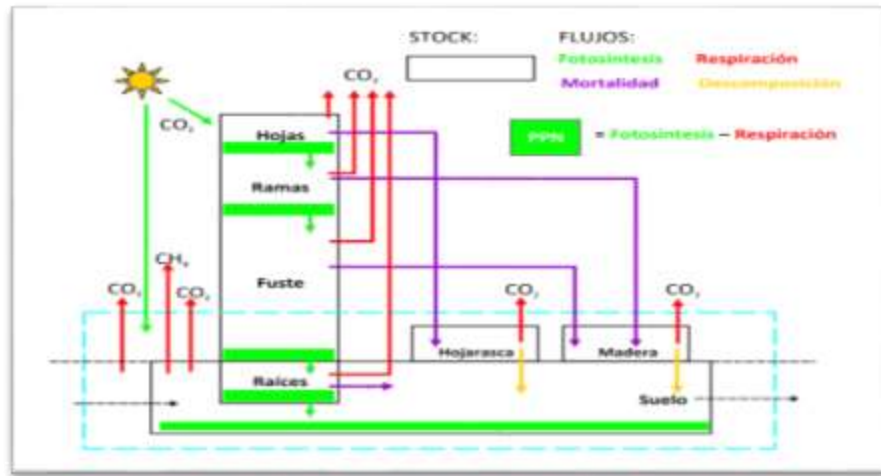
### **b) Flujo de Carbono**

Mientras tanto que el Flujo de carbono son todos aquellos procesos que afectan el stock, en este caso, si se desea cuantificar los flujos de carbono en un bosque forestal según (Honorio & Baker, 2010) muestreamos:

- Fotosíntesis de las hojas
- Respiración autotrófica (árbol) y heterotrófica (hojarasca, madera muerta, suelo)
- Mortalidad de troncos, ramas, hojas y raíces

- Descomposición de la madera y la hojarasca causada por los organismos degradadores.

**Ilustración 6:** Diagrama de los stocks y flujos de carbono en bosques forestales.



**Fuente:** (Honorio & Baker, 2010)

Por último, (Honorio & Baker, 2010) afirma que, otra de las formas para diferenciar el stock y el flujo se debe considerar las unidades que expresa cada uno, de esta forma “los stocks de carbono se expresan en términos de peso por unidad de área ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), mientras los valores de los flujos siempre incluyen la variable tiempo y cuantifican la cantidad de carbono que entra o sale de un componente del stock de carbono en el tiempo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )”.

## 2.7.1 Método para la estimación de la biomasa

### 2.7.1.1 Método directo o destructivo

Este método requiere el muestreo de árboles preferiblemente de área basal media, debido a que es una variable de fácil estimación (Kobayashi et al., 2012), para ello primero se debe de cortar el árbol, posteriormente se separan cada una de las partes (fuste, ramas vivas, ramas muertas, hojarasca, raíz) y cada uno de estos componentes son pesados en el propio campo.

### 2.7.1.2 Método no destructivo

Con respecto a este método según (Kobayashi et al., 2012), los árboles no deberán ser cortados, pero sin embargo se requiere de la medición de ciertas variables como:

- El diámetro a la altura del pecho (DAP).
- Altura total de toda la vegetación leñosa.

### 2.7.2 Ecuaciones alométricas

Se refiere a una herramienta matemática la cual nos permite conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de otras variables. “Las ecuaciones son generadas a partir de los análisis de regresión, donde se estudian las relaciones entre la masa (generalmente en peso seco) de los árboles y sus datos dimensionales (altura, diámetro)” (Chacon & Porro, 2009). En consideración al número de variables independientes (datos dimensionales) según (Chacon & Porro, 2009) la ecuación puede ser una regresión lineal simple, en el caso que se trate de una sola variable o una regresión lineal múltiple cuando se manejan más de dos variables. De esta manera las ecuaciones pueden presentar características lineales o no lineales, tal cual se muestra a continuación:

- Regresión lineal simple  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$
- Regresión lineal múltiple  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi}$
- Regresión no lineal  $e = \frac{\alpha}{(1 + e^{-(\lambda + kX)/\delta})^\delta}$

(Ruiz, 2019) argumenta que el uso de ecuaciones alométricas permite realizar la estimación de biomasa de una especie forestal de una forma no destructiva.

Entre las principales variables a considerar en una ecuación alométricas se tiene:

- 1. Diámetro (DAP):** Consiste en registrar el diámetro de los árboles a la altura del pecho (DAP). En caso que el árbol tenga ramificaciones que inicien a menos de 1.30 de altura, (Orihuela, 2019) argumenta que se debe “registrar cada uno de los diámetros y luego

calcular el diámetro general del árbol utilizando la fórmula de la raíz cuadrada de la suma de cada una de las ramas medias”.

- 2. Altura (H):** Corresponde al registro de la altura de los árboles desde el nivel de la superficie hasta el ápice terminal de la planta (Orihuela, 2019). A la hora de tomar esta medida se recomienda utilizar diferentes equipos y herramientas como hipsómetro, regla graduada, wincha, eclímetro, entre otros.

### 2.7.2.1 Tipo de ecuaciones alométricas

(Chacon & Porro, 2009) argumenta la existencia de dos tipos de ecuaciones alométricas mismas que están desarrolladas para estimar la biomasa de los árboles de diferentes especies:

1. Ecuaciones individuales que calculan la biomasa de especies o plantaciones específicas como:

$$\textit{Hevea brasiliensis}: e = -3.84 + 0.528 * SB + 0.001 * SB^2$$

$$\textit{Tectona grandis}: e = 0.153 * DAP^{2,382}$$

#### **Donde:**

y= Biomasa seca sobre el suelo, en kg de materia seca por árbol

DAP= diámetro a la altura del pecho, en cm.

SB= área basal, en cm<sup>2</sup>

2. Ecuaciones generales, son utilizadas para calcular la biomasa de cualquier especie de árbol presente en bosques naturales:

Para maderas de zona tropicales húmedas:

$$Y = \exp[-2.289 + 2.649 * \ln(DAP) - 0.021 * (\ln(DAP))^2]$$

#### **Donde:**

ln= logaritmo natural; exp= “elevado a la potencia de”



## 2.8 Especie de estudio

**Ilustración 7:** Especie en estudio (*Pinus patula*) de la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

### 2.8.1 Descripción taxonómica (DFM, 2018)

- **Familia:** *Pinaceae*.
- **Nombre científico:** *Pinus patula* (Schl. et Cham.).
- **Nombre(s) común(es):** Ocote, ocote colorado, ocote macho, pátula, pino, Pinuschino, Pinuscandelabro, Pinuscolorado, Pinusgelecate, Pinusllorón, Pinuspátula, Pinustriste, Pinusxalocote (DFM, 2018).

**Tabla 9:** Clasificación científica del pino.

Superreino	Eukaryota
Reino	Plantea
División	Pinophyta

Clase	Pinopsida
Orden	Pinales
Familia	Pinaceae
Género	<i>Pinus</i>
Subgénero	<i>Pinus</i>
Familia	<i>P. patula</i>

---

**Fuente.** (Herrera & Cecilia, 2011)

### **2.8.1.1 Forma biológica**

Los árboles de esta especie tienden a alcanzar una altura por lo general de 20-30 m, en ocasiones especiales se han encontrado aboles hasta de 40 m de altura, en cuanto al grosor del troco alcanzan hasta 1 m de diámetro. Estéticamente presenta hojas en forma de acículas verticalmente caídas y se agrupan entre 3, 4 y en ocasiones hasta 5. Expresa un florecimiento de color amarillo muy resaltante y su fruto en forma de cono mismo que contiene sus semillas (MAGAP, 2014).

En cuanto a su ciclo fenológico desde el inicio de la floración hasta la madurez de la semilla, es aproximadamente de 24 meses.

### **2.8.2 Origen y distribución geográfica**

Antes es necesario definir el termino procedencia, por lo que según (Vizcaíno & Pupiales, 2008, p. 24) define como “el área geográfica y ambiental donde crecieron los árboles progenitores, dentro de la cual se formó su constitución genética por selección natural o artificial.

Según (CENICAFÉ, 2011) la especie *Pinus patula* es la conífera más ampliamente utilizada en los trópicos y subtrópicos y en la actualidad se encuentra en Centro y Sur América, países como Argentina, Brasil, Venezuela, Colombia y Ecuador.

Cabe recalcar que esta especie ha sido introducido por varias partes del mundo, esto se deba a la buena calidad de adaptabilidad ambiental y puede sembrarse en altitudes muy diferentes de su lugar de origen (Herrera & Cecilia, 2011).

Según datos históricos publicado en el libro “Plantaciones Forestales” de (Matango, 2015) menciona, que en el año de 1925 el Pino fue introducido en Ecuador por Luciano Andrade Marín, razón por la cual se afirma que después del eucalipto es la especie que más se ha venido plantando en la sierra ecuatoriana. Entre las generalidades más representativas de esta especie (*Pinus patula*) se atribuye a su rápida forma de difundirse en el medio debido a su rápido crecimiento y fácil adaptación a climas y a suelos relativamente adversos (Matango, 2015).

### **2.8.3 Requerimientos ambientales**

#### **2.8.3.1 Clima**

**Tabla 10:** Requerimiento climático.

Precipitación promedio anual	750 a 2800 mm/año.
Régimen de lluvias	Uniforme
Estación seca	0 a 3 meses
Temperatura media anual	10 a 18°C
Temperatura media mínima	6 a 14°C
Temperatura media máxima	18 a 29°C

**Fuente:** (DFM, 2018).

#### **2.8.3.2 Altitud (msnm)**

Esta especie se puede plantar en una altitud de 1.400 a 3.300 msnm, sin embargo a continuación se presenta un cuadro detallado de un rango de altitudes (MAGAP, 2014):

**Tabla 11:** Altitudes favorables de adaptación.

Mínima	1600 a 1500
Media	1800 a 2400 (la más óptima)
Máxima	3100 a 3100

**Fuente:** (MAGAP, 2014)

### **2.8.3.3 Suelo**

Según (MAGAP, 2014) argumenta que esta especie requiere de “suelos de textura media y livianos, de reacción acida a neutral, con buen drenaje”.

Por otro lado (DFM, 2018) afirma que esta especie se adapta muy bien a una amplia variedad de condiciones edáficas, alcanzando así su mejor desarrollo en zonas de ladera y de llanuras con suelos moderadamente fértiles, profundos, húmedos bien drenados, de texturas franco-arenosas a franco-arcillosas.

Razón por la cual, en Sudáfrica esta especie se ha desarrollado satisfactoriamente en una amplia variedad de suelos, incluyendo aquellos derivados de doleritas, granitos, dolomitas, cuarzitas, y areniscas, no obstante, se ha podido verificar que su mejor crecimiento presenta en suelos limosos húmedos bien drenados, los cuales no presentan deficiencias en nutrientes minerales (DFM, 2018).

## **2.8.4 Generalidades del *Pinus patula***

### **2.8.4.1 Importancia económica**

Es considerada como una especie exótica y muy difundida en la sierra ecuatoriana, debido a su buena adaptabilidad, acelerado crecimiento y la rentabilidad de sus productos. En la actualidad su madera es utilizada para tableros aglomerados y de fibras. En cuanto a la forma de plantación del árbol, se lo puede designar en las periferias del terreno sirviendo de esta manera como cortinas

rompe vientos, cercas vivas perimetrales, sistemas silvopastoriles o en plantaciones puras para el aprovechamiento de la madera (Matango, 2015).

#### 2.8.4.2 Madera

- **Características de la madera**

**Tabla 12:** Características de la madera de *Pinus patula*.

Densidad básica	0.38-0.50
Durabilidad natural	Baja
Trabajabilidad	Moderadamente fácil
Secado	Fácil
Impregnación	Fácil

**Fuente:** (DFM, 2018)

#### 2.8.4.3 Usos

La madera de la especie *Pinus patula* presenta características muy apropiadas para el uso de construcción de cajas y material de embalaje, también su madera es utilizada para productos menores de carpintería y para la fabricación de tableros aglomerados (Vizcaíno & Pupiales, 2008). (DFM, 2018) argumenta de forma más detallada cada uno de los usos de la madera del *Pinus patula*, como es madera de aserrío, redonda y otros usos respectivamente:

- a. La madera de aserrío es utilizada en la construcción liviana como: material para techos y tejados, encofrados, teleras y casetones. También se utiliza se utiliza para la fabricación de estibas de carga. Dentro de la carpintería es utilizada para pisos (duelas), piezas de interiores de muebles.

- b. La madera del *Pinus pátula* de tipo redonda es aprovechada como pulpa de fibra larga, con la cual se realiza la producción de papel periódico, esto debido a su bajo contenido de resina. Dentro de la carpintería la madera se utiliza para la elaboración de tableros contrachapados, tableros de partículas y tableros enlistonados. Por otro lado, según como lo argumenta (DFM, 2018) “la madera procedente de rodales bien manejados, con poda, e inmunizada” es muy adecuada para postes para transmisión eléctrica, fabricación de juegos infantiles para parques y sitios de recreación y como postes para cercas.
- c. En cuanto a los productos no maderables, (DFM, 2018) afirma que algunas partes de la planta tienen aplicaciones medicinales, en este caso se dice que los brotes de las hojas preparadas en jarabe con azúcar tiene la facultad de aliviar el catarro y por último, las fricciones junto con la resina de esta especie tienden a curar el reumatismo.

#### **2.8.4.4 Ventajas y desventajas del *Pinus patula***

En lo que respecta a las alteraciones por la presencia de los pinos en el suelo, (Mejía & Moscoso, 2010), argumenta que “la presencia del Pino aumenta los niveles de acidez del suelo, y como respuesta a esta, se ven alterados los procesos edáficos tal como es: la hidrólisis ácida, lixiviación de cationes básicos, nitrificación y actividad fúngica”. Por lo que estos cambios pueden ser tan drásticos ocasionando de esta manera cambios en las categorías taxonómicas más altas del suelo.

### **2.9 Marco legal**

Ecuador, reconocido como el primer país a nivel mundial en reconocer los Derechos de la Naturaleza en la (Constitución del Ecuador, 2008), comprometiéndose de esta manera a la conservación y la gestión del ambiente. Razón por la cual (MAE, 2016) en uno de sus informes argumenta, que es un orgullo que el país reconozca a la naturaleza como un sujeto de derecho, sin

embargo, esta decisión supone al mismo tiempo un reto que deberá de asumirse con mucha responsabilidad.

### **2.9.1 Constitución del Ecuador**

La (Constitución del Ecuador, 2008) por (Registro Oficial 449 de 20-oct-2008) y con la última modificación del 13 de julio de 2011 reconoce dentro de sus artículos 14, 71, 74, 83, 275, 276, 317, 395, 397 y 414 las prioridades de la preservación y derechos del capital ambiental.

**Art. 14.** “Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.

**Art. 66, 27.** “el derecho a vivir en ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”.

**Art. 71.** “La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos”.

“El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema”.

**Art. 74.** “Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado”.

**Art. 276.** “Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural”.

**Art. 317.** “Los recursos naturales no renovables pertenecen al patrimonio inalienable e imprescriptible del Estado. En su gestión, el Estado priorizará la responsabilidad intergeneracional, la conservación de la naturaleza, el cobro de regalías u otras contribuciones no tributarias y de participaciones empresariales; y minimizará los impactos negativos de carácter ambiental, cultural, social y económico”.

**Art. 395.** “El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras”.

**Art. 414.** “El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo”.

### **2.9.2 La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se refiere al “tratado internacional que busca darle solución a la problemática del cambio climático. Se firmó en la Cumbre de Río de 1992 y entró en vigor en 1994” (Arbeláez et al., 2016), ha sido ratificada por 195 países (Molina & Cazorla, 2013), y reconoce la existencia del problema del cambio climático planteándose de esta forma el siguiente objetivo:

Según el Art. 2. De la (CMNUCC) establece el siguiente objetivo:

“lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera con el fin de impedir interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Además, indica que ese nivel debe lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se



adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible” (Molina & Cazorla, 2013). Por lo que según (Ponce, 2017) para cumplir este objetivo se plantean los siguientes principios:

- Para brindar condiciones óptimas a las generaciones presentes y futuras los miembros de la CMNUCC deben juntar esfuerzos enfocados en el control de los efectos del cambio climático de una manera responsable y equitativa.
- Las estrategias para el control del clima se deben enfocar en los países que no cuentan con los recursos necesarios para contribuir en las acciones de mitigación del cambio climático.
- Se debe promover diferentes mecanismos para el desarrollo sostenible que a su vez prevean futuras amenazas y anticipen soluciones a posibles tragedias irreversibles en el clima global.
- La CMNUCC debe ser una herramienta que facilite el comercio internacional de bienes monetarios, los cuales buscan mejorar las condiciones económicas de ciertos países en circunstancias adversas, contribuyendo así al desarrollo sostenible y equitativo de estas naciones.

### **2.9.3 Protocolo de Kioto**

El Protocolo de Kioto es un instrumento establecido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1992 en New York, mismo que tiene como objeto reducir las emisiones de GEI que causan el calentamiento global (Ponce, 2017). El convenio “fue aceptado por 142 países los mismos que firmaron el compromiso de disminuir un porcentaje no menor de 5.2 % sobre los niveles emitidos a las atmósferas en el año 1990” (Ponce, 2017)

Por lo que según (López & Fernández, 2007) afirma que “el Protocolo de Kioto está considerado a nivel internacional como uno de los instrumentos más importantes para la prevención del calentamiento del planeta”.

(Pozo, 2016) argumenta que el Protocolo de Kioto “permite a los países participantes, elevar o reducir el nivel de emisiones permitido durante el período de compromiso, mediante el comercio de las unidades de Kioto con otros países, lo cual se realiza considerando” lo expuesto en los artículos 6, 12 y 17 del Protocolo de Kioto (Pozo, 2016):

- a) Art. 17. Sobre el comercio de emisiones, el cual permite la compraventa de emisiones.
- b) Art. 6. Sobre la Implementación conjunta, utilizado para contabilizar las emisiones de GEI.
- c) Art. 12. Relacionado al Mecanismo de desarrollo limpio MDL, permiten el acuerdo de negociaciones entre paises desarrollados y en vías de desarrollo que estén interesados en cumplir sus metas de reducir las emisiones (Ponce, 2017)

**Art. 2, párrafo 1, inciso a), apartado ii)** “Aplicara protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, teniendo en cuenta sus compromisos en virtud de los acuerdos internacionales pertinentes sobre el medio ambiente; promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, la forestación y reforestación” (Ponce, 2017).

#### **2.9.4 Acuerdo de Paris**

El Acuerdo de París “es un nuevo tratado internacional que se adoptó en 2015 durante la COP21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. “adoptado por 195 países que buscan reducir escalentamiento global” (Ponce, 2017). De esta forma se crean

“obligaciones y dispone de mecanismos procedimentales capaces de disponer incentivos efectivos para asegurar que las Partes cumplan con sus obligaciones” (PNUMA, 2016). Su objetivo es “evitar el incremento de la temperatura media del planeta” (Ponce, 2017), el acuerdo también adiciona la creación de fondo monetario, como ayuda para los países de bajas capacidades respecto al control de la generación de emisiones contaminantes.

(PNUMA, 2016) afirma que el Acuerdo de París es un punto estratégico para América Latina y el Caribe por ser “una región altamente vulnerable al cambio climático y porque cada vez tiene un potencial mayor de aportar a sus soluciones” (PNUMA, 2016).

El **Art. 2.** del Acuerdo de París “señala que éste se aplicará de modo que refleje la equidad y el principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas y las capacidades respectivas” (PNUMA, 2016). Según este mismo artículo se han determinado tres acciones respecto a la amenaza del cambio climático (Ponce, 2017).

- “Mantener el aumento de la temperatura mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático”.
- “Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometan la producción de alimentos”.
- “Eleva las corrientes financieras a un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resistente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero”.

### **2.9.5 Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)**

TULSMA, libro en donde se “reúne todas las políticas relacionadas a la protección de ambiente en el Ecuador” (Regalado, 2012), está compuesto por IX libros, pero sin embargo en este caso únicamente se mencionara aquellos que son afines a nuestra investigación.

- **LIBRO III: DEL REGIMEN FORESTAL**

- Título II: Del Régimen Forestal
- Título IV: De los Bosques y Vegetación Protectores
- Título VII: Del Registro Forestal
- Título X: De la Investigación y Capacitación Forestales

- **LIBRO VI: DE LA CALIDAD AMBIENTAL**

- Anexo IV: Norma de Calidad Ambiental del Aire Ambiente.

### **2.9.6 Ley de gestión ambiental (Registro Oficial Suplemento 418 de 10 de septiembre de 2004)**

#### **Título II del Régimen Institucional de la Gestión Ambiental**

**Art. 7.** La gestión ambiental se enmarca en las políticas generales de desarrollo sustentable para la conservación del patrimonio natural y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que establezca el presidente de la República al aprobar el Plan Ambiental Ecuatoriano. Las políticas y el Plan mencionados formarán parte de los objetivos nacionales permanentes y las metas de desarrollo. El Plan Ambiental Ecuatoriano contendrá las estrategias, planes, programas y proyectos para la gestión ambiental nacional y será preparado por el Ministerio del ramo.

**Art. 12.** Son obligaciones de las instituciones del Estado del Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental en el ejercicio de sus atribuciones y en el ámbito de su competencia, las siguientes:

- a) Aplicar los principios establecidos en esta Ley y ejecutar las acciones específicas del medio ambiente y de los recursos naturales.
- b) Coordinar con los organismos competentes para expedir y aplicar las normas técnicas necesarias para proteger el medio ambiente con sujeción a las normas legales y reglamentarias vigentes y a los convenios internacionales.
- c) Regular y promover la conservación del medio ambiente y el uso sustentable de los recursos naturales en armonía con el interés social; mantener el patrimonio natural de la Nación, velar por la protección y restauración de la diversidad biológica, garantizar la integridad del patrimonio genético y la permanencia de los ecosistemas
- d) Promover la participación de la comunidad en la formulación de políticas para la protección del medio ambiente y manejo racional de los recursos naturales.
- e) Garantizar el acceso de las personas naturales y jurídicas a la información previa a la toma de decisiones de la administración pública, relacionada con la protección del medio ambiente.

**Art. 35.** “El estado establecerá incentivos económicos para las actividades productivas que se enmarquen en la protección del medio ambiente y el mensaje sustentables de los recursos naturales (...)”.

### **2.9.7 Incentivos para la conservación**

En el Ecuador, con respecto a nuestra área de estudios se han venido desarrollan una seria de incentivos de conservación como es “el uso adecuado del suelo, restauración de los recursos

naturales y protección agropecuaria” (Ponce, 2017). Los incentivos han venido siendo económicos y no económicos mismos que se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 13:** Incentivos ambientales aplicados en el Ecuador.

Institución	Incentivo		Características		Temporalidad		Formalización		
			Económicos	No Económicos	Permanentes	Temporales	Conservación	Restauración	Mejoramiento productivo
Ministerio del Ambiente (MAE)	Incentivos a la conservación, Socio Bosque	Pago de \$30 a 60/ha/año			x		x		
	Programa de restauración forestal	\$412 a 889/ha/tres años luego. \$45/año/durante, siete años.			x			x	
	Plan de manejo forestal sustentable	Costos evitados de \$56/ha por asesoría técnica.		x		x	x		
	Adjudicación de tierras en bosques protectores y patrimonio forestal del Ecuador.	Costos evitados de la asistencia técnica y proceso de adjudicación.		x		x	x		
Ministerio de Agricultura,	Incentivo al establecimiento de plantaciones forestales	\$ 1.107 /ha/ en un solo año hasta \$3.403 /ha/ en 4 años				x			x

Ganadería, Acuicultura y pesca. (MAGAP)	Incentivos por sanidad animal.	El comprador reconoce \$0,01 /litro por concepto de sanidad animal.				x			x
	Adjudicación de tierras fuera del patrimonio forestal y bosques protectores.	Costos evitados de la asistencia técnica y proceso de adjudicación.		x		x	x		
	Asistencia técnica.	Gestión y ejecución de proyectos productivos.		x		x			x
	Programa de ganadería sostenible.	Asistencia técnica, insumos.		x		x			x
	Programas INIAP	Investigación y asistencia técnica.		x		x			x
Servicio de rentas internas (SRI)	Extensión del pago de impuesto a las tierras rurales.	\$ 10,41/ha/año de pagos evitados.			x		x	x	
	Crédito tributario por forestación y reforestación.	En función de los costos de producción.				x		x	x
ONU REDD	Mecanismos de distribución horizontal de beneficios.	Aproximadamente \$ 3-6/ton de CO <sub>2</sub> .		x		x	x		

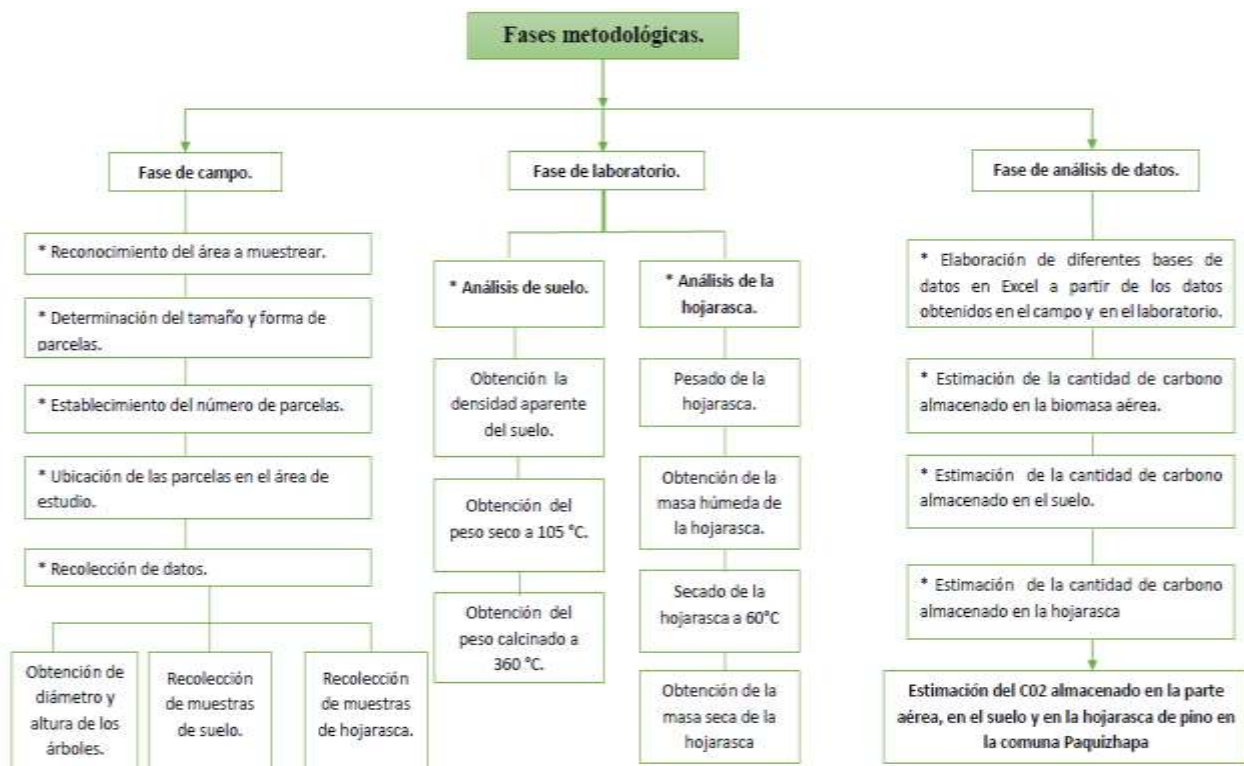
**Fuente:**(Ponce, 2017).

## CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3. Metodología

Para llevar a cabo la estimación de carbono en la comuna Paquizhapa la investigación se dividió en tres fases metodológicas de la siguiente manera: Fase de campo, Fase de laboratorio y la fase de análisis de datos (**Ilustración 8**).

**Ilustración 8:** Fases metodológicas utilizadas para la estimación del carbono en la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 3.1 Fase de campo

##### 3.1.1 Determinación de Parcelas

Para determinar o estimar la cantidad de carbono que almacenan las especies de estudio es prácticamente inalcanzable realizar mediciones o muestreos en toda la área existente , por



cuestiones de tiempo y dinero (Rügnitz et al., 2009), por lo tanto en este estudio se utiliza la técnica de muestreo que se realiza por medio de parcelas.

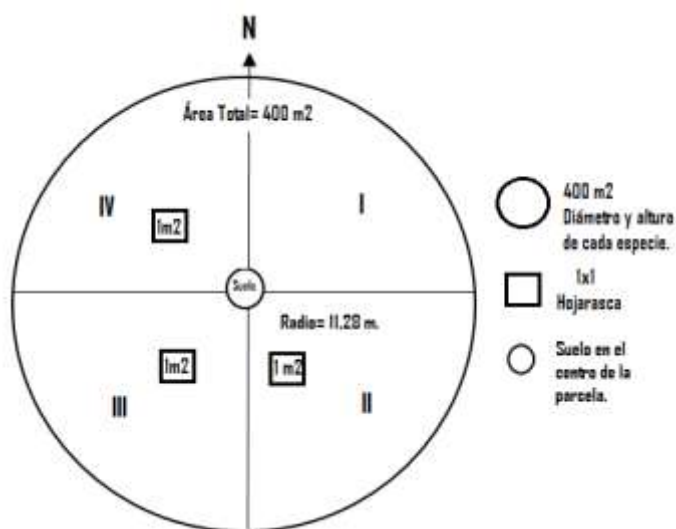
Para estimar la cantidad de carbono y evaluar los cambios en cada depósito a lo largo del tiempo, se puede utilizar parcelas permanentes o temporales; las parcelas temporales son utilizadas cuando en una próxima medición son diferentes a las de la primera medición en cambio las parcelas permanentes son las mismas en cualquier medición, a comparación de los dos tipos de parcelas las permanentes son más eficientes y usadas a la hora de evaluar el crecimiento vegetal a lo largo del tiempo (Molina, 2013); en este estudio se ha usado las parcelas de tipo permanente ya que de acuerdo a (Contreras et al., 1999) se considera que el uso de muestreo permanente es estadísticamente más eficiente.

#### **3.1.1.1 Tamaño y forma de las parcelas**

De acuerdo a Rügnitz et. al. (2009) el tamaño y forma de una parcela debe representar un equilibrio entre la precisión y el costo de la medición, las parcelas pueden adoptar diferentes tamaños con varias formas geométricas como rectangulares, cuadradas y círculos; las parcelas circulares son las más utilizadas especialmente en áreas con bajas pendientes (Molina, 2013).

El tamaño y forma de la parcela en este estudio se desarrolló en base al manual de procedimientos para inventario de carbono en ecosistemas forestales (Schlegel et al., 2001), en el cual se establece una parcela de forma circular con un radio de 11,28 m en el cual se obtiene un área de 400 m<sup>2</sup>, así mismo la parcela de estudio fue dividida en cuatro cuadrantes diferentes en donde se recolecta los diferentes diámetros de cada especie de *Pinus patula*, como también se estableció una subparcela de 1m<sup>2</sup> para la recolección de la hojarasca en los cuadrantes II, III y IV, en cambio para la recolección de las muestras de suelo solo se realizó en el centro de la parcela (**Ilustración 9**).

**Ilustración 9:** Parcela circular utilizada para la estimación de carbono, de 400 m<sup>2</sup> con sus cuatro cuadrantes (I, II, III, IV) y subparcelas de medición de suelo y hojarasca.



**Fuente:** (Schlegel et al., 2001).

**Tabla 14:** Descripción de la parcela de muestreo.

Unidad	Forma	Área.	Parámetro.
Parcela	Circular	400 m <sup>2</sup>	Medición de alturas y diámetro de árboles de pino.
Subparcela	Cuadrada	1 m <sup>2</sup>	Recolección de hojarasca.
Subparcela	Circular	0.0009 m <sup>2</sup>	Recolección de muestras de suelo.

**Elaboración:** Los Autores, 2020.

### 3.1.1.2 Número de parcelas

De acuerdo a (Molina, 2013) el número de parcelas dentro de un estudio es un factor muy importante ya que nos permite obtener una muestra representativa de la zona en estudio, debido a que es imposible muestrear toda la zona de estudio por motivos de costo y tiempo este estudio se realizó mediante el análisis únicamente de una área de 1.2 hectáreas dividida en 30 parcelas de

400 m<sup>2</sup> que representa estadísticamente a toda la comuna de Paquizhapa; este número de parcelas se obtuvo mediante la **Tabla 15** que se encuentra en el manual de campo para la evaluación de la sobrevivencia y el mantenimiento de las plantaciones forestales comerciales que es actualmente utilizado por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP, 2016)

**Tabla 15:** Determinación del número de parcelas y la distancia en la comuna Paquizhapa.

<b>Especie</b>	<b>Densidad plantación</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>IM (%)</b>	<b>Tamaño parcelas (m<sup>2</sup>)</b>	<b>N° parcelas</b>	<b>Distancia parcelas (m)</b>	<b>N° plantas / parcela</b>
Pinus patula	1347	2388.9	0.05	400	30	892	54

**Fuente:** (MAGAP, 2016).

**Elaboración:** Los Autores, 2020.

El número de parcelas obtenido en la **Tabla 15**, se determina a partir de diferentes parámetros ya establecidos como, la intensidad de muestreo, el área total a evaluar, el tamaño de parcela; y para ello se utiliza la siguiente ecuación (MAGAP, 2016):

$$NP = \frac{\left(\frac{A * IM}{100} * 10000\right)}{TP}$$

**Donde:**

**NP**= Número de parcelas

**A**= Área evaluada (ha)

**IM**= Intensidad de muestreo (%)

**TP**= Tamaño de la parcela (m<sup>2</sup>)

La intensidad de muestreo utilizada en este estudio fue del 0,05 % basándose en el manual de procedimientos del MAGAP (2016), el cual recomienda esta intensidad para la evaluación de lotes

superiores a 2000 hectáreas. La distancia entre parcelas de la **Tabla 15** se obtiene con el propósito de ubicar posteriormente las parcelas en el terreno y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$DeP = \sqrt{\frac{A * 10000}{NP}}$$

**Donde:**

**DeP**= Distancia entre parcelas (m)

**A**= Área evaluada (ha)

**NP**= Número de parcelas.

### **3.1.1.3 Ubicación de las parcelas en el terreno**

Las unidades de muestreo fueron parcelas de área fija o permanente y su ubicación fue seleccionada al azar, ya que de acuerdo a (Schlegel et al., 2001) si se sabe poco de la población que se va a muestrear, la selección al azar de las unidades de muestreo es más segura que una selección sistemática, como también menciona Rüginitz et. al. (2009) muestrear de forma aleatoria es el proceso más elemental y utilizado donde cada elemento tiene la misma posibilidad de ser seleccionada.

Para la ubicación al azar de las parcelas dentro del mapa base del bosque de Pino de la comuna Paquizhapa se utilizó el método del manual de procedimientos (MAGAP, 2016) en donde se utiliza un programa especializado en SIG (ArcGIS 10.5), en el cual se tomó como centro el árbol más próximo a la coordenada UTM y se sigue el siguiente proceso:

- 1. Se importa el Mapa base de la comuna Paquizhapa al programa ArcGIS.**
- 2. Se convierte el archivo Shapefile a raster.**

Para convertir el archivo shapefile de la comuna Paquizhapa a raster se utiliza el procedimiento indicado en la **Ilustración 10**.

**Ilustración 10:** Conversión del archivo shapefile (mapa base) a raster.



**Fuente:**(MAGAP, 2016).

Luego de haber realizado este procedimiento nos aparece una ventana (**Ilustración 11**) en donde el Input features o las características de entrada es el mapa base de la comuna Paquizhapa y el Cellsize o tamaño de celda es la distancia entre parcelas calculada en la **Tabla 15**.

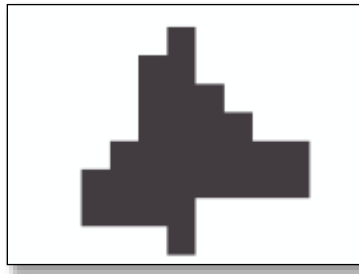
**Ilustración 11:** Ventana de conversión de polígono a raster.



**Fuente:** Los Autores,2020.

Finalmente se obtiene la conversión del polígono a raster (**Ilustración 12**) el cual determinara el punto centroide del cuadrante o pixel que corresponde al centro de cada parcela considerando una distancia de 901 metros entre parcelas.

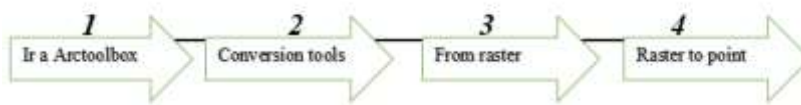
**Ilustración 12:** Raster de la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

**3. Se convierte el archivo raster a archivo de puntos shapefile.**

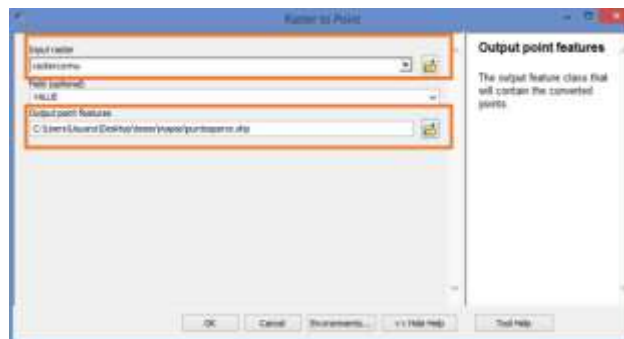
**Ilustración 13:** Conversión del archivo raster a punto.



**Fuente:** (MAGAP, 2016)

A continuación de haber realizado el procedimiento anterior nos aparece una ventana (**Ilustración 14**) en donde el input raster o raster de entrada es el obtenido en el paso 2 y las características de salida van a ser el nombre y la ubicación de donde queremos guardar la conversión.

**Ilustración 14:** Ventana de conversión de raster a punto.



**Fuente:** Los Autores,2020.

Luego de haber transformado el formato raster el programa ubica los puntos Centroides del cuadrante que serán los puntos centrales de cada parcela a analizar.

**Ilustración 15:** Puntos centrales de las parcelas en el mapa base de la comuna Paquizhapa.

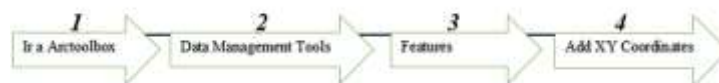


**Fuente:** Los Autores,2020.

**4. Se calcula las coordenadas UTM que serán el punto central de cada parcela.**

Para obtener las coordenadas UTM de cada parcela se sigue el procedimiento de la **Ilustración 16**.

**Ilustración 16:** Procedimiento para el cálculo de las coordenadas UTM.



**Fuente:** (MAGAP, 2016)

Posteriormente nos aparece una ventana donde el input features o características de entrada son los puntos obtenidos en el paso 3 (**Ilustración 17**).

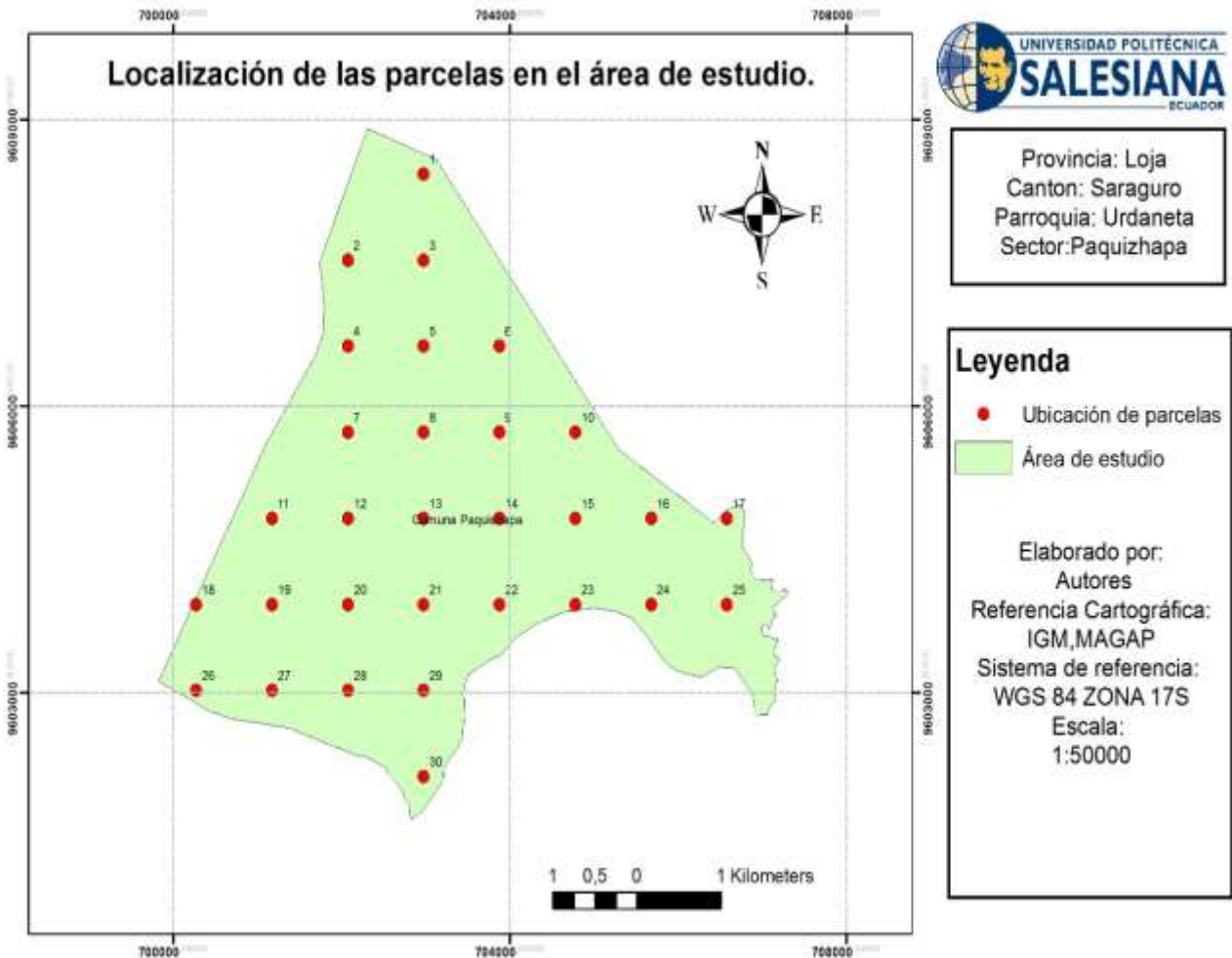
**Ilustración 17:** Ventana para el cálculo de coordenadas UTM.



**Fuente:** Los Autores,2020.

Finalmente, al haber desarrollado el procedimiento incorporado de 4 pasos, se obtiene los puntos centrales de cada parcela localizados en el mapa base de la comuna Paquizhapa como se puede observar en la **Ilustración 18**.

**Ilustración 18:** Localización de las 30 parcelas para la estimación de carbono en la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Comuna Paquizhapa, MAGAP.

**Elaboración:** Los Autores, 2020.



Las coordenadas geográficas de cada parcela a analizar se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 16:** Coordenadas geográficas de las parcelas utilizadas en la estimación del carbono de la comuna Paquizhapa.

Número de parcela	Coordenada X	Coordenada Y
1	702973	9608428
2	702072	9607527
3	702973	9607527
4	702072	9606626
5	702973	9606626
6	703874	9606626
7	702072	9605725
8	702973	9605725
9	703874	9605725
10	704775	9605725
11	701171	9604824
12	702072	9604824
13	702973	9604824
14	703874	9604824
15	704775	9604824
16	705676	9604824
17	706577	9604824
18	700270	9603923
19	701171	9603923
20	702072	9603923
21	702973	9603923
22	703874	9603923
23	704775	9603923
24	705676	9603923
25	706577	9603923
26	700270	9603022
27	701171	9603022
28	702072	9603022
29	702973	9603022
30	702973	9602121

**Fuente:** Los Autores,2020.

Para la delimitación de las parcelas dentro del bosque de pino, se utilizó un GPS para la localización de cada parcela en el terreno a partir de las coordenadas UTM, además se empleó una cinta métrica para medir la distancia desde el centro de la parcela hasta 11.28 metros que corresponden al radio de la misma, asimismo se utilizó estacas de madera para delimitar la parcela y cinta de plástico (Peligro) para restringir la zona a muestrear (**Ilustración 19**).

**Ilustración 19:** Delimitación de la parcela y restricción de la zona a muestrear en la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

### **3.1.2 Recolección de datos**

Durante la recolección de datos de campo en la comuna Paquizhapa, se realizó la Medición de los diámetros y alturas de cada especie de Pino encontrada en cada parcela, como también se procedió a la recolección de muestras de hojarasca y suelo para su posterior análisis en el laboratorio.

#### **3.1.2.1 Equipos y Materiales utilizadas en la recolección de datos**

##### **3.1.2.1.1 Equipos**

- GPS.
- Hipsómetro.
- Cinta métrica de 50 metros.
- Cinta métrica de 1 metro.
- Cámara fotográfica.

##### **3.1.2.1.2 Materiales**

- Rollos de cinta de peligro.
- Piola.
- Estacas.

- Fundas Ziploc medianas.
- Machete.
- Pala.
- Combo.
- Hojas de campo.
- Barreno
- Balanza

### 3.1.2.2 Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP)

De acuerdo a Rüginitz et. al. (2009) la medición de la circunferencia del árbol se puede realizar mediante el uso de una cinta métrica o de una forcípula, en este estudio la circunferencia del árbol a la altura del pecho (CAP) para el cálculo del DAP fue obtenida con el uso de cintas métricas (**Ilustración 20**); la medición se realizó a una altura de 1.3 metros ya que de acuerdo a Vásquez & Morales (2019) el DAP del árbol se mide con la corteza a una altura del pecho con un valor referencial de 1.3 metros sobre la base del árbol, como también Arévalo (2015) menciona que el valor de medición del DAP a 1.30 metros es una medida estándar reconocida internacionalmente.

Para obtener el DAP se utiliza la siguiente fórmula (Rüginitz et al., 2009):

$$\mathbf{DAP= CAP/\pi}$$

**Donde:**

**DAP=** es el diámetro a la altura del pecho.

**CAP=** es la circunferencia a la altura del pecho.

**$\pi$** = 3.1416.

Las mediciones de DAP fueron realizadas en las 30 parcelas establecidas en el estudio, en el cual se consideró toda especie de Pino presente en la parcela circular de 400 m<sup>2</sup> con una altura referencial mayor a 1.3 metros (**Ilustración 20**).

**Ilustración 20:** Medición de la circunferencia del árbol mediante cinta métrica en la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

### 3.1.2.3 Medición de alturas

La altura de un árbol es la distancia de la línea recta entre el pie del árbol a nivel del suelo con el punto final del tallo (Vásquez & Morales, 2019), la medición de las alturas se puede realizar por medio de equipos como clinómetros o hipsómetros (Rügnitz et al., 2009), en este estudio se realizó la medición de las alturas por medio un hipsómetro Nikon Forestry PRO el cual determina automáticamente la altura del árbol (**Ilustración 21**).

**Ilustración 21:** Medición de la altura de los árboles mediante un hipsómetro Nikon Forestry Pro en la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

#### **3.1.2.4 Recolección de la hojarasca**

La necromasa se refiere a toda la materia orgánica que se encuentra sobre el suelo, generalmente esta se encuentra en estado poco degradado y fresco, entre los tipos de necromasa encontramos a la necromasa mayor (Madera gruesa) y la necromasa menor o hojarasca (Cruzado, 2010).

Es importante conocer la cantidad de carbono en la hojarasca ya que esta subunidad actúa como un sistema de almacenamiento de carbono y nutrientes que llegan al suelo, además que por medio de la hojarasca nos da a conocer la cantidad de carbono que pasa desde la biomasa área a los componentes subterráneos (Olguín et al., 2015).

Para la evaluación del contenido de carbono en esta subunidad solo se tomó en cuenta la necromasa menor o hojarasca, la cual se procedió a muestrear o recolectar en las tres subparcelas de 1m<sup>2</sup> que se encuentran dentro de la parcela total de 400 m<sup>2</sup> como se indica la **Ilustración 22**. En esta medición se tomó la hojarasca manualmente separando de las ramillas, luego se pesa lo recolectado

y se extrae una muestra representativa de 50 gramos; una vez que se tomó la muestra se procedió a guardarla en diferentes fundas de plástico ya etiquetadas.

**Ilustración 22:** Recolección de la muestra de hojarasca en una parcela de 1m<sup>2</sup> en la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 3.1.2.5 Recolección de muestras de suelos

Para estimar el carbono en el suelo se tomó una muestra en el centro de cada parcela a diferentes profundidades (0-10cm, 10-20 cm y 20-30 cm) mediante el uso de un barreno circular, luego se mezcló la muestra hasta que el color fue uniforme y se tamizó por una malla de 5mm con el fin de recolectar aleatoriamente una muestra de 100 gramos; a continuación, esta muestra fue almacenada en una funda Ziploc y etiquetada correctamente (**Ilustración 23**). Se ha muestreado el suelo hasta una profundidad de 30 cm ya que de acuerdo al IPCC se acotan los cambios de Carbono Orgánico en el Suelo (COS) hasta una profundidad de 30 cm (Lefèvre et al., 2017).

Se recolectaron en total 90 muestras de suelo a diferentes profundidades para determinar el (COS), asimismo se recolectaron diferentes muestras de suelo en cada parcela y a cada profundidad mediante el uso de un cilindro de volumen conocido (283 cm<sup>3</sup>) para evaluar la densidad aparente;

el muestreo fue realizado en diferentes días y semanas con el fin de impedir el daño y contaminación de cada muestra de suelo.

**Ilustración 23:** Recolección y almacenamiento de una muestra de suelo en la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

## 3.2 Fase de laboratorio

### 3.2.1 Análisis de la hojarasca

De acuerdo a López (2017) el método para estimar el carbono en la biomasa de la hojarasca se basa en calcular el peso húmedo y seco de la misma, ya que la relación de biomasa seca de la hojarasca comprende una relación del carbono 2:1, es decir el 50% está presente en la biomasa (Cruzado, 2010).

Las muestras recolectadas en campo se procedieron a secar en un horno a una temperatura de 60 °C durante 48 horas hasta conseguir un peso constante (**Ilustración 24**), para determinar este peso o masa seca se usó una báscula de precisión logrando determinar la relación entre la masa seca y

la masa húmeda (Galicia et al., 2015); estas relaciones se obtienen con la finalidad de estimar el porcentaje de humedad presente en la hojarasca.

**Ilustración 24:** Secado y pesado de las muestras de hojarasca recolectadas en la etapa de campo.



**Fuente:** Los Autores,2020.

Para determinar el contenido de carbono en la necromasa menor u hojarasca se realizaron las siguientes etapas en el laboratorio:

- Se pesó nuevamente la submuestra representativa de hojarasca recolectada en campo para obtener el peso fresco de la misma.
- Se coloca las submuestras de hojarasca en diferentes recipientes o bases del horno para posteriormente ser secadas a 60 °C durante 48 horas.
- Finalmente se pesa la submuestra para obtener el peso seco y el porcentaje de humedad.

### **3.2.2 Análisis del suelo**

#### **3.2.2.1 Determinación de la densidad aparente (DA) del suelo**

Para determinar el contenido de carbono por unidad de volumen de suelo, es necesario conocer la densidad aparente del suelo; de acuerdo a Acosta et. al. (2001) se requiere una medición exacta de la densidad aparente para poder estimar la cantidad de carbono almacenado



en el suelo, es por ello se tomaron 90 muestras de suelo a las diferentes profundidades establecidas (0-10,10-20,20-30cm) y se realizó las siguientes etapas en el laboratorio:

- Se almacena la muestra de suelo obtenida en campo en una funda de papel y se etiqueta correctamente.
- Se introduce la funda de papel en la mufla y se deja secar la muestra durante 24 horas a una temperatura de 105°C.
- Luego de las 24 horas se deja enfriar la submuestra de suelo en el desecador y se obtiene el peso seco de la misma (**Ilustración 25**).

**Ilustración 25:** Pesado de la muestra de suelo seco para el cálculo de la densidad aparente.



**Fuente:** Los Autores,2020.

### **3.2.2.2 Determinación del carbono orgánico en el suelo**

Existen diferentes métodos analíticos que nos ayudan a determinar el Carbono orgánico de un suelo, entre ellos tenemos los métodos de combustión seca (Analizador automático de carbono, pérdida de calcinación) y el método de combustión húmeda (Walkley -Black) (Lefèvre et al., 2017).

Para determinar el contenido de carbono orgánico en el suelo se usó el método de calcinación o pérdida de ignición (Loss on ignition, LOI) ya que es un método barato y de fácil aplicación, el cual se basa en determinar el contenido de materia orgánica de un suelo mediante la pérdida de peso de la muestra sometida a altas temperaturas, conociendo la cantidad de materia orgánica en una muestra se puede calcular directamente la cantidad de carbono; de acuerdo a Vinueza (2015) el contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) se puede determinar mediante la suposición de que la materia orgánica contiene un 58 % de carbono.

Para determinar el contenido de materia orgánica en el suelo por el método de calcinación o pérdida de ignición se debe secar la muestra durante 24 h y luego 2 h de ignición a 360 °C (Eyherabide et al., 2014), para obtener este contenido se realizó las siguientes etapas en laboratorio:

- Se Secó la muestra de suelo a temperatura ambiente.
- Se mezcló el suelo hasta obtener un color uniforme y mediante el método de cuarteo obtener una muestra representativa.
- Se trituró la muestra de suelo con la ayuda de un mortero.
- Se pesó una muestra de 20 gramos para después ser tamizada por un tamiz de (425  $\mu$ m) con el fin de eliminar la grava y raíces presentes en el suelo.
- Se colocó las muestras tamizadas en diferentes crisoles para ser secadas por completo en la mufla a una temperatura de 105 °C durante 24h, posteriormente la muestra secada se deja enfriar por unos minutos en el desecador y se pesa para obtener el peso seco de suelo.
- Por último, se coloca las muestras en la mufla a una temperatura de 360° C durante 2h, se deja enfriar durante unos minutos en el desecador y se obtiene el peso calcinado de suelo.

**Ilustración 26:** Secado y calcinado del suelo de la comuna Paquizhapa mediante la mufla.



**Fuente:** Los Autores,2020.

### **3.3 Fase de análisis de resultados**

#### **3.3.1 Estimación del contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea**

Existen dos tipos de métodos para estimar la biomasa aérea de una determinada plantación o un determinado bosque, los métodos directos o destructivos el cual se basa en cortar y pesar la biomasa de un árbol y los métodos indirectos o no destructivos que se basan en estimar la biomasa mediante ecuaciones o modelos matemáticos calculados por medio de diferentes variables recolectadas en campo (Schlegel, 2001); en este estudio se determinó la biomasa del árbol mediante el método no destructivo con el fin de no alterar o afectar la área de estudio.

##### **3.3.1.1 Biomasa aérea**

De acuerdo con (Quinceno & Tangarife, 2013) la biomasa aérea se define como el peso del material vegetal que va desde el suelo hasta la copa del árbol, incluyendo Hojas, ramas, corteza,

fustes, semillas y flores. Con las variables dasométricas recolectadas en el campo (DAP y altura) se calcula la biomasa aérea mediante el uso de la ecuación alométrica desarrollada por Meneses (2017) la cual se basa en diferentes parámetros analizados en el laboratorio a partir del DAP y la altura de cada especie de *Pinus patula*.

Para el cálculo de la biomasa aérea se usa la siguiente ecuación:

$$Bta = B0 + B1 * DAP^2 + B2H + B3 * DAP^2 * H$$

**Donde:**

**Bta**= Biomasa total aérea (kg)

**DAP**= Diámetro a la altura del pecho (cm)

**H**= Altura del árbol (m)

**B0**= 42.89 Parámetro estadístico

**B1**= -0.046 Parámetro estadístico

**B2**= -2.506 Parámetro estadístico

**B3**= 0.018 Parámetro estadístico

### **3.3.1.2 Contenido de carbono en la biomasa aérea**

El carbono total en árboles de *Pinus patula*, está almacenado el 5.07% en el tocón, 78.82 % en el fuste, 7.51 % en las ramas y 8.6 % en el follaje de esta forma la concentración de carbono en este tipo de especie es del 50.31% (Díaz et al., 2007). Para convertir los datos de biomasa a cantidad de carbono se debe multiplicar el valor de la biomasa por el factor 0.5031, el cual estima que aproximadamente el 50.31 % de la biomasa vegetal de una especie de *Pinus patula* corresponde a carbono.

Para calcular el contenido de carbono se emplea la siguiente ecuación alométrica:

$$CC = B * 0.5031$$

**Donde:**

**CC**= Contenido de carbono (ton)

**B**=Biomasa (Kg/ha, t/ha)

### **3.3.2 Estimación del contenido de carbono almacenado en la hojarasca**

Para determinar la cantidad de carbono en la hojarasca se debe conocer el contenido de humedad y la cantidad de biomasa seca; estos contenidos se obtienen a partir del peso fresco y seco de la hojarasca determinados en la etapa de laboratorio.

#### **3.3.2.1 Contenido de humedad**

El contenido de humedad es la cantidad de agua que contiene la biomasa de la hojarasca, y se calcula mediante la ecuación establecida por Serrato Cuevas et. al. (2014) :

$$CH = \frac{(Pfs - Pss)}{Pfs}$$

**Donde:**

**CH**=Contenido de humedad

**Pfs**= Peso Fresco de la submuestra (g)

**Pss**= Peso seco de la submuestra (g)

### 3.3.2.2 Cálculo de la biomasa seca

La biomasa seca hace referencia al peso de la materia orgánica de la hojarasca que está libre de humedad, para determinar la biomasa seca según lo establece Serrato Cuevas et. al. (2014) se utiliza la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{(Pft) - (Pft * CH)}{1000000}$$

**Donde:**

**Y**=biomasa (ton)

**Pft**=Peso fresco total (gr)

**CH**=contenido de humedad

**1000000**= Para transformar a toneladas

### 3.3.2.3 Contenido de carbono en la hojarasca

De acuerdo a Delgadillo & Quechulpa (2016) citado en (Serrato et al., 2014), la mitad de la biomasa seca pertenece a la cantidad de Carbono, por lo tanto una vez que se haya determinada la biomasa seca se multiplica por 0.5 de la siguiente forma:

$$CC = \frac{Y * 0.5}{Tmm}$$

**Donde:**

**CC**= Contenido de carbono (tC/ha)

**Y**=Biomasa (ton)

**Tmm**= Total de metros muestreados (m<sup>2</sup>)

**0.5**= Factor que corresponde al Carbono.

### 3.3.3 Estimación del contenido de carbono almacenado en el suelo

A partir de los parámetros como la densidad aparente, el porcentaje de Materia orgánica y carbono, obtenidos en la etapa de laboratorio se puede determinar el contenido o stock de carbono orgánico en el suelo mediante las siguientes fórmulas:

#### 3.3.3.1 Densidad aparente (DA)

La densidad aparente se puede definir como la masa del suelo por la unidad de volumen, de acuerdo a López (2017) la densidad aparente se determina mediante el método de volumen conocido descrito por MacDicken (1997); y se calcula mediante la siguiente ecuación (Hidalgo, 2011):

$$DA = \frac{PSN}{VCH}$$

**Donde:**

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

**PSN** = Peso seco del suelo dentro del cilindro (g)

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

El volumen del cilindro se calcula mediante la siguiente ecuación (Rügnitz et al., 2009):

$$VCH = \pi * r^2 * h$$

**Donde:**

**VCH** = volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

$\pi$  = 3.14159 26535

**r** = radio del cilindro (cm)

**h** = altura del cilindro (cm)

### 3.3.3.2 Porcentaje de materia orgánica del suelo

El cálculo del porcentaje de materia orgánica se obtiene mediante la diferencia de pesos a diferentes temperaturas obtenidas en el laboratorio, y se aplica la siguiente ecuación (Eyherabide et al., 2014):

$$\% \text{ MO} = \frac{(\text{Peso } 105^{\circ}\text{C} - \text{peso } 360^{\circ}\text{C})}{(\text{Peso a } 105^{\circ}\text{C})} * 100$$

**Donde:**

**% MO** = Porcentaje de materia orgánica (%)

**Peso a 105°C** = Peso del suelo seco

**Peso a 360°C** = Peso del suelo calcinado

**100** = Para transformar el resultado a porcentaje.

### 3.3.3.3 Porcentaje de Carbono Orgánico del suelo

Para estimar el contenido o porcentaje de carbono orgánico a partir del porcentaje de materia orgánica se utiliza el factor de Van Bemmelen (1.724) que resulta (1/0.58=1.724) de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene aproximadamente el 58% de carbono (Vinuesa, 2015), y para su cálculo se emplea la siguiente ecuación (Eyherabide et al., 2014):

$$\% \text{ CO} = \frac{\% \text{ MO}}{1.724}$$

**Donde:**

**% CO** = Porcentaje de carbono orgánico (%)

**% MO** = Porcentaje de materia orgánica (%)

**1.724** = Factor de Van Bemmelen



#### **3.3.3.4 Contenido o stock de Carbono en el suelo**

Para determinar el contenido de carbono en las diferentes superficies o profundidades del suelo se utiliza la siguiente ecuación (López, 2017) :

$$CC = DA * \% CO * P * S$$

**Donde:**

**CC** = Contenido de carbono (tC/ha)

**DA** = Densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>)

**% CO** = Porcentaje de carbono orgánico total (%)

**P** = Profundidad del suelo (cm)

**S** = Superficie o área de estudio (ha)

#### **3.3.4 Estimación del CO<sub>2</sub> almacenado en la biomasa aérea, necromasa y suelo**

Para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado en la biomasa aérea, necromasa y suelo se multiplica los valores obtenidos de carbono por un valor de 3.67, ya que de acuerdo a (Jumbo et al., 2018) una tonelada de carbono equivale al secuestro de 3.67 toneladas de CO<sub>2</sub>, es por ello se usa la siguiente ecuación:

$$CO_2 = CC * 3.67$$

**Donde:**

**CC**= Contenido de Carbono (ton)

**3.67**= Para convertir el contenido de carbono en CO<sub>2</sub>.

### 3.3.5 Estimación del Carbono y CO<sub>2</sub> almacenado por hectárea

Para estimar la cantidad de carbono y CO<sub>2</sub> almacenado por hectárea en la biomasa aérea, necromasa y hojarasca únicamente se debe dividir las cantidades totales de carbono y CO<sub>2</sub> obtenidas en cada estrato por el área muestreada (Romo, 2016).

Para calcular la cantidad de carbono almacenado por hectárea se emplea la siguiente ecuación:

$$C_{th} = \frac{C_t}{A_m}$$

**Donde:**

**C<sub>th</sub>**= Carbono total por hectárea en cada unidad (biomasa aérea, necromasa, suelo) en (ton/ha)

**C<sub>t</sub>**= Carbono total en cada unidad (ton)

**A<sub>m</sub>**= área muestreada (ha)

Para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado por hectárea se aplica la siguiente ecuación:

$$CO_{2th} = \frac{CO_{2t}}{A_m}$$

**Donde:**

**CO<sub>2th</sub>**= CO<sub>2</sub> total por hectárea en cada unidad (biomasa aérea, necromasa, suelo) (ton/ha)

**CO<sub>2t</sub>**= CO<sub>2</sub> total en cada unidad (ton)

**A<sub>m</sub>**= área muestreada (ha)

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Resultados obtenidos en la Biomasa aérea

##### 4.1.1.1 Contenido estimado de carbono en la biomasa aérea

El contenido estimado de carbono almacenado en la biomasa aérea de la comuna Paquizhapa es de 72.02 toneladas de carbono, este contenido se encontró en 1616 especies analizadas y en un área evaluada de 12000 metros cuadrados; la cantidad total de carbono está distribuida en 30 parcelas de acuerdo a la **Tabla 17**.

**Tabla 17:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en la biomasa aérea de la comuna Paquizhapa.

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>TP (m<sup>2</sup>)</b>	<b>NP</b>	<b>PDAP (m)</b>	<b>PH (m)</b>	<b>Bta (ton)</b>	<b>CC (ton)</b>
Parcela 1	400	42	0,29	13,42	8,881	4,468
Parcela 2	400	44	0,12	4,44	1,901	0,957
Parcela 3	400	39	0,10	4,35	1,537	0,773
Parcela 4	400	42	0,28	17,10	11,443	5,757
Parcela 5	400	31	0,20	8,40	2,502	1,259
Parcela 6	400	93	0,05	4,08	3,215	1,617
Parcela 7	400	119	0,12	10,05	5,500	2,767
Parcela 8	400	29	0,26	10,01	4,279	2,153
Parcela 9	400	70	0,21	12,26	9,127	4,592
Parcela 10	400	12	0,29	14,07	3,117	1,568
Parcela 11	400	40	0,28	15,72	8,457	4,255
Parcela 12	400	62	0,05	3,92	2,174	1,094
Parcela 13	400	86	0,09	9,28	3,088	1,554
Parcela 14	400	53	0,07	5,21	1,790	0,900
Parcela 15	400	32	0,21	12,14	3,484	1,753

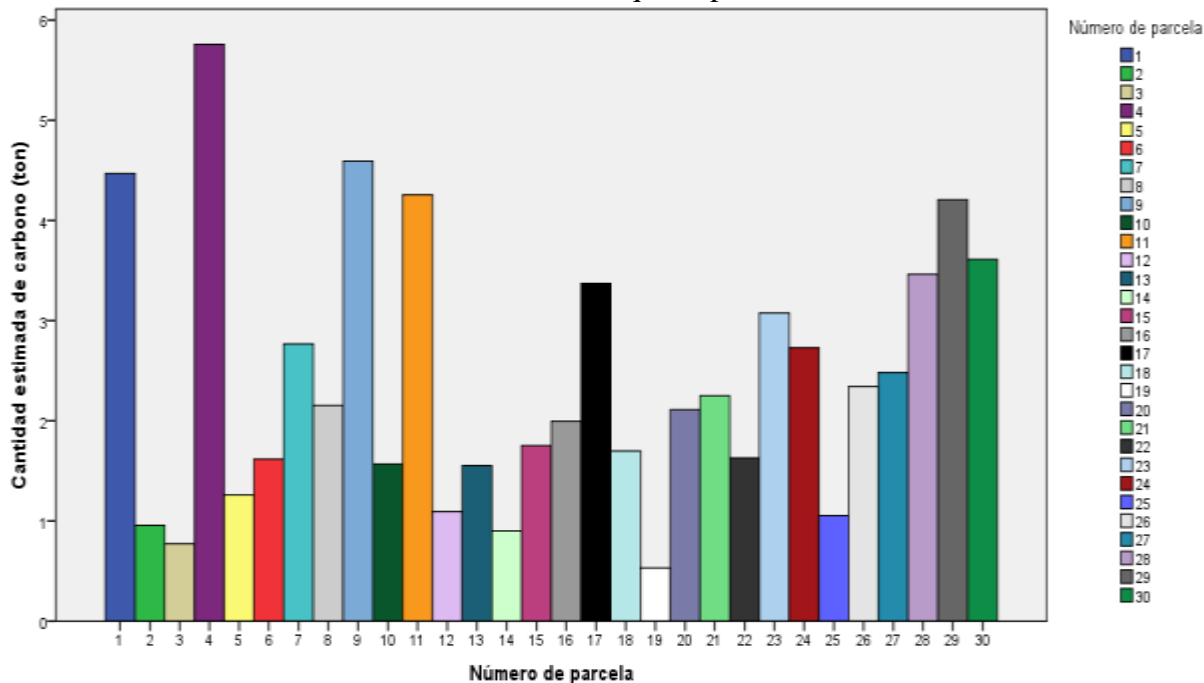
Parcela 16	400	117	0,09	10,32	3,965	1,995
Parcela 17	400	42	0,21	11,59	6,701	3,371
Parcela 18	400	96	0,09	6,05	3,377	1,699
Parcela 19	400	16	0,17	8,27	1,055	0,531
Parcela 20	400	41	0,18	10,09	4,197	2,111
Parcela 21	400	42	0,20	12,54	4,472	2,250
Parcela 22	400	54	0,10	5,96	3,237	1,628
Parcela 23	400	93	0,15	10,64	6,113	3,076
Parcela 24	400	31	0,22	12,78	5,425	2,729
Parcela 25	400	54	0,08	4,94	2,093	1,053
Parcela 26	400	75	0,14	6,74	4,656	2,343
Parcela 27	400	28	0,28	13,45	4,932	2,481
Parcela 28	400	41	0,26	14,79	6,883	3,463
Parcela 29	400	46	0,26	14,39	8,363	4,208
Parcela 30	400	46	0,24	14,69	7,179	3,612
<b>Total</b>	12000	1616			143,14	72,016

**TP**= Tamaño de la parcela, **NP**=Número de plantas por parcela, **PDAP**= Promedio de DAP, **PH**= Promedio de altura, **Bta**= Biomasa total aérea, **CC**= Contenido de carbono.

**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Ilustración 27** y la **Tabla 17**, la mayor cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea se encuentra en la parcela número 4 con un total de 5.76 ton, en cambio la parcela número 19 es la que menor cantidad de carbono almacena con un total 0.53 ton de carbono; las cantidades estimadas de carbono en cada parcela varían en función de la biomasa presente en la parte arbolea, es decir a mayor presencia de biomasa en una parcela existe una mayor retención de carbono.

**Ilustración 27:** Contenido estimado de carbono en la biomasa aérea en cada parcela analizada de la comuna Paquizhapa.



Fuente: Los Autores,2020.

#### 4.1.1.2 Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en la biomasa aérea

En base a los diferentes datos obtenidos en la fase de campo indicados en la **Tabla 18**, la cantidad estimada de CO<sub>2</sub> almacenado en la biomasa aérea de la comuna Paquizhapa es de 264.30 toneladas, esta cantidad se encontró en un área evaluada de 12000 metros cuadrados que se encuentra distribuida en 30 parcelas muestreadas.

**Tabla 18:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido de CO<sub>2</sub> en la biomasa aérea de la comuna Paquizhapa.

Sitio de muestreo	TP (m <sup>2</sup> )	NP	PDAP (m)	PH (m)	Bta (ton)	CCO <sub>2</sub> (ton)
Parcela 1	400	42	0,29	13,42	8,881	16,398
Parcela 2	400	44	0,12	4,44	1,901	3,511
Parcela 3	400	39	0,10	4,35	1,537	2,837
Parcela 4	400	42	0,28	17,10	11,443	21,128

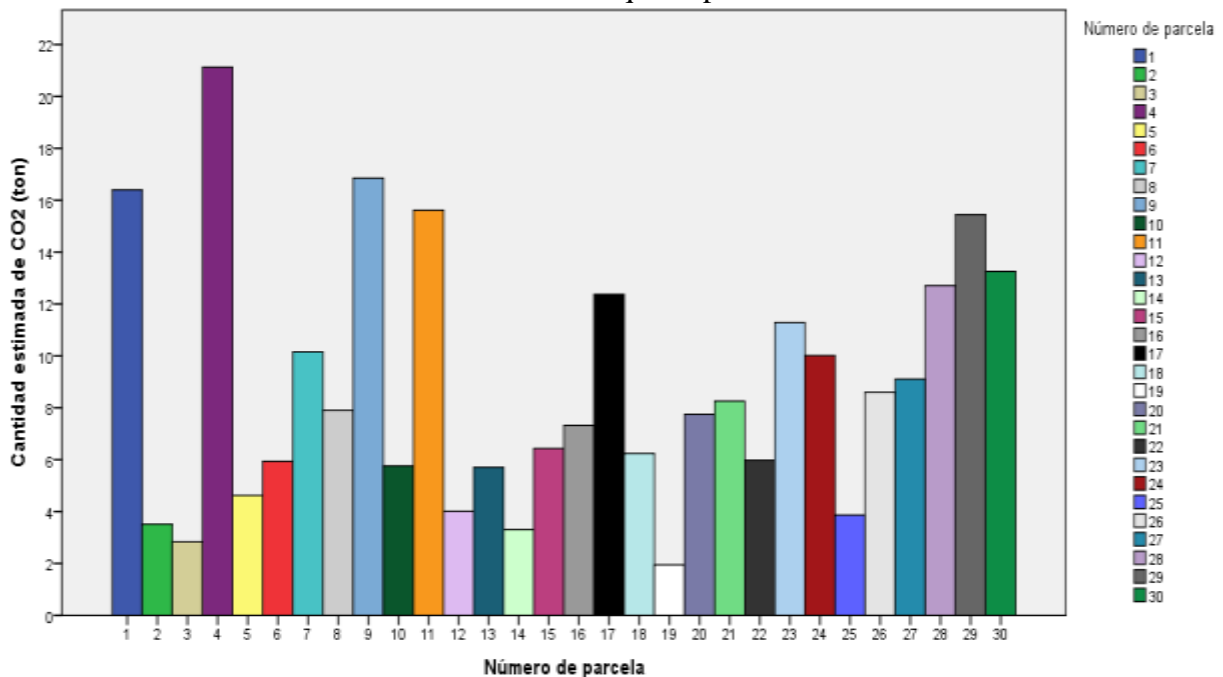
Parcela 5	400	31	0,20	8,40	2,502	4,621
Parcela 6	400	93	0,05	4,08	3,215	5,936
Parcela 7	400	119	0,12	10,05	5,500	10,155
Parcela 8	400	29	0,26	10,01	4,279	7,901
Parcela 9	400	70	0,21	12,26	9,127	16,851
Parcela 10	400	12	0,29	14,07	3,117	5,756
Parcela 11	400	40	0,28	15,72	8,457	15,616
Parcela 12	400	62	0,05	3,92	2,174	4,013
Parcela 13	400	86	0,09	9,28	3,088	5,702
Parcela 14	400	53	0,07	5,21	1,790	3,304
Parcela 15	400	32	0,21	12,14	3,484	6,432
Parcela 16	400	117	0,09	10,32	3,965	7,321
Parcela 17	400	42	0,21	11,59	6,701	12,373
Parcela 18	400	96	0,09	6,05	3,377	6,236
Parcela 19	400	16	0,17	8,27	1,055	1,948
Parcela 20	400	41	0,18	10,09	4,197	7,748
Parcela 21	400	42	0,20	12,54	4,472	8,257
Parcela 22	400	54	0,10	5,96	3,237	5,976
Parcela 23	400	93	0,15	10,64	6,113	11,287
Parcela 24	400	31	0,22	12,78	5,425	10,017
Parcela 25	400	54	0,08	4,94	2,093	3,864
Parcela 26	400	75	0,14	6,74	4,656	8,597
Parcela 27	400	28	0,28	13,45	4,932	9,107
Parcela 28	400	41	0,26	14,79	6,883	12,708
Parcela 29	400	46	0,26	14,39	8,363	15,442
Parcela 30	400	46	0,24	14,69	7,179	13,255
<b>Total</b>	12000	1616			143,144	264,2985

**TP=** Tamaño de la parcela, **NP=**Número de plantas por parcela, **PDAP=** Promedio de DAP, **PH=** Promedio de altura, **Bta=** Biomasa total aérea, **CCO<sub>2</sub>=** Contenido de CO<sub>2</sub>.

**Fuente:** Los Autores,2020.

Según la **Ilustración 28** y la **Tabla 18**, la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado en la biomasa aérea se encuentra en la parcela número 4 con un total de 21.13 toneladas, en cambio la parcela que menor cantidad almacena es la número 19 con un total de 1.95 toneladas; la variabilidad de las cantidades de CO<sub>2</sub> encontrados en las diferentes parcelas se debe a las grandes diferencias de Carbono almacenado en cada una de ellas.

**Ilustración 28:** Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en la biomasa aérea de cada parcela analizada de la comuna Paquizhapa.

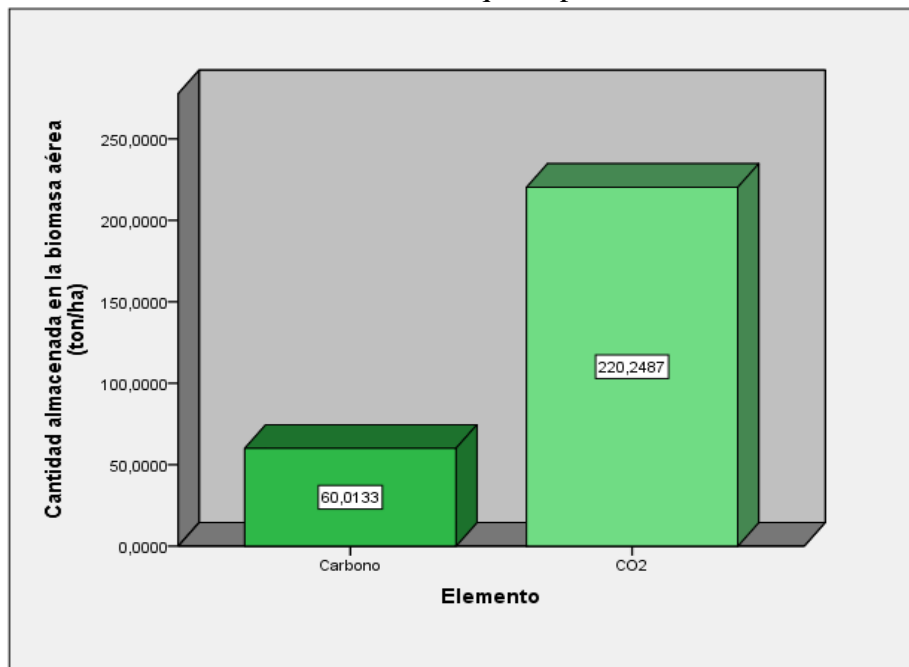


**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 4.1.1.3 Contenido estimado de carbono y CO<sub>2</sub> por hectárea en la biomasa aérea

Para determinar la cantidad de carbono y CO<sub>2</sub> por hectárea se utilizó todos los valores calculados de carbono y CO<sub>2</sub> a partir de las 30 parcelas analizadas, estas cantidades totales se dividen por el área muestreada de acuerdo a las fórmulas propuestas en la fase de análisis de resultados. La cantidad estimada de Carbono y CO<sub>2</sub> almacenada en la biomasa aérea del bosque de Pino de la comuna Paquizhapa es de 60.01 ton/ha y 220.25 ton/ha respectivamente como se puede visualizar en la **Ilustración 29**.

**Ilustración 29:** Contenido estimado de Carbono y CO<sub>2</sub> por hectárea en la biomasa aérea de la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 4.1.2 Resultados obtenidos en la Hojarasca

##### 4.1.2.1 Contenido estimado de carbono en la hojarasca

El contenido estimado de carbono almacenado en la hojarasca de la comuna Paquizhapa es de 0.032 toneladas en un área evaluada de 90 metros cuadrados, esta cantidad de carbono se encuentra distribuida en las diferentes subparcelas como se indica en la **Tabla 19**, en donde se calculan diferentes parámetros en cada parcela para obtener el contenido total de carbono.

**Tabla 19:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en la hojarasca de la comuna Paquizhapa.

Sitio de muestreo	NS	TS (m <sup>2</sup> )	AM (m <sup>2</sup> )	CH	Y (ton)	CC (ton/m <sup>2</sup> )
Parcela 1	3	1	3	0,09	0,003783	0,001891
Parcela 2	3	1	3	0,09	0,000585	0,000292
Parcela 3	3	1	3	0,08	0,000539	0,000269



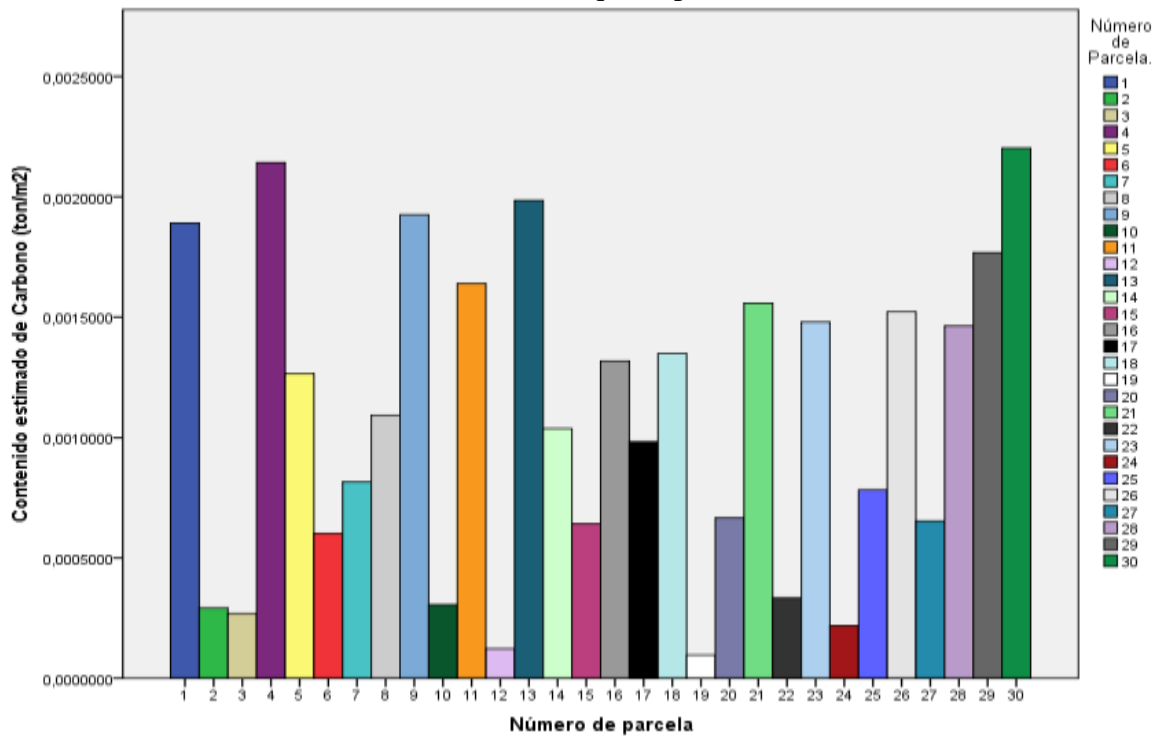
Parcela 4	3	1	3	0,11	0,004284	0,002142
Parcela 5	3	1	3	0,09	0,002532	0,001266
Parcela 6	3	1	3	0,08	0,001205	0,000602
Parcela 7	3	1	3	0,08	0,001632	0,000816
Parcela 8	3	1	3	0,08	0,002187	0,001093
Parcela 9	3	1	3	0,08	0,003851	0,001925
Parcela 10	3	1	3	0,09	0,000613	0,000306
Parcela 11	3	1	3	0,09	0,003280	0,001640
Parcela 12	3	1	3	0,10	0,000247	0,000123
Parcela 13	3	1	3	0,09	0,003969	0,001985
Parcela 14	3	1	3	0,08	0,002075	0,001037
Parcela 15	3	1	3	0,09	0,001285	0,000642
Parcela 16	3	1	3	0,10	0,002635	0,001318
Parcela 17	3	1	3	0,11	0,001966	0,000983
Parcela 18	3	1	3	0,08	0,002698	0,001349
Parcela 19	3	1	3	0,10	0,000195	0,000097
Parcela 20	3	1	3	0,08	0,001334	0,000667
Parcela 21	3	1	3	0,09	0,003117	0,001559
Parcela 22	3	1	3	0,08	0,000668	0,000334
Parcela 23	3	1	3	0,10	0,002959	0,001480
Parcela 24	3	1	3	0,11	0,000439	0,000219
Parcela 25	3	1	3	0,09	0,001565	0,000783
Parcela 26	3	1	3	0,08	0,003044	0,001522
Parcela 27	3	1	3	0,10	0,001307	0,000653
Parcela 28	3	1	3	0,09	0,002928	0,001464
Parcela 29	3	1	3	0,10	0,003537	0,001768
Parcela 30	3	1	3	0,09	0,004404	0,002202
<b>Total</b>	90		90		0,064860	0,032430

NS= Número de subparcelas, TS=Tamaño de la subparcela, Am= Área muestreada, CH= Contenido de humedad, Y= Biomasa, CC= Contenido de carbono.

Fuente: Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Tabla 19** y la **Ilustración 30**, la parcela número 30 es la que mayor cantidad de carbono almacena en la hojarasca con un total de 0.0022 toneladas, en cambio la parcela de menor almacenamiento es la número 19 con un total de 0.000097 toneladas de carbono; la variabilidad de almacenamiento de carbono en la hojarasca de cada parcela varía en función de la biomasa presente en dicha parcela, es decir a mayor cantidad de hojarasca existe una mayor retención de carbono.

**Ilustración 30:** Contenido estimado de carbono en la hojarasca de cada parcela analizada de la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 4.1.2.2 Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en la hojarasca

La cantidad estimada de CO<sub>2</sub> almacenado en la hojarasca de la comuna Paquizhapa es de 0.12 toneladas en un área evaluada de 90 metros cuadrados, esta cantidad se encuentra distribuida en las 30 parcelas analizadas como se indica en la **Tabla 20**.

**Tabla 20:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido de CO<sub>2</sub> en la hojarasca de la comuna Paquizhapa.

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>NS</b>	<b>TS (m<sup>2</sup>)</b>	<b>AM (m<sup>2</sup>)</b>	<b>CH</b>	<b>Y (ton)</b>	<b>CCO<sub>2</sub> (ton/m<sup>2</sup>)</b>
Parcela 1	3	1	3	0,09	0,003783	0,006942
Parcela 2	3	1	3	0,09	0,000585	0,001073
Parcela 3	3	1	3	0,08	0,000539	0,000988
Parcela 4	3	1	3	0,11	0,004284	0,007862
Parcela 5	3	1	3	0,09	0,002532	0,004646
Parcela 6	3	1	3	0,08	0,001205	0,002211
Parcela 7	3	1	3	0,08	0,001632	0,002994
Parcela 8	3	1	3	0,08	0,002187	0,004012
Parcela 9	3	1	3	0,08	0,003851	0,007066
Parcela 10	3	1	3	0,09	0,000613	0,001124
Parcela 11	3	1	3	0,09	0,003280	0,006019
Parcela 12	3	1	3	0,10	0,000247	0,000453
Parcela 13	3	1	3	0,09	0,003969	0,007284
Parcela 14	3	1	3	0,08	0,002075	0,003807
Parcela 15	3	1	3	0,09	0,001285	0,002357
Parcela 16	3	1	3	0,10	0,002635	0,004835
Parcela 17	3	1	3	0,11	0,001966	0,003608
Parcela 18	3	1	3	0,08	0,002698	0,004952
Parcela 19	3	1	3	0,10	0,000195	0,000358
Parcela 20	3	1	3	0,08	0,001334	0,002447
Parcela 21	3	1	3	0,09	0,003117	0,005720
Parcela 22	3	1	3	0,08	0,000668	0,001226
Parcela 23	3	1	3	0,10	0,002959	0,005430
Parcela 24	3	1	3	0,11	0,000439	0,000805
Parcela 25	3	1	3	0,09	0,001565	0,002872
Parcela 26	3	1	3	0,08	0,003044	0,005585
Parcela 27	3	1	3	0,10	0,001307	0,002398

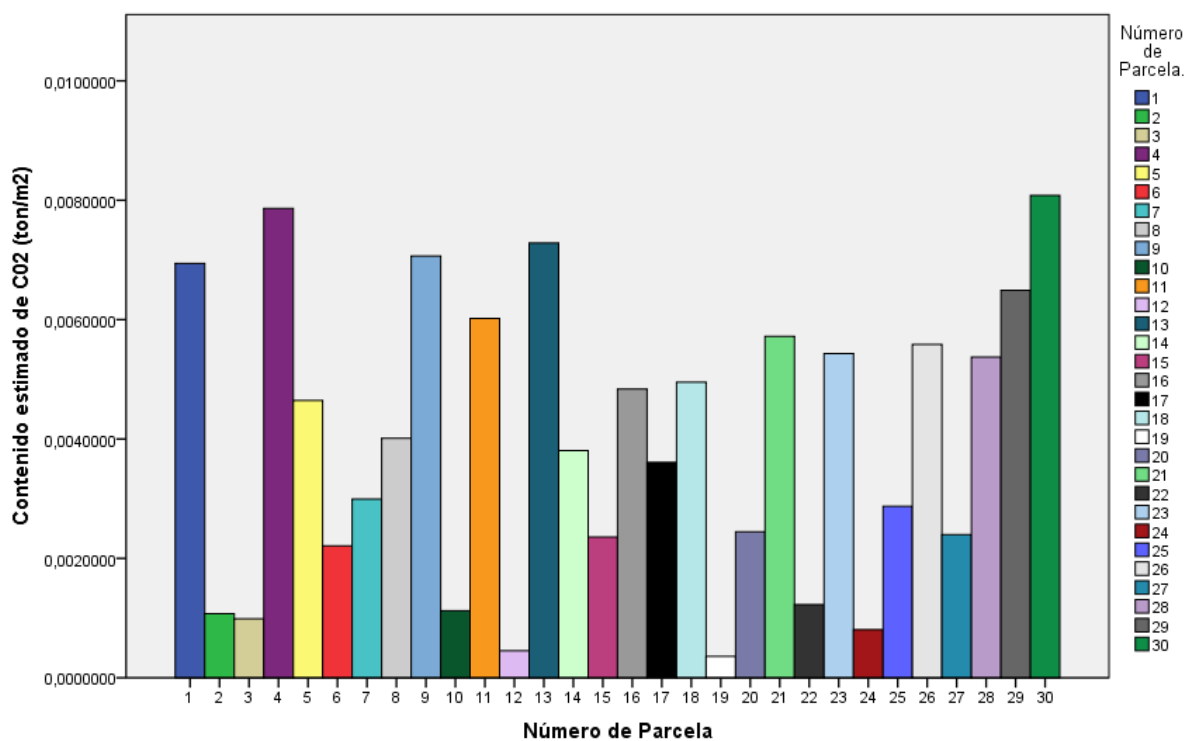
Parcela 28	3	1	3	0,09	0,002928	0,005373
Parcela 29	3	1	3	0,10	0,003537	0,006490
Parcela 30	3	1	3	0,09	0,004404	0,008082
<b>Total</b>					0,064860	0,119019

NS= Número de subparcelas, TS=Tamaño de la subparcela, Am= Área muestreada, CH= Contenido de humedad, Y= Biomasa, CCO<sub>2</sub>= Contenido de CO<sub>2</sub>.

Fuente: Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Tabla 20** y la **Ilustración 31**, la parcela número 30 es la que mayor cantidad de CO<sub>2</sub> almacena en la hojarasca con un total de 0.0080 toneladas, en cambio la parcela de menor almacenamiento es la número 19 con un total de 0.00035 toneladas de CO<sub>2</sub>; la variabilidad de CO<sub>2</sub> almacenado en cada parcela varia en función del carbono almacenado en cada parcela, es decir a mayor cantidad de carbono almacenado en una parcela existe un mayor almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

**Ilustración 31:** Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en la hojarasca en cada parcela muestreada de la comuna Paquizhapa.

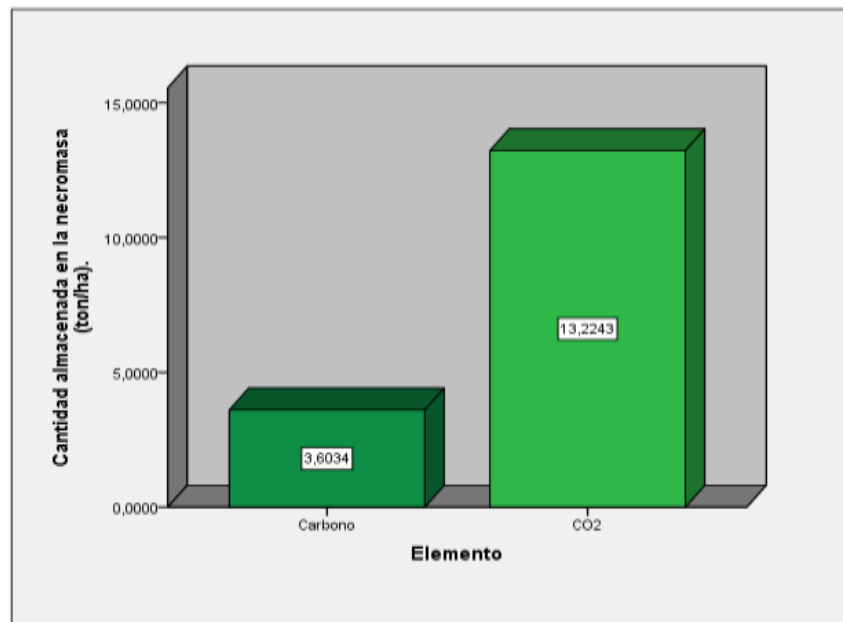


Fuente: Los Autores,2020.

#### 4.1.2.3 Contenido estimado de Carbono y CO<sub>2</sub> por hectárea en la hojarasca

El contenido de carbono y CO<sub>2</sub> almacenado por hectárea en la hojarasca se calcula en función de los datos obtenidos en un área de 90 metros cuadrados a partir de las 30 parcelas analizadas y mediante las fórmulas planteadas en la fase de análisis de datos. La cantidad de Carbono almacenado por hectárea en la hojarasca del bosque de Pino de la comuna Paquizhapa es de 3.60 ton/ha, en cambio la cantidad de CO<sub>2</sub> es de 13.22 ton/ha como se puede plasmar en la **Ilustración 32**.

**Ilustración 32:** Contenido estimado de Carbono y CO<sub>2</sub> por hectárea en la hojarasca de la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 4.1.3 Resultados obtenidos en el Suelo

##### 4.1.3.1 Contenido estimado de carbono en el suelo a 10 cm de profundidad

El contenido estimado de carbono almacenado en el suelo de la comuna Paquizhapa a una profundidad de 10 cm es de 61.35 toneladas en un área evaluada de 12000 metros cuadrados, esta cantidad se obtiene en base a múltiples parámetros recolectados en campo y calculados en el laboratorio como se indica en la **Tabla 21**.

**Tabla 21:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 10 cm de profundidad.

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>P (cm)</b>	<b>Am (ha)</b>	<b>DA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MO (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>CC (ton)</b>
Parcela 1	10	0,04	1,02	6,4	3,7	1,50834
Parcela 2	10	0,04	1,10	8,0	4,6	2,03273
Parcela 3	10	0,04	0,90	5,9	3,4	1,23491
Parcela 4	10	0,04	0,80	7,4	4,3	1,36885
Parcela 5	10	0,04	0,70	19,6	11,4	3,19078
Parcela 6	10	0,04	0,91	12,6	7,3	2,66994
Parcela 7	10	0,04	0,70	21,8	12,6	3,55427
Parcela 8	10	0,04	0,71	21,2	12,3	3,51172
Parcela 9	10	0,04	0,94	7,4	4,3	1,62779
Parcela 10	10	0,04	0,84	5,1	2,9	0,99318
Parcela 11	10	0,04	0,51	21,9	12,7	2,61350
Parcela 12	10	0,04	1,21	1,2	0,7	0,32460
Parcela 13	10	0,04	0,71	14,3	8,3	2,36993
Parcela 14	10	0,04	0,87	8,3	4,8	1,68114
Parcela 15	10	0,04	1,06	16,6	9,7	4,10087
Parcela 16	10	0,04	0,44	16,4	9,5	1,68832
Parcela 17	10	0,04	0,51	22,6	13,1	2,68656
Parcela 18	10	0,04	1,05	6,4	3,7	1,56304
Parcela 19	10	0,04	1,04	12,6	7,3	3,03569
Parcela 20	10	0,04	0,69	8,0	4,6	1,27646
Parcela 21	10	0,04	0,76	9,7	5,6	1,72210
Parcela 22	10	0,04	0,84	12,4	7,2	2,41705
Parcela 23	10	0,04	0,42	21,8	12,7	2,13266
Parcela 24	10	0,04	0,95	9,1	5,3	2,01307
Parcela 25	10	0,04	0,96	9,8	5,7	2,18132
Parcela 26	10	0,04	0,77	11,1	6,5	1,98804
Parcela 27	10	0,04	0,99	7,1	4,1	1,64429

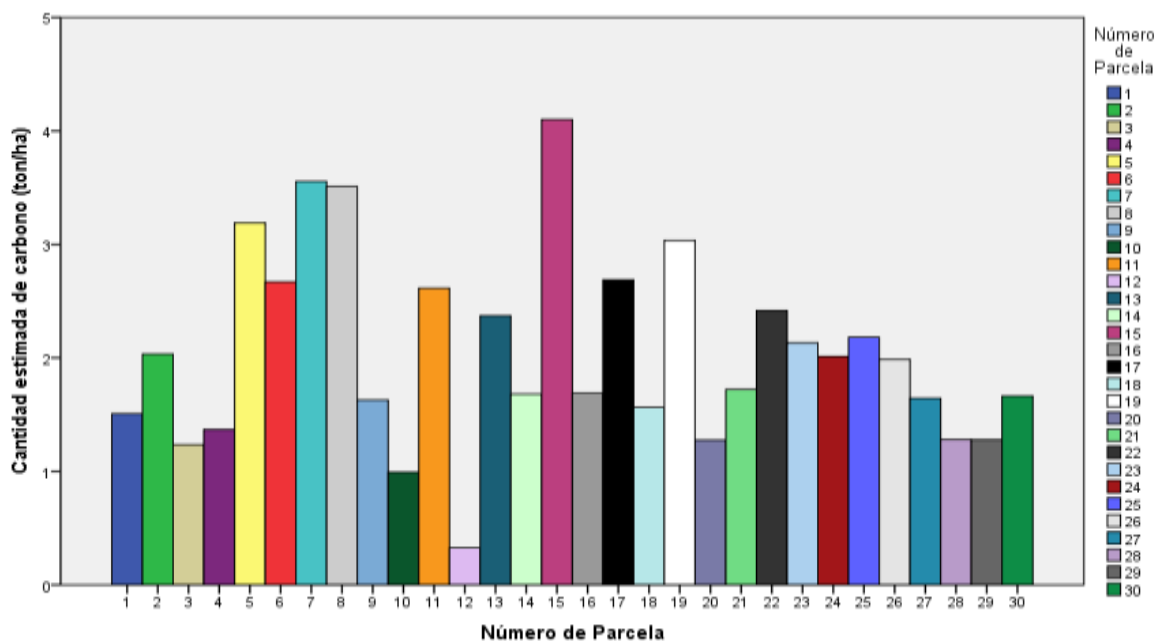
Parcela 28	10	0,04	0,57	9,7	5,7	1,28060
Parcela 29	10	0,04	0,45	12,4	7,2	1,27869
Parcela 30	10	0,04	0,80	8,9	5,2	1,66233
<b>Total</b>		1,2				61,35275

**P**= Profundidad de muestreo, **Am**=Área muestreada, **DA**= Densidad aparente, **MO**=Porcentaje de materia orgánica, **CO**= Porcentaje de carbono Orgánico, **CC**= Contenido de Carbono.

**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Tabla 21** y la **Ilustración 33**, la parcela número 15 es la que mayormente almacena carbono en el suelo a una profundidad de 10 cm con un total de 4.10 ton, en cambio la parcela número 12 es la de menor almacenamiento con un total de 0.32 ton. La variación de datos de almacenamiento de carbono en el suelo de cada parcela varían en función del porcentaje de materia orgánica y de la densidad aparente encontrada en cada muestra de suelo, como en este caso en donde predomina la muestra número 15 con un porcentaje intermedio de MO (16.65) y una alto valor de densidad aparente (1.06 g/cm<sup>3</sup>).

**Ilustración 33:** Contenido estimado de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 10 cm de profundidad.



**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 4.1.3.2 Contenido estimado de Carbono en el suelo a 20 cm de profundidad

El contenido estimado de carbono almacenado en el suelo de la comuna Paquizhapa a una profundidad de 20 cm es de 128.34 toneladas en un área evaluada de 12000 metros cuadrados, esta cantidad se obtiene en base a múltiples parámetros recolectados en campo y calculados en el laboratorio como se indica en la **Tabla 22**.

**Tabla 22:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 20 cm de profundidad.

Sitio de muestreo	P (cm)	Am (ha)	DA (g/cm <sup>3</sup> )	MO (%)	CO (%)	CC (ton)
Parcela 1	20	0,04	1,08	5,1	3,0	2,56102
Parcela 2	20	0,04	1,15	8,8	5,1	4,70967
Parcela 3	20	0,04	0,89	8,9	5,1	3,66150
Parcela 4	20	0,04	0,78	7,0	4,1	2,53663
Parcela 5	20	0,04	0,79	23,7	13,8	8,73245
Parcela 6	20	0,04	0,59	15,3	8,9	4,16344
Parcela 7	20	0,04	0,92	16,7	9,7	7,11356
Parcela 8	20	0,04	0,99	18,2	10,6	8,37440
Parcela 9	20	0,04	1,13	7,2	4,2	3,80107
Parcela 10	20	0,04	1,27	3,1	1,8	1,85871
Parcela 11	20	0,04	0,58	14,6	8,5	3,92402
Parcela 12	20	0,04	1,13	1,0	0,6	0,53096
Parcela 13	20	0,04	0,91	10,5	6,1	4,43677
Parcela 14	20	0,04	1,09	6,4	3,7	3,22836
Parcela 15	20	0,04	0,87	12,2	7,1	4,89738
Parcela 16	20	0,04	0,45	17,0	9,9	3,58674
Parcela 17	20	0,04	0,82	15,1	8,8	5,77461
Parcela 18	20	0,04	1,12	9,3	5,4	4,81507
Parcela 19	20	0,04	1,02	14,2	8,2	6,66864
Parcela 20	20	0,04	1,42	3,1	1,8	2,02705



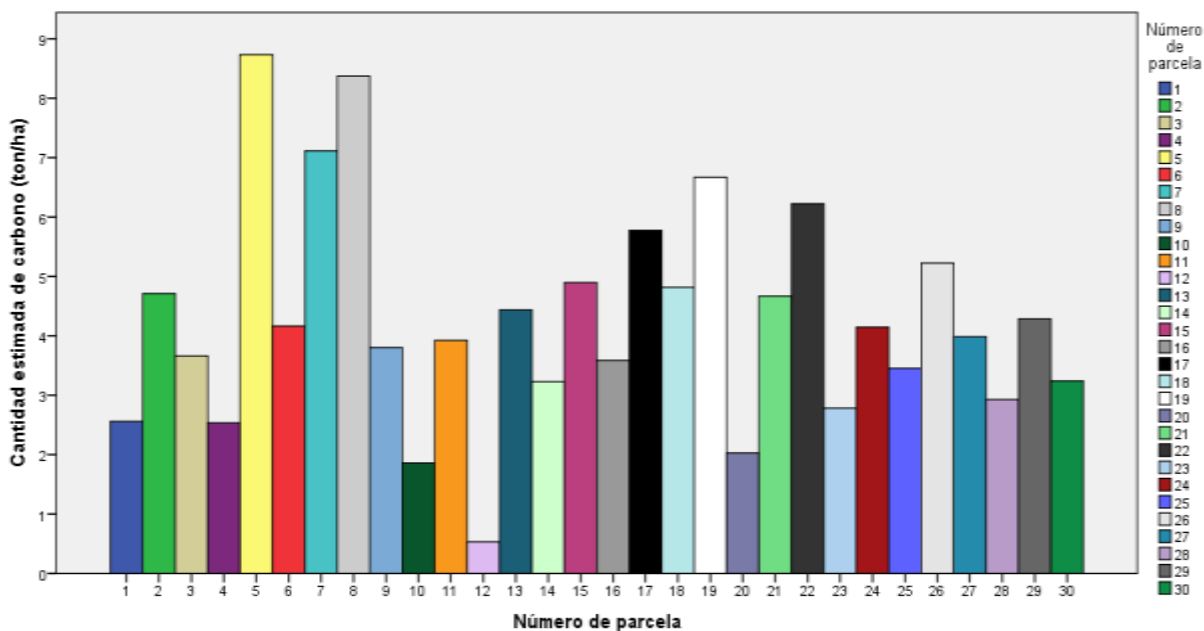
Parcela 21	20	0,04	0,94	10,7	6,2	4,66617
Parcela 22	20	0,04	1,27	10,6	6,1	6,22327
Parcela 23	20	0,04	0,77	7,8	4,5	2,78076
Parcela 24	20	0,04	1,15	7,8	4,5	4,14501
Parcela 25	20	0,04	0,94	7,9	4,6	3,45341
Parcela 26	20	0,04	1,11	10,2	5,9	5,22498
Parcela 27	20	0,04	0,76	11,3	6,5	3,98714
Parcela 28	20	0,04	0,83	7,6	4,4	2,92925
Parcela 29	20	0,04	0,91	10,2	5,9	4,28502
Parcela 30	20	0,04	0,91	7,6	4,4	3,24030
<b>Total</b>		1,2				128,33736

**P**= Profundidad de muestreo, **Am**=Área muestreada, **DA**= Densidad aparente, **MO**=Porcentaje de materia orgánica, **CO**= Porcentaje de carbono Orgánico, **CC**= Contenido de Carbono.

**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Tabla 22** y la **Ilustración 34**, la parcela número 5 es la de mayor almacenamiento de carbono en el suelo a 20 cm de profundidad con un total de 8.73 ton, en cambio la parcela número 12 es la de menor almacenamiento con un total de 0.53 ton. La variación de datos de almacenamiento de carbono en el suelo de cada parcela muestreada cambian en función del porcentaje de materia orgánica y de la densidad aparente encontrada en cada muestra de suelo, como en este caso en donde predomina la muestra número 5 con un una densidad aparente intermedia ( $0.79 \text{ g/cm}^3$ ) y un alto porcentaje de MO (23.71).

**Ilustración 34:** Contenido estimado de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 20 cm de profundidad.



**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 4.1.3.3 Contenido estimado de Carbono en el suelo a 30 cm de profundidad

El contenido estimado de carbono almacenado en el suelo de la comuna Paquizhapa a una profundidad de 30 cm es de 204.79 toneladas en un área evaluada de 12000 metros cuadrados, siendo la profundidad de mayor almacenamiento de carbono, en comparación con los datos obtenidos a 10 y 20 cm de profundidad; el contenido estimado de carbono se obtiene de la misma manera que los calculados a una profundidad de 10 y 20 cm como se indica en la **Tabla 23**.

**Tabla 23:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 30 cm de profundidad.

Sitio de muestreo	P (cm)	Am (ha)	DA (g/cm <sup>3</sup> )	MO (%)	CO (%)	CC (ton)
Parcela 1	30	0,04	1,32	4,6	2,7	4,20147
Parcela 2	30	0,04	1,32	8,4	4,9	7,74893
Parcela 3	30	0,04	1,12	10,8	6,3	8,40259
Parcela 4	30	0,04	0,93	9,3	5,4	6,08025

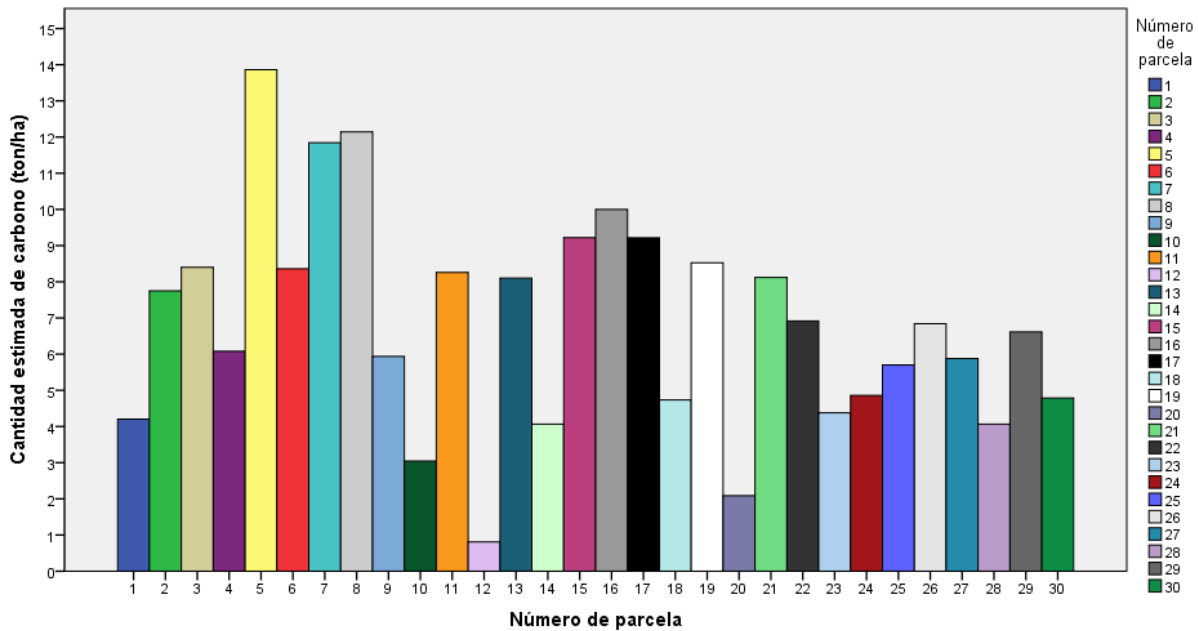
Parcela 5	30	0,04	0,97	20,5	11,9	13,86316
Parcela 6	30	0,04	1,05	11,5	6,7	8,36161
Parcela 7	30	0,04	1,07	15,9	9,2	11,84257
Parcela 8	30	0,04	1,04	16,8	9,7	12,14136
Parcela 9	30	0,04	1,19	7,2	4,2	5,93778
Parcela 10	30	0,04	1,29	3,4	2,0	3,04419
Parcela 11	30	0,04	0,77	15,4	8,9	8,25743
Parcela 12	30	0,04	1,25	0,9	0,5	0,80737
Parcela 13	30	0,04	0,98	11,8	6,9	8,10011
Parcela 14	30	0,04	1,35	4,3	2,5	4,06724
Parcela 15	30	0,04	1,05	12,6	7,3	9,22167
Parcela 16	30	0,04	0,71	20,1	11,7	10,00015
Parcela 17	30	0,04	0,94	14,1	8,2	9,21427
Parcela 18	30	0,04	1,22	5,6	3,2	4,73595
Parcela 19	30	0,04	1,25	9,8	5,7	8,52551
Parcela 20	30	0,04	1,39	2,2	1,2	2,08875
Parcela 21	30	0,04	0,83	14,1	8,2	8,11827
Parcela 22	30	0,04	1,23	8,1	4,7	6,91472
Parcela 23	30	0,04	1,09	5,8	3,4	4,37813
Parcela 24	30	0,04	0,95	7,4	4,3	4,85815
Parcela 25	30	0,04	1,16	7,1	4,1	5,70058
Parcela 26	30	0,04	1,18	8,3	4,8	6,83946
Parcela 27	30	0,04	0,69	12,2	7,1	5,87669
Parcela 28	30	0,04	0,76	7,7	4,5	4,06550
Parcela 29	30	0,04	0,96	9,9	5,8	6,61323
Parcela 30	30	0,04	1,05	6,5	3,8	4,78713
<b>Total</b>		1,2				204,79419

**P**= Profundidad de muestreo, **Am**=Área muestreada, **DA**= Densidad aparente, **MO**=Porcentaje de materia orgánica, **CO**= Porcentaje de carbono Orgánico, **CC**= Contenido de Carbono.

**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Tabla 23** y la **Ilustración 35**; la parcela número 5 es la que mayormente almacena carbono en el suelo a una profundidad de 30 cm con un total de 13.86 ton, en cambio la parcela número 12 es la de menor almacenamiento con un total de 0.81 ton. La variación de datos de almacenamiento de carbono en el suelo de cada parcela muestreada cambian en función del porcentaje de materia orgánica y de la densidad aparente encontrada en cada muestra de suelo, como en este caso en donde predomina la muestra número 5 con una densidad aparente intermedia ( $0.97 \text{ g/cm}^3$ ) y con un alto porcentaje de MO (20.05).

**Ilustración 35:** Contenido estimado de carbono en el suelo de la comuna Paquizhapa a 30 cm de profundidad.



**Fuente:** Los Autores, 2020.

#### 4.1.3.4 Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en el suelo a 10 cm de profundidad

La cantidad estimada de CO<sub>2</sub> almacenada en el suelo a 10 cm de profundidad es de 225.16 toneladas, en un área evaluada de 12000 metros cuadrados en la comuna Paquizhapa; esta cantidad se encuentra distribuida en las 30 parcelas analizadas de acuerdo a la **Tabla 24**.

**Tabla 24:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido CO<sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 10 cm de profundidad.

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>P (cm)</b>	<b>Am (ha)</b>	<b>DA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MO (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>CCO<sub>2</sub> (ton)</b>
Parcela 1	10	0,04	1,02	6,4	3,7	5,53560
Parcela 2	10	0,04	1,10	8,0	4,6	7,46010
Parcela 3	10	0,04	0,90	5,9	3,4	4,53213
Parcela 4	10	0,04	0,80	7,4	4,3	5,02368
Parcela 5	10	0,04	0,70	19,6	11,4	11,71015
Parcela 6	10	0,04	0,91	12,6	7,3	9,79867
Parcela 7	10	0,04	0,70	21,8	12,6	13,04417
Parcela 8	10	0,04	0,71	21,2	12,3	12,88801
Parcela 9	10	0,04	0,94	7,4	4,3	5,97401
Parcela 10	10	0,04	0,84	5,1	2,9	3,64497
Parcela 11	10	0,04	0,51	21,9	12,7	9,59154
Parcela 12	10	0,04	1,21	1,2	0,7	1,19129
Parcela 13	10	0,04	0,71	14,3	8,3	8,69763
Parcela 14	10	0,04	0,87	8,3	4,8	6,16978
Parcela 15	10	0,04	1,06	16,6	9,7	15,05021
Parcela 16	10	0,04	0,44	16,4	9,5	6,19612
Parcela 17	10	0,04	0,51	22,6	13,1	9,85967
Parcela 18	10	0,04	1,05	6,4	3,7	5,73634
Parcela 19	10	0,04	1,04	12,6	7,3	11,14098
Parcela 20	10	0,04	0,69	8,0	4,6	4,68459
Parcela 21	10	0,04	0,76	9,7	5,6	6,32012
Parcela 22	10	0,04	0,84	12,4	7,2	8,87056
Parcela 23	10	0,04	0,42	21,8	12,7	7,82685
Parcela 24	10	0,04	0,95	9,1	5,3	7,38795
Parcela 25	10	0,04	0,96	9,8	5,7	8,00543
Parcela 26	10	0,04	0,77	11,1	6,5	7,29610
Parcela 27	10	0,04	0,99	7,1	4,1	6,03456

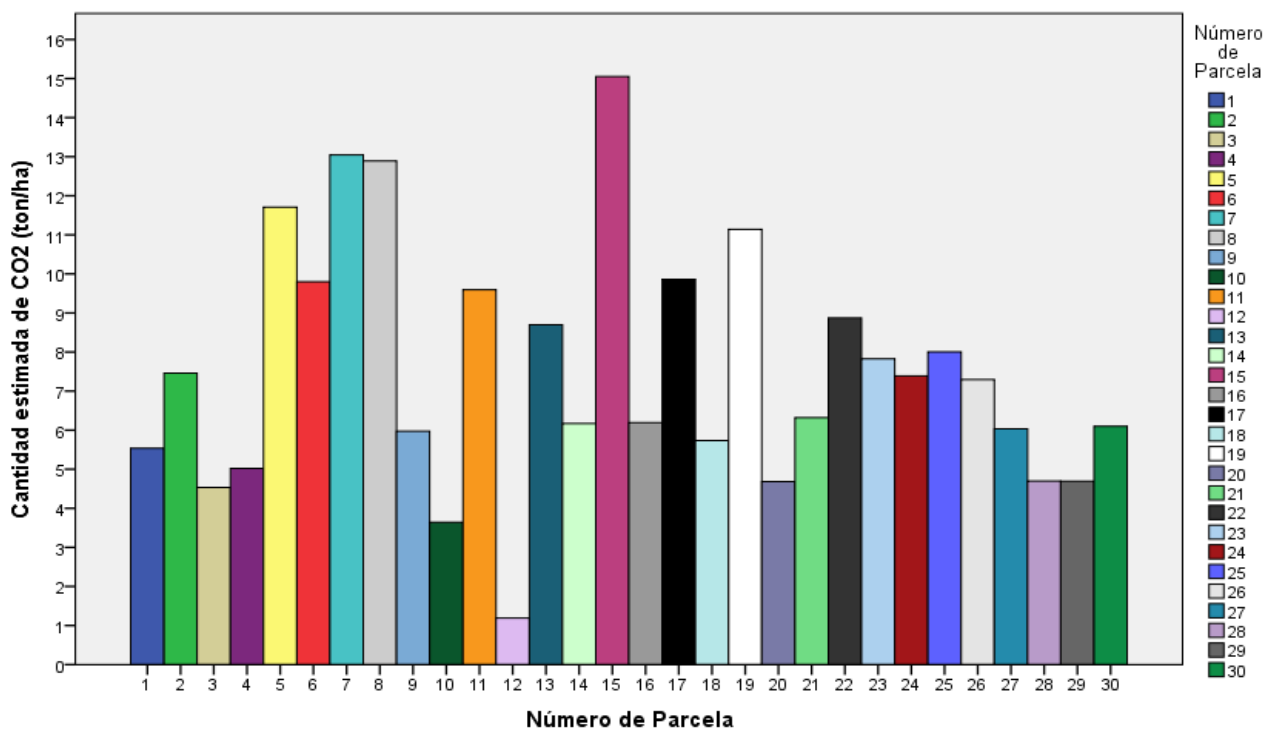
Parcela 28	10	0,04	0,57	9,7	5,7	4,69981
Parcela 29	10	0,04	0,45	12,4	7,2	4,69279
Parcela 30	10	0,04	0,80	8,9	5,2	6,10076
<b>Total</b>		1,2				225,16461

**P**= Profundidad de muestreo, **Am**=Área muestreada, **DA**= Densidad aparente, **MO**=Porcentaje de materia orgánica, **CO**= Porcentaje de carbono Orgánico, **CCO<sub>2</sub>**= Contenido de CO<sub>2</sub>.

**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Tabla 24** y la **Ilustración 36**, la parcela que mayormente almacenada CO<sub>2</sub> en el suelo a 10 cm de profundidad es la número 15 con un total de 15.05 ton, en cambio la parcela de menor almacenamiento es la número 12 con un total de 1.19 ton. Los valores de CO<sub>2</sub> en el suelo varían en función de la cantidad de carbono almacenado en dicho suelo, es decir a mayor cantidad de carbono en el suelo existe una mayor retención de CO<sub>2</sub>.

**Ilustración 36:** Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 10 cm de profundidad.



**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 4.1.3.5 Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en el suelo a 20 cm de profundidad

La cantidad estimada de CO<sub>2</sub> almacenada en el suelo a 20 cm de profundidad es de 471.10 toneladas, en un área evaluada de 12000 metros cuadrados en la comuna Paquizhapa; esta cantidad se encuentra distribuida en las 30 parcelas analizadas de acuerdo a la **Tabla 25**.

**Tabla 25:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido CO<sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 20 cm de profundidad.

<b>Sitio de muestreo</b>	<b>P (cm)</b>	<b>Am (ha)</b>	<b>DA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MO (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>CCO<sub>2</sub> (ton)</b>
Parcela 1	20	0,04	1,08	5,1	3,0	9,39895
Parcela 2	20	0,04	1,15	8,8	5,1	17,28447
Parcela 3	20	0,04	0,89	8,9	5,1	13,43770
Parcela 4	20	0,04	0,78	7,0	4,1	9,30944
Parcela 5	20	0,04	0,79	23,7	13,8	32,04809
Parcela 6	20	0,04	0,59	15,3	8,9	15,27983
Parcela 7	20	0,04	0,92	16,7	9,7	26,10678
Parcela 8	20	0,04	0,99	18,2	10,6	30,73405
Parcela 9	20	0,04	1,13	7,2	4,2	13,94992
Parcela 10	20	0,04	1,27	3,1	1,8	6,82145
Parcela 11	20	0,04	0,58	14,6	8,5	14,40116
Parcela 12	20	0,04	1,13	1,0	0,6	1,94863
Parcela 13	20	0,04	0,91	10,5	6,1	16,28296
Parcela 14	20	0,04	1,09	6,4	3,7	11,84810
Parcela 15	20	0,04	0,87	12,2	7,1	17,97338
Parcela 16	20	0,04	0,45	17,0	9,9	13,16332
Parcela 17	20	0,04	0,82	15,1	8,8	21,19283
Parcela 18	20	0,04	1,12	9,3	5,4	17,67131
Parcela 19	20	0,04	1,02	14,2	8,2	24,47391
Parcela 20	20	0,04	1,42	3,1	1,8	7,43926
Parcela 21	20	0,04	0,94	10,7	6,2	17,12484
Parcela 22	20	0,04	1,27	10,6	6,1	22,83939

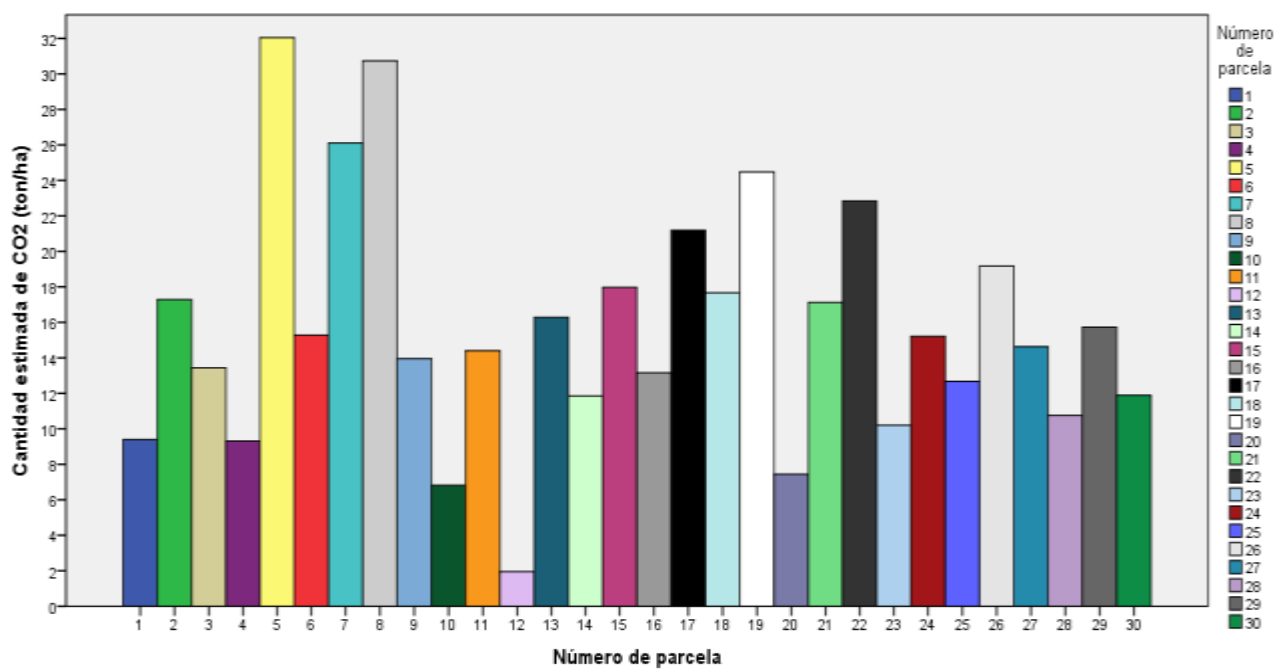
Parcela 23	20	0,04	0,77	7,8	4,5	10,20538
Parcela 24	20	0,04	1,15	7,8	4,5	15,21220
Parcela 25	20	0,04	0,94	7,9	4,6	12,67402
Parcela 26	20	0,04	1,11	10,2	5,9	19,17567
Parcela 27	20	0,04	0,76	11,3	6,5	14,63281
Parcela 28	20	0,04	0,83	7,6	4,4	10,75036
Parcela 29	20	0,04	0,91	10,2	5,9	15,72601
Parcela 30	20	0,04	0,91	7,6	4,4	11,89191
<b>Total</b>		1,2				470,99812

P= Profundidad de muestreo, Am=Área muestreada, DA= Densidad aparente, MO=Porcentaje de materia orgánica, CO= Porcentaje de carbono Orgánico, CCO<sub>2</sub>= Contenido de CO<sub>2</sub>.

Fuente: Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Tabla 25** y la **Ilustración 37**, la parcela que mayormente almacenada CO<sub>2</sub> es la número 5 con un total de 32.05 toneladas, en cambio la parcela de menor almacenamiento es la número 12 con un total de 1.95 ton.

**Ilustración 37:** Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 20 cm de profundidad



Fuente: Los Autores,2020.



#### 4.1.3.6 Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en el suelo a 30 cm de profundidad

La cantidad estimada de CO<sub>2</sub> almacenada en el suelo a 30 cm de profundidad es de 751.59 toneladas en un área evaluada de 12000 metros cuadrados, siendo la profundidad de mayor almacenamiento de CO<sub>2</sub> en la comuna Paquizhapa; la cantidad total de CO<sub>2</sub> se encuentra distribuida en las 30 parcelas analizadas de acuerdo a la **Tabla 26**.

**Tabla 26:** Parámetros obtenidos para determinar el contenido CO<sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 30 cm de profundidad.

Sitio de muestreo	P (cm)	Am (ha)	DA (g/cm <sup>3</sup> )	MO (%)	CO (%)	CCO <sub>2</sub> (ton)
Parcela 1	30	0,04	1,32	4,6	2,7	15,41939
Parcela 2	30	0,04	1,32	8,4	4,9	28,43857
Parcela 3	30	0,04	1,12	10,8	6,3	30,83749
Parcela 4	30	0,04	0,93	9,3	5,4	22,31453
Parcela 5	30	0,04	0,97	20,5	11,9	50,87778
Parcela 6	30	0,04	1,05	11,5	6,7	30,68712
Parcela 7	30	0,04	1,07	15,9	9,2	43,46224
Parcela 8	30	0,04	1,04	16,8	9,7	44,55878
Parcela 9	30	0,04	1,19	7,2	4,2	21,79164
Parcela 10	30	0,04	1,29	3,4	2,0	11,17219
Parcela 11	30	0,04	0,77	15,4	8,9	30,30477
Parcela 12	30	0,04	1,25	0,9	0,5	2,96304
Parcela 13	30	0,04	0,98	11,8	6,9	29,72741
Parcela 14	30	0,04	1,35	4,3	2,5	14,92676
Parcela 15	30	0,04	1,05	12,6	7,3	33,84354
Parcela 16	30	0,04	0,71	20,1	11,7	36,70054
Parcela 17	30	0,04	0,94	14,1	8,2	33,81635
Parcela 18	30	0,04	1,22	5,6	3,2	17,38093
Parcela 19	30	0,04	1,25	9,8	5,7	31,28863
Parcela 20	30	0,04	1,39	2,2	1,2	7,66570

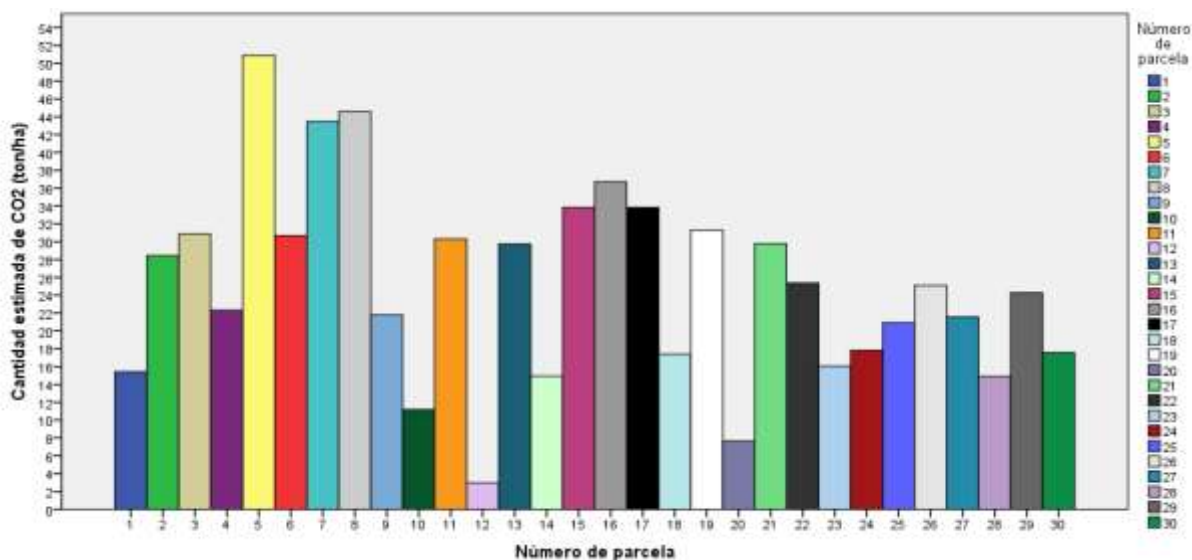
Parcela 21	30	0,04	0,83	14,1	8,2	29,79404
Parcela 22	30	0,04	1,23	8,1	4,7	25,37701
Parcela 23	30	0,04	1,09	5,8	3,4	16,06773
Parcela 24	30	0,04	0,95	7,4	4,3	17,82942
Parcela 25	30	0,04	1,16	7,1	4,1	20,92111
Parcela 26	30	0,04	1,18	8,3	4,8	25,10082
Parcela 27	30	0,04	0,69	12,2	7,1	21,56744
Parcela 28	30	0,04	0,76	7,7	4,5	14,92039
Parcela 29	30	0,04	0,96	9,9	5,8	24,27055
Parcela 30	30	0,04	1,05	6,5	3,8	17,56877
<b>Total</b>		1,2				751,59468

P= Profundidad de muestreo, Am=Área muestreada, DA= Densidad aparente, MO=Porcentaje de materia orgánica, CO= Porcentaje de carbono Orgánico, CCO<sub>2</sub>= Contenido de CO<sub>2</sub>.

**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Tabla 26** y la **Ilustración 38**, la parcela que mayormente almacenada CO<sub>2</sub> es la número 5 con un total de 50.88 ton en cambio la parcela de menor almacenamiento es la número 12 con un total de 2.96 ton.

**Ilustración 38:** Contenido estimado de CO<sub>2</sub> en el suelo de la comuna Paquizhapa a 30 cm de profundidad.

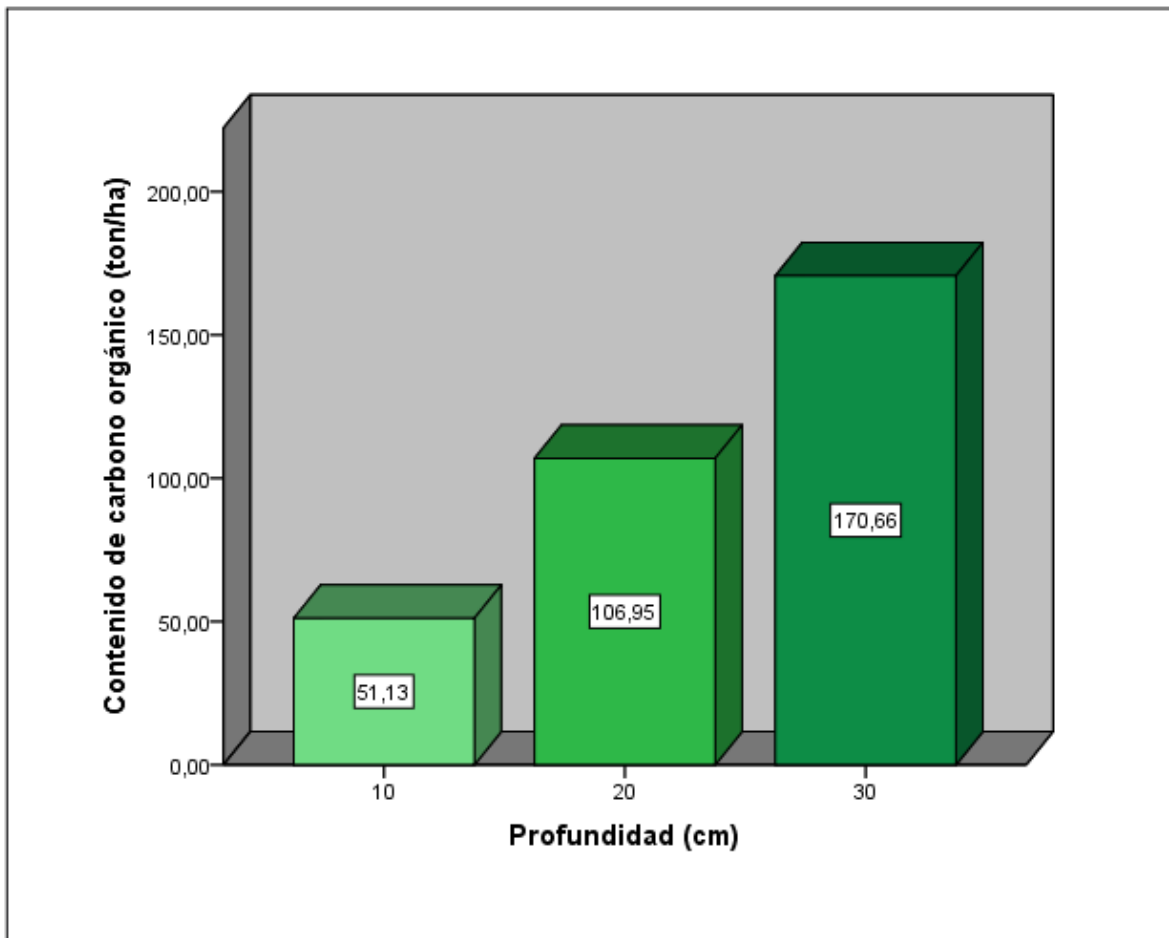


**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 4.1.3.7 Contenido estimado de carbono y CO<sub>2</sub> por hectárea en el suelo

La cantidad estimada de carbono orgánico almacenado por hectárea en el suelo del bosque de Pino de la comuna Paquizhapa es de 328.73 ton/ha (**Ilustración 39**), esta cantidad se encuentra distribuida en diferentes profundidades del suelo, en donde a una profundidad de 0 a 10 cm se encuentra el 15.55% (51.13 ton), de 10 a 20 cm se encuentra el 32.53 % (106.95 ton) y de 20 a 30 cm se encuentra el 51.92 % (170.66 ton/ha); siendo este último rango de profundidad el de mayor almacenamiento de carbono orgánico.

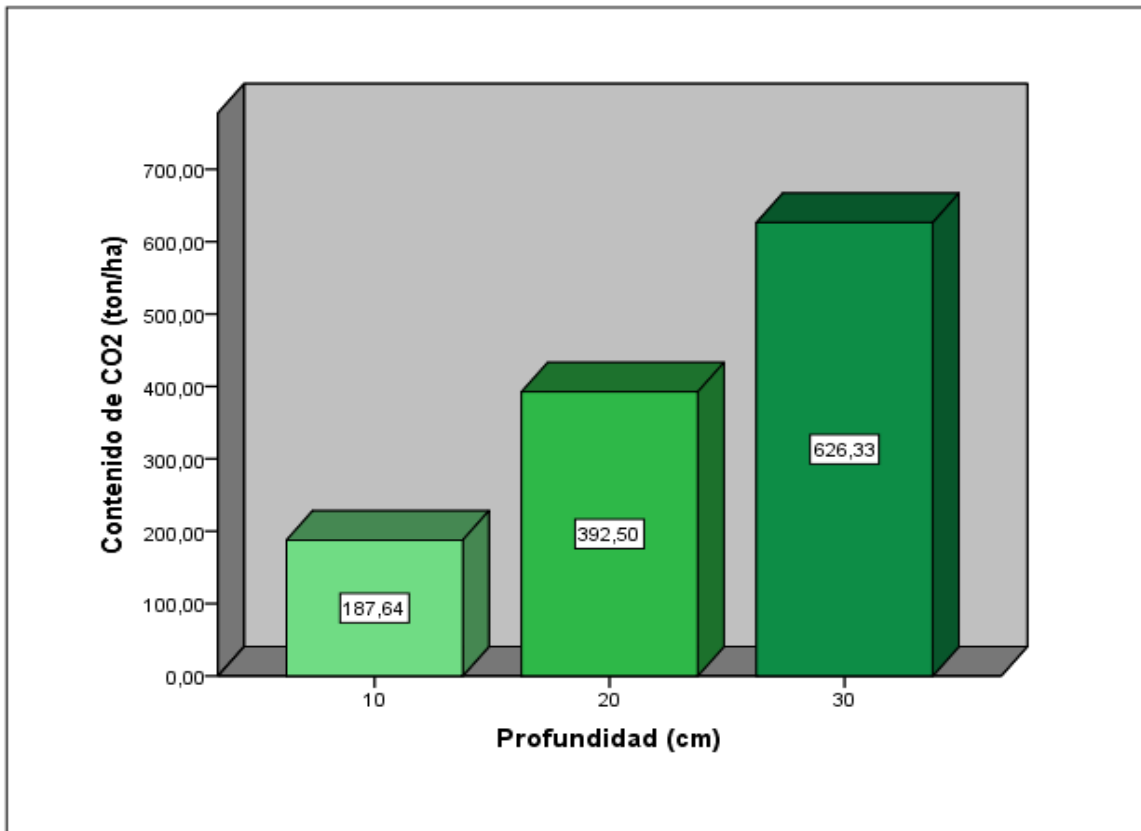
**Ilustración 39:** Contenido estimado de Carbono por hectárea en el suelo de la comuna Paquizhapa.



**Fuente:** Los Autores,2020.

La cantidad estimada de CO<sub>2</sub> almacenada por hectárea en el suelo del bosque de Pino de la comuna Paquizhapa es de 1206.46 ton/ha (**Ilustración 40**), esta cantidad se encuentra almacenada a en diferentes profundidades del suelo, en donde a una profundidad de 0 a 10 cm se encuentra el 15.55% (187.64 ton/ha), de 10 a 20 cm se encuentra el 32.53 % (392.50 ton/ha) y de 20 a 30 cm se encuentra el 51.92 % (626.33 ton/ha) ; al igual que la cantidad de carbono el CO<sub>2</sub> se encuentra mayormente almacenado en una profundidad de 20 a 30 cm.

**Ilustración 40:** Contenido estimado de CO<sub>2</sub> por hectárea en el suelo de la comuna Paquizhapa.

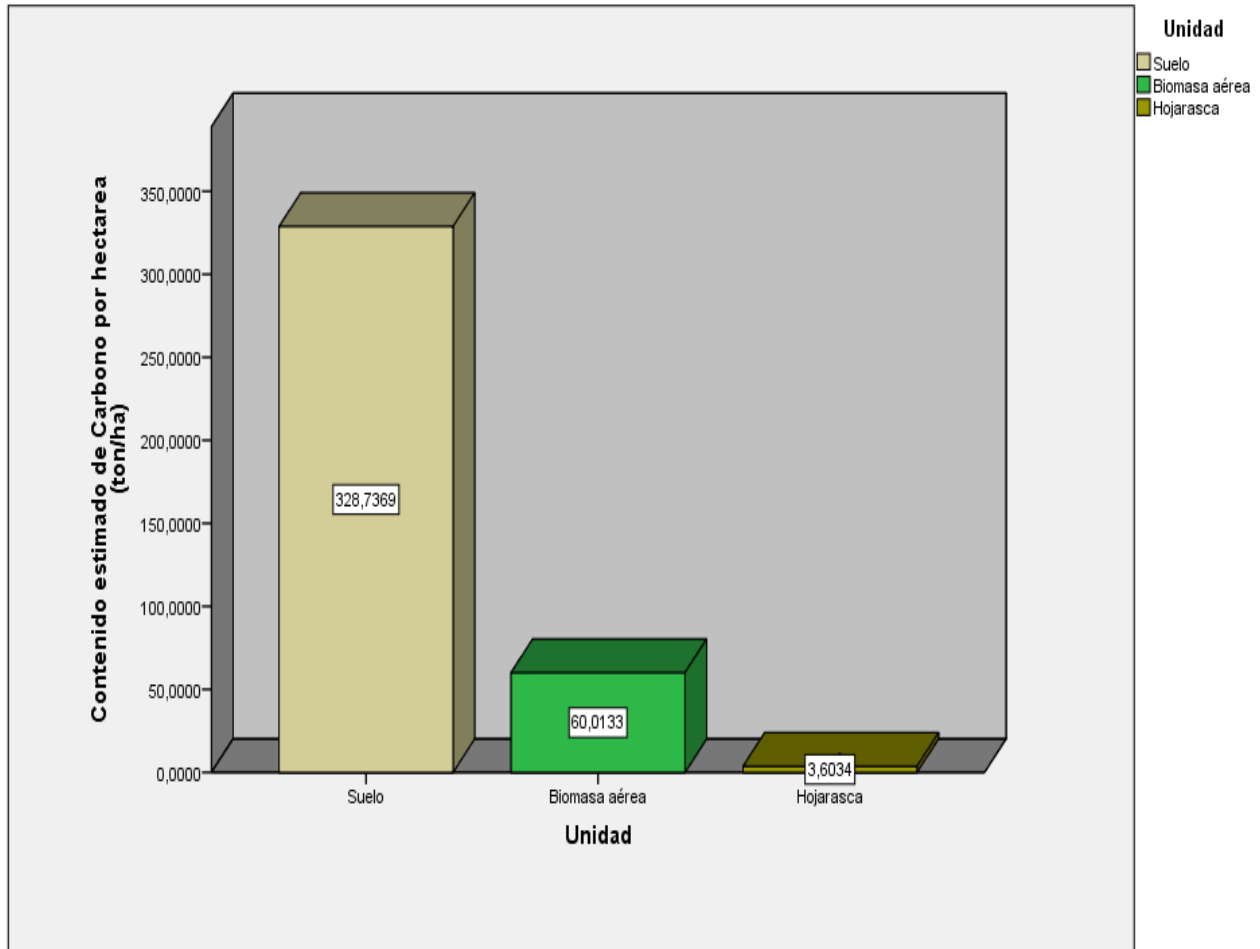


**Fuente:** Los Autores,2020.

#### 4.1.4 Comparación

##### 4.1.4.1 Contenido estimado de Carbono almacenado por hectárea en cada unidad

**Ilustración 41:** Contenido estimado de carbono por hectárea en cada unidad evaluada de la comuna Paquizhapa

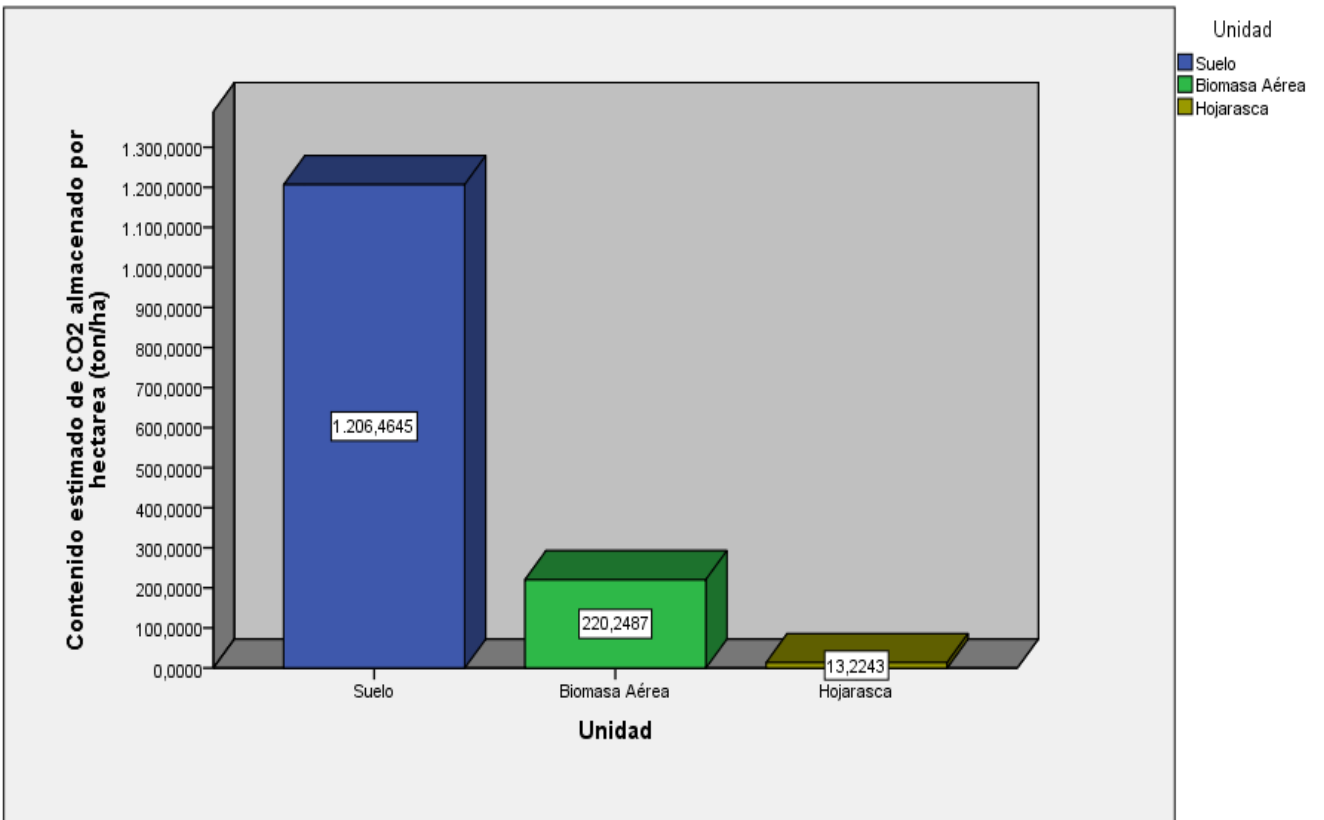


**Fuente:** Los Autores, 2020.

De acuerdo a la **Ilustración 41**, la cantidad estimada de carbono almacenado por hectárea en las tres unidades evaluadas de la comuna Paquizhapa es de 392.35 ton/ha, en donde la mayor cantidad de carbono se encuentra en el suelo con un total de 328.74 ton/ha al contrario, la menor cantidad de carbono se encuentra almacenada en la hojarasca con 3.60 ton/ha, en cambio en la biomasa aérea se encuentra almacenado 60.01 ton/ha de carbono.

#### 4.1.4.2 Contenido estimado de CO<sub>2</sub> almacenado por hectárea en cada unidad

**Ilustración 42:** Contenido estimado de CO<sub>2</sub> por hectárea en cada unidad evaluada de la comuna Paquizhapa



**Fuente:** Los Autores, 2020.

Según la **Ilustración 42**, la cantidad estimada de CO<sub>2</sub> almacenado por hectárea en las tres unidades evaluadas de la comuna Paquizhapa es de 1439.94 ton/ha; al igual que en el almacenamiento de carbono, la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> se encuentra en el suelo con un total de 1206.46 ton/ha, por el contrario, la menor cantidad de CO<sub>2</sub> se encuentra en la hojarasca con 13.22 ton/ha, finalmente en la última unidad de biomasa aérea se encuentra almacenado 220.25 ton/ha de CO<sub>2</sub>.

## 4.2 Análisis descriptivo

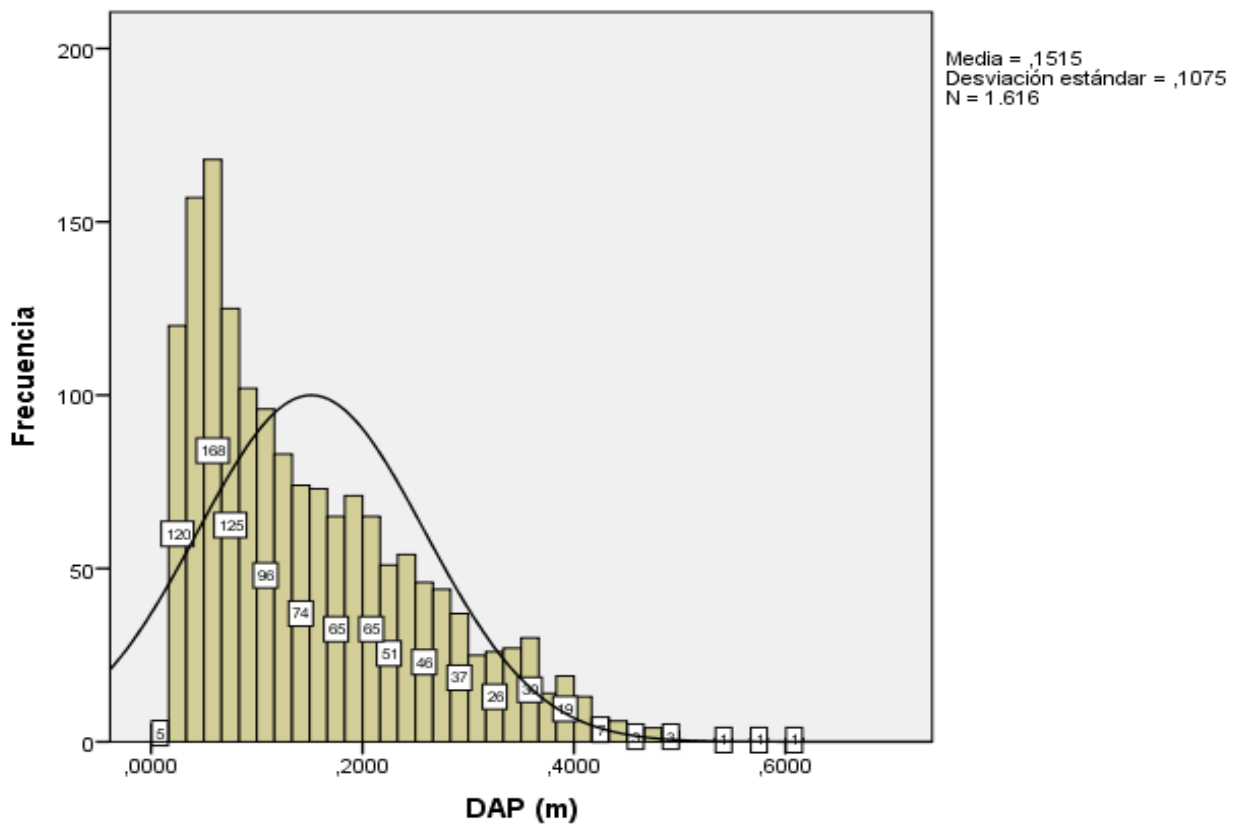
Para realizar el análisis descriptivo de los datos obtenidos en la biomasa aérea, hojarasca y suelo de la comuna Paquizhapa se utiliza el programa estadístico SPSS (Paquete estadístico para las ciencias sociales), en el cual se analizará los datos más relevantes encontrados en esta área de estudio.

### 4.2.1 Análisis descriptivo en la biomasa aérea

#### 4.2.1.1 Histogramas

##### 4.2.1.1.1 Histograma del diámetro a la altura del pecho (DAP)

**Ilustración 43:** Histograma de frecuencias del DAP de las especies arbóreas.

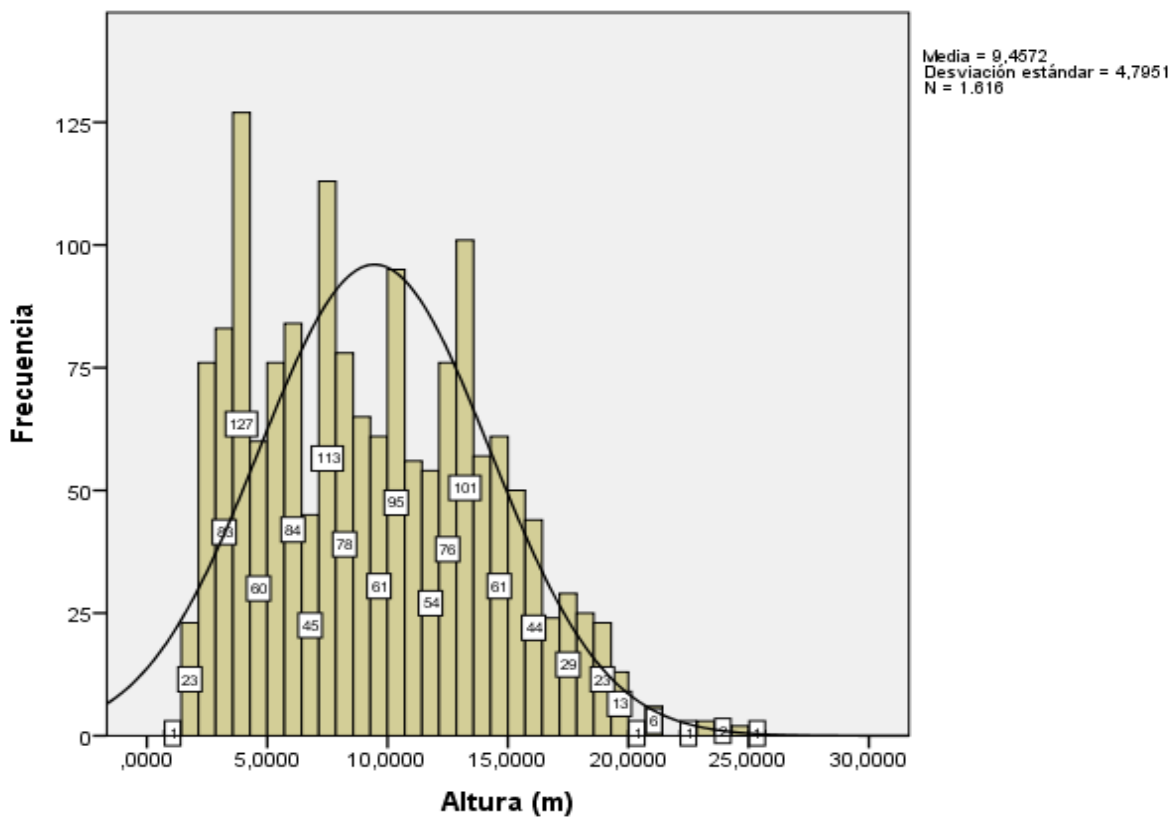


Fuente: Los Autores,2020.

En base al análisis visualizado en la **Ilustración 43**, el valor medio de DAP que tiene una especie de Pino es de 0.15 metros con una desviación estándar de 0.10, una mediana de 0.12 y una moda de 0.64; la mayor conglomeración de especies tiene un DAP entre los rangos de 0 a 0.2 metros, en donde la mayor frecuencia es de 168 especies que representan el 10.39 %.

#### 4.2.1.1.2 Histograma de alturas

**Ilustración 44:** Histograma de frecuencias de alturas de las especies arbóreas.



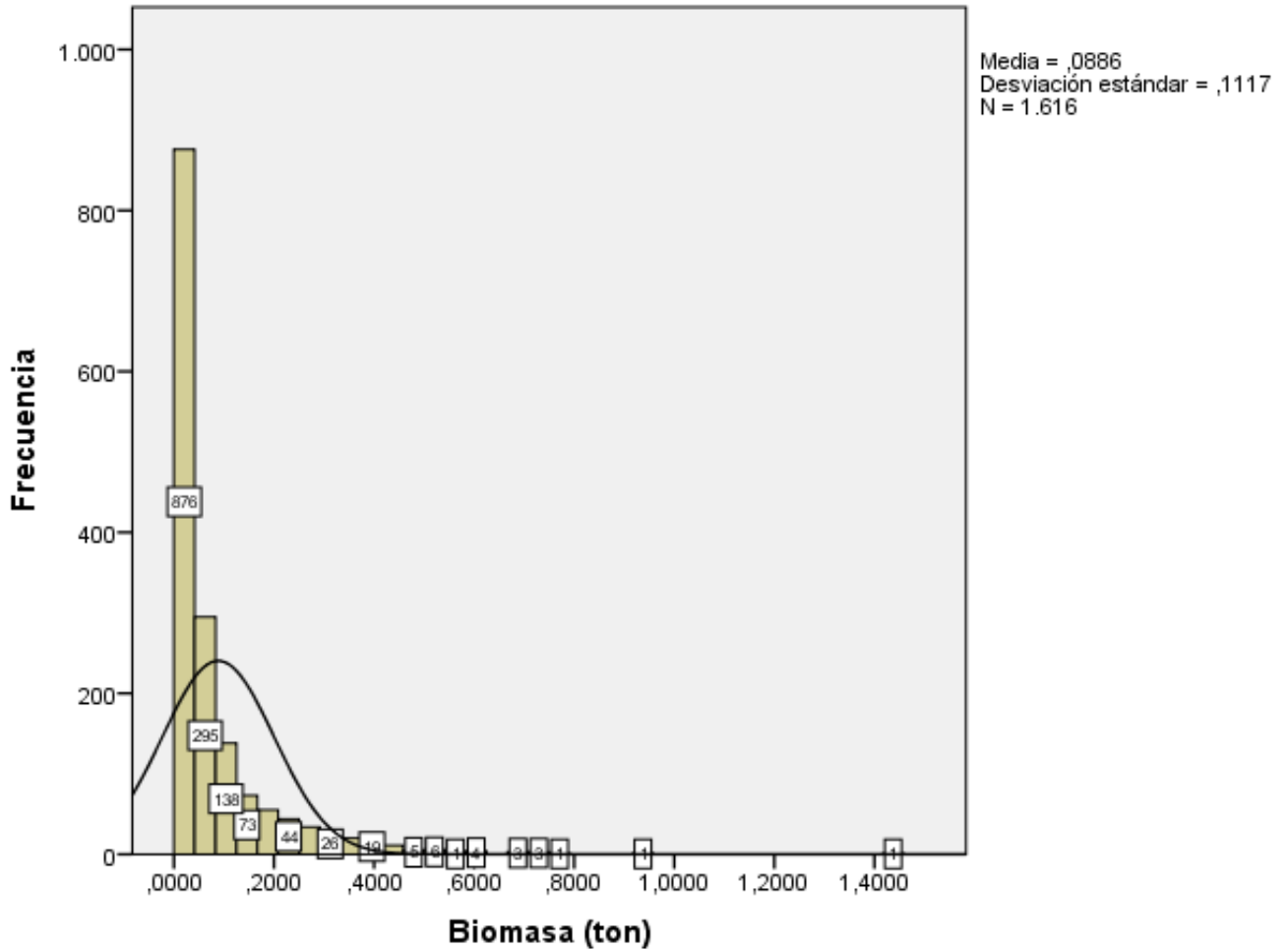
**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo al histograma visualizado en la **Ilustración 44**, el valor medio de la altura de la especie de Pino es de 9.46 metros con una desviación estándar de 4.79, una mediana de 9.20 y una moda de 9.20; la mayor conglomeración de especies tiene una altura entre los rangos de 0 a 5 metros, en donde la mayor frecuencia es de 127 especies que representan el 7.85 %.



### 4.2.1.1.3 Histograma de biomasa

**Ilustración 45:** Histograma de frecuencias de la biomasa de las especies arbóreas.

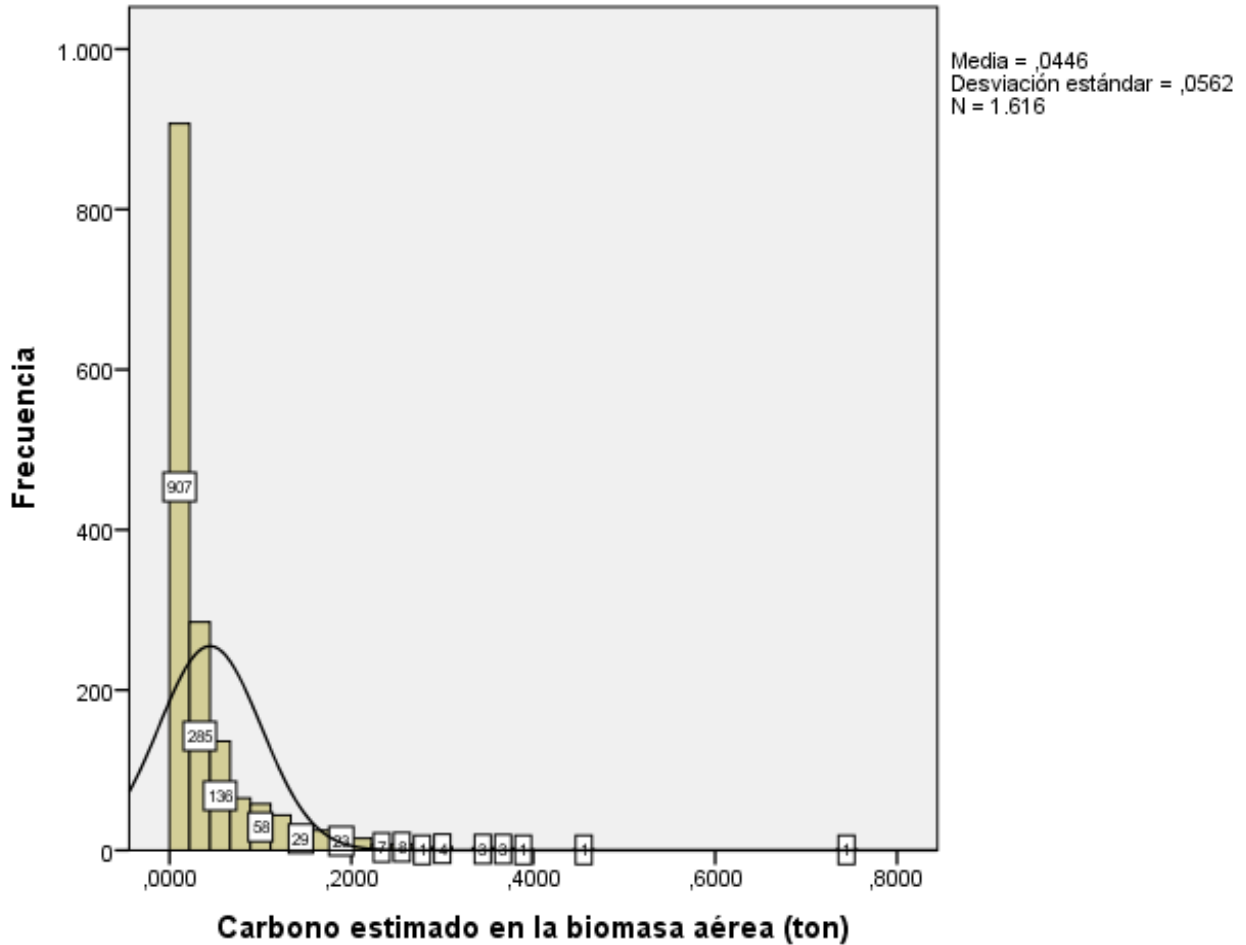


**Fuente:** Los Autores,2020.

Según el histograma (**Ilustración 45**), la cantidad media de biomasa que contiene una especie de *Pinus patula* es de 0.08 ton, con una desviación estándar de 0.11, una mediana de 0.04 y una moda de 0.02; la mayor conglomeración de especies contiene una biomasa entre los rangos de 0 a 0.2 ton, en donde la mayor frecuencia es de 876 especies que representan el 54.21 %.

#### 4.2.1.1.4 Histograma del carbono almacenado

**Ilustración 46:** Histograma de frecuencias del carbono almacenado en las especies arbóreas.

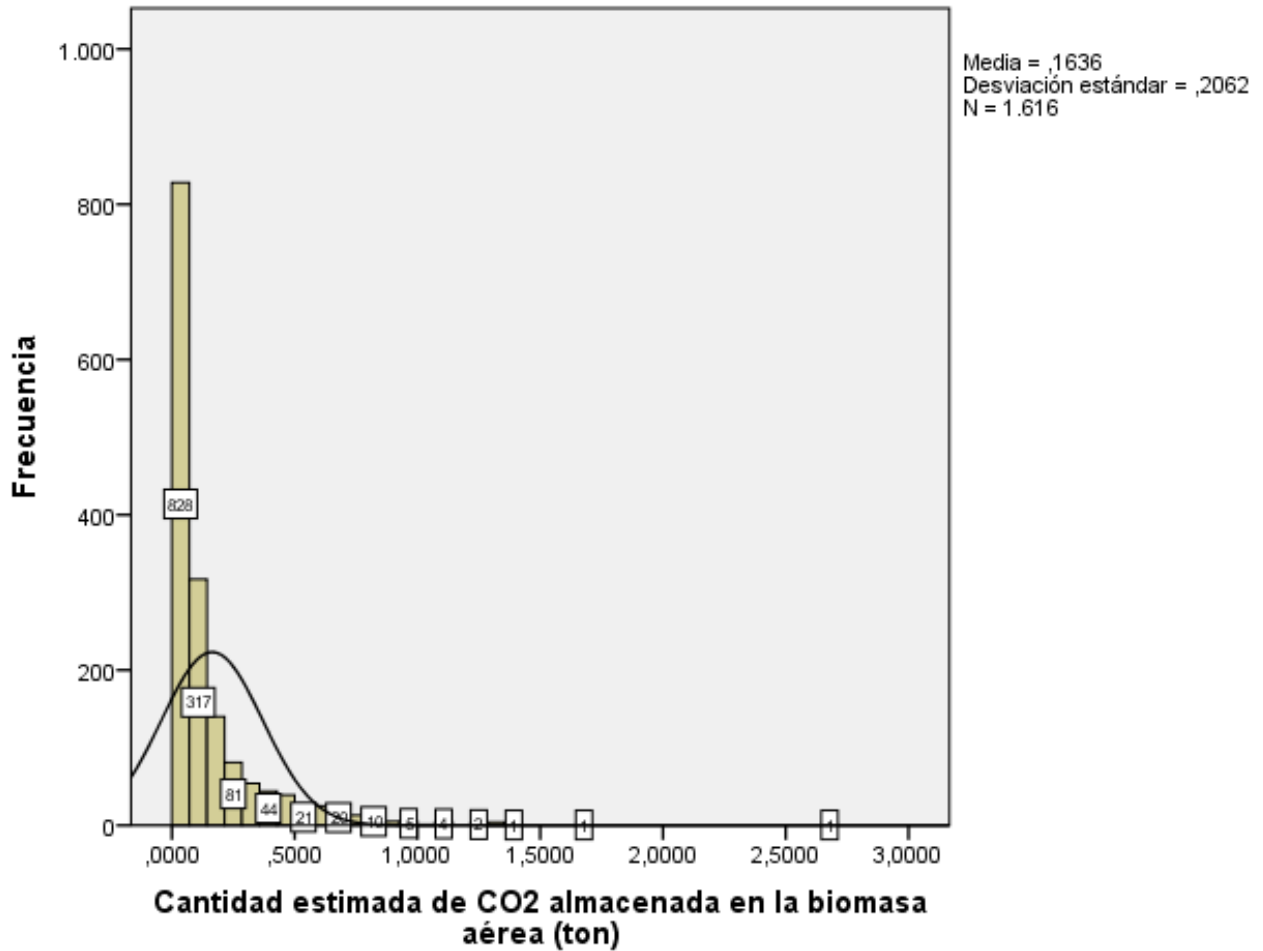


**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Ilustración 46**, la cantidad media de carbono que almacena una especie de *Pinus patula* es de 0.04 ton, con una desviación estándar de 0.06, una mediana de 0.02 y una moda de 0.01; la mayor conglomeración de especies almacenada una cantidad de carbono entre los rangos de 0 a 0.2 ton, en donde la mayor frecuencia es de 907 especies que representan el 56.12 %.

#### 4.2.1.1.5 Histograma del CO<sub>2</sub> almacenado

**Ilustración 47:** Histograma de frecuencias del CO<sub>2</sub> almacenado en las especies arbóreas.



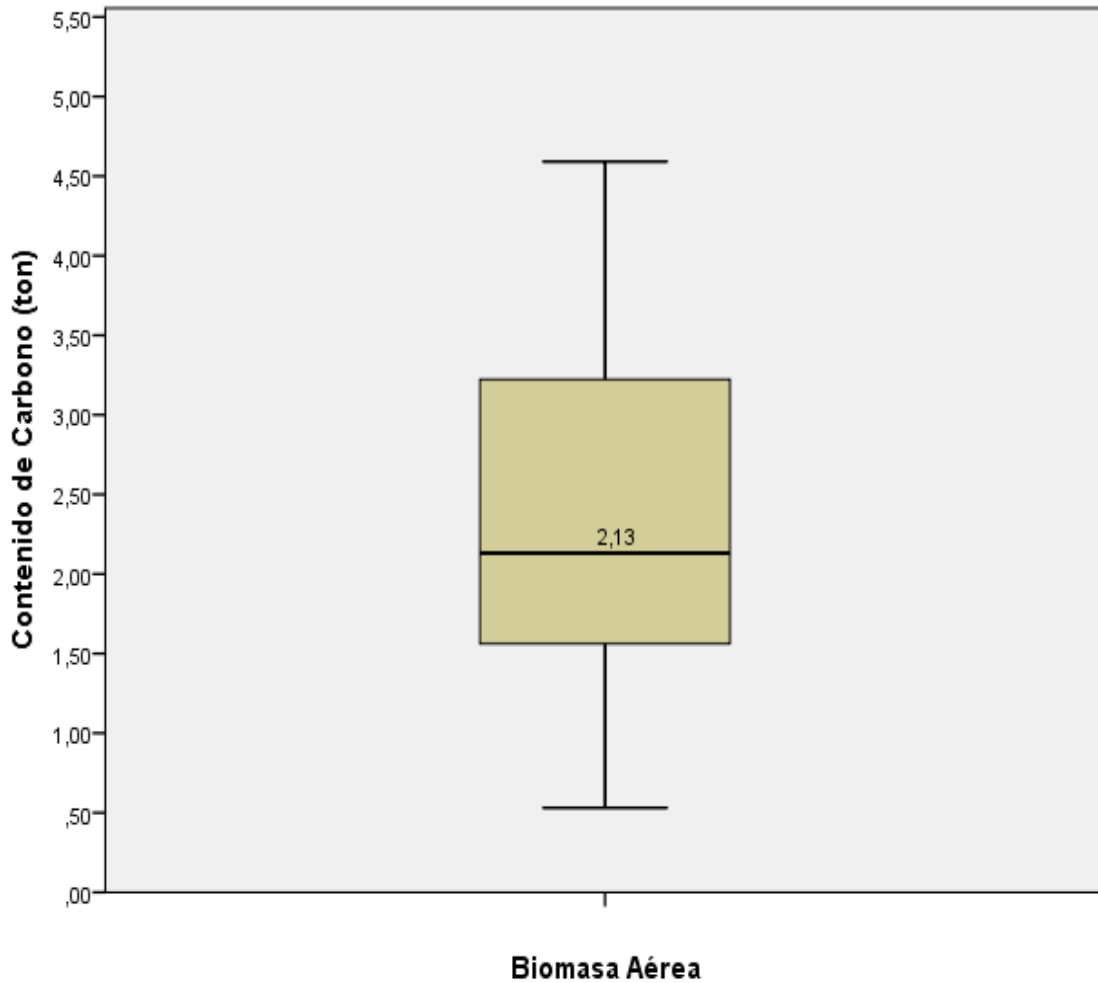
**Fuente:** Los Autores,2020.

Según la **Ilustración 47**, la cantidad media de CO<sub>2</sub> que almacena una especie de *Pinus patula* es de 0.16 ton, con una desviación estándar de 0.21, una mediana de 0.07 y una moda de 0.05; la mayor conglomeración de especies almacenada una cantidad de carbono entre los rangos de 0 a 0.5 ton, en donde la mayor frecuencia es de 828 especies que representan el 51.23 %.

#### 4.2.1.2 Diagramas de caja

##### 4.2.1.2.1 Diagrama de caja del contenido de Carbono almacenado por parcela

**Ilustración 48:** Diagrama de caja del contenido de Carbono por parcela en la biomasa aérea

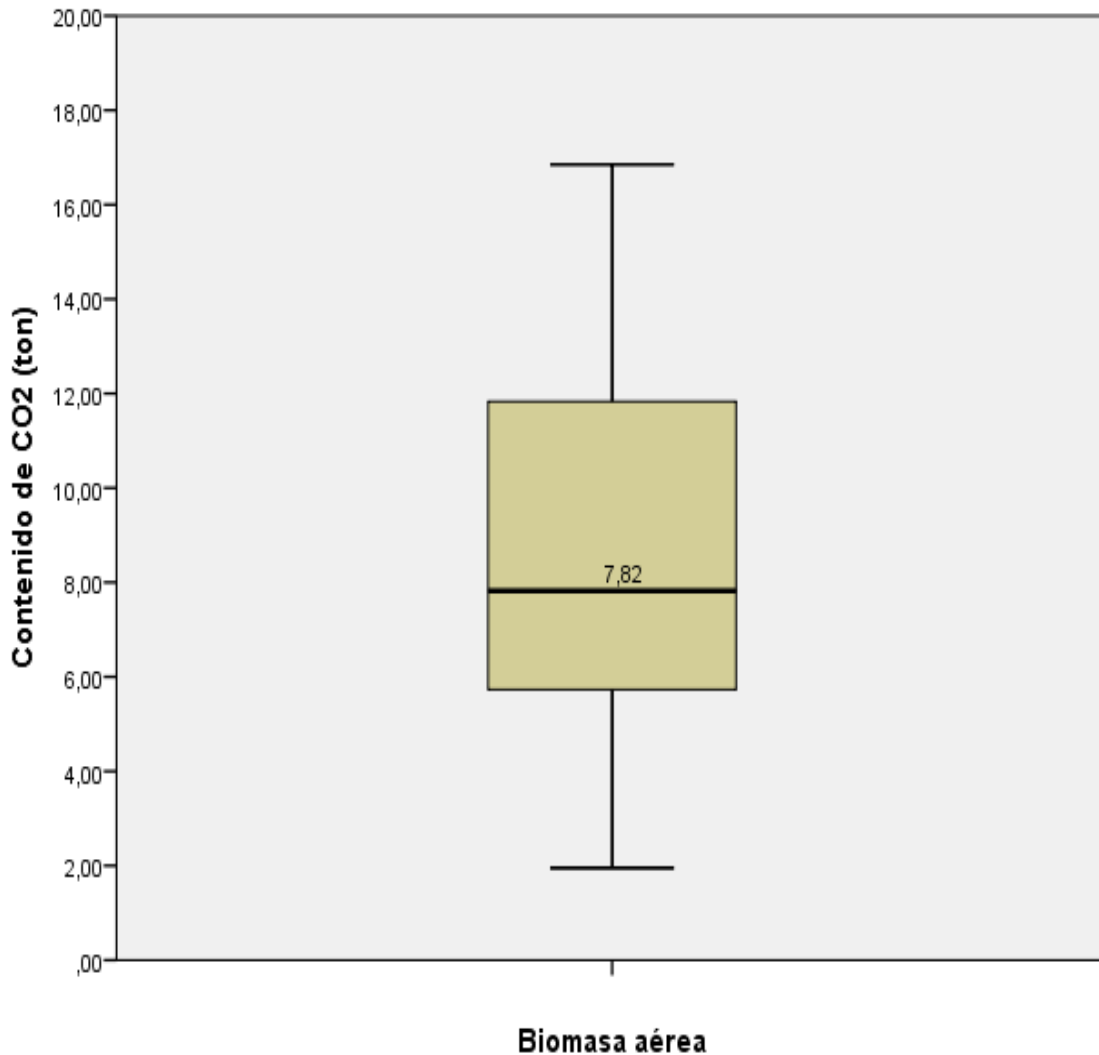


**Fuente:** Los Autores, 2020.

Según el diagrama de caja dividido en la **Ilustración 48**, el contenido medio de carbono almacenado en la biomasa aérea de la comuna Paquizhapa es de 2.13 toneladas por parcela, en el cual la mayor cantidad de carbono que almacena una parcela de 400 m<sup>2</sup> es de 5.75 toneladas y la menor cantidad es de 0.53 toneladas.

#### 4.2.1.2.2 Diagrama de caja del contenido de CO<sub>2</sub> almacenado por parcela

**Ilustración 49:** Diagrama de caja del contenido de CO<sub>2</sub> por parcela en la biomasa aérea.



**Fuente:** Los Autores,2020.

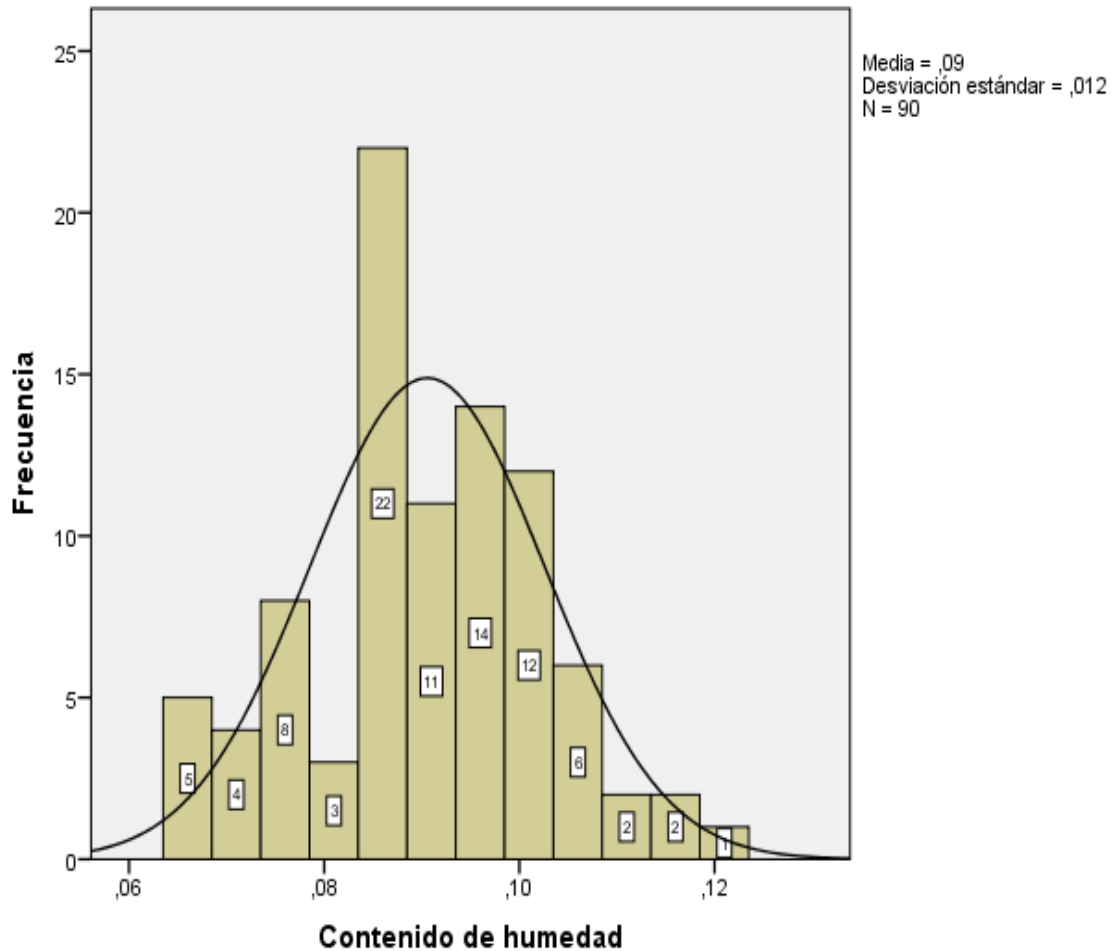
De acuerdo a la **Ilustración 49**, el contenido medio de CO<sub>2</sub> que almacena la biomasa aérea en una parcela de 400 m<sup>2</sup> es de 7.82 toneladas, en donde la menor cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado en una parcela es de 1.94 toneladas, en cambio la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> que almacena una parcela es de 21.12 toneladas.

### 4.2.2 Análisis descriptivo de la hojarasca

#### 4.2.2.1 Histogramas

#### 4.2.2.1.1 Histograma del contenido de humedad

**Ilustración 50:** Histograma del contenido de humedad de las subparcelas de hojarasca.

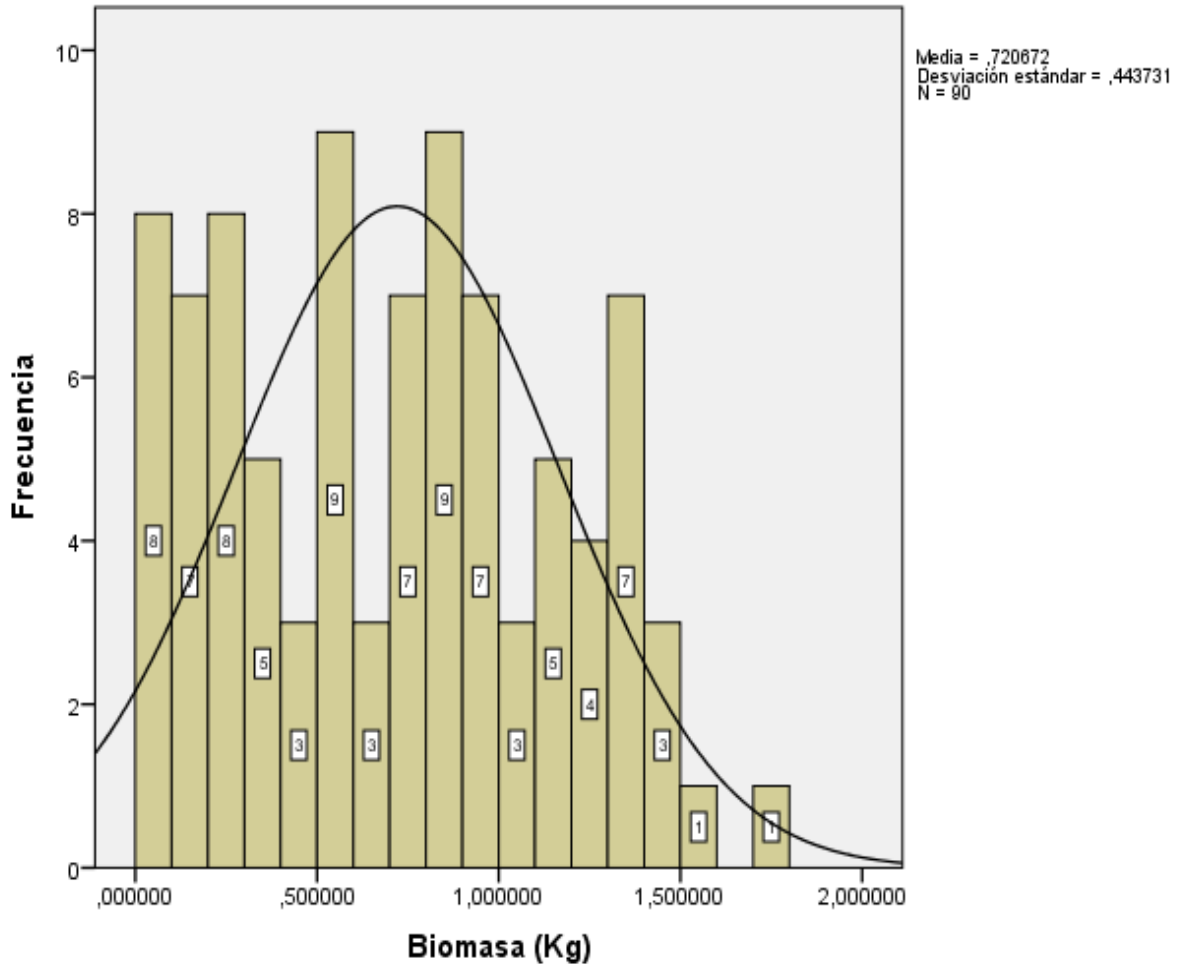


**Fuente:** Los Autores,2020.

Según la **Ilustración 50**, el contenido medio de humedad que tiene la hojarasca de Pino en cada subparcela es de 0.09, con una desviación estándar de 0.12, una mediana de 0.09 y una moda de 0.09; la mayor cantidad de subparcelas contiene una humedad entre 0.08 y 0.1, en donde resaltan mayormente 22 subparcelas de hojarasca que representan el 24.4 %.

#### 4.2.2.1.2 Histograma de biomasa

**Ilustración 51:** Histograma del contenido de biomasa de las subparcelas de hojarasca.

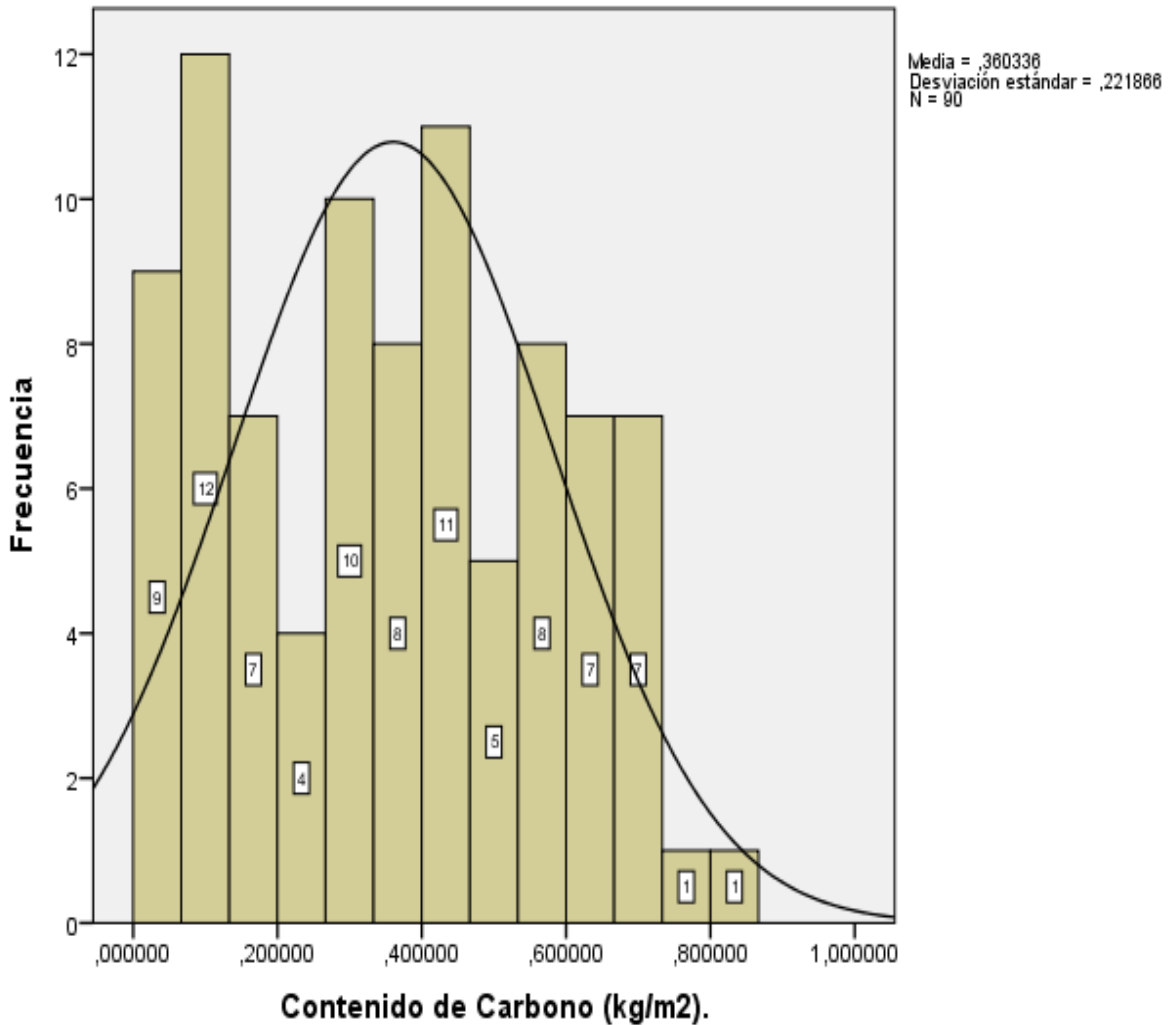


**Fuente:** Los Autores,2020.

El contenido medio de biomasa en la hojarasca encontrado en cada subparcela es de 0.72 kg, con una desviación estándar de 0.44, una mediana de 0.75 y una moda de 0.58; la mayor cantidad de subparcelas contiene una biomasa entre 0.5 y 1 kg, en donde sobresalen 18 subparcelas que representan el 20% como se puede divisar en la **Ilustración 51**.

#### 4.2.2.1.3 Histograma del carbono almacenado en cada subparcela

**Ilustración 52:** Histograma del contenido de carbono almacenado en las subparcelas de hojarasca.



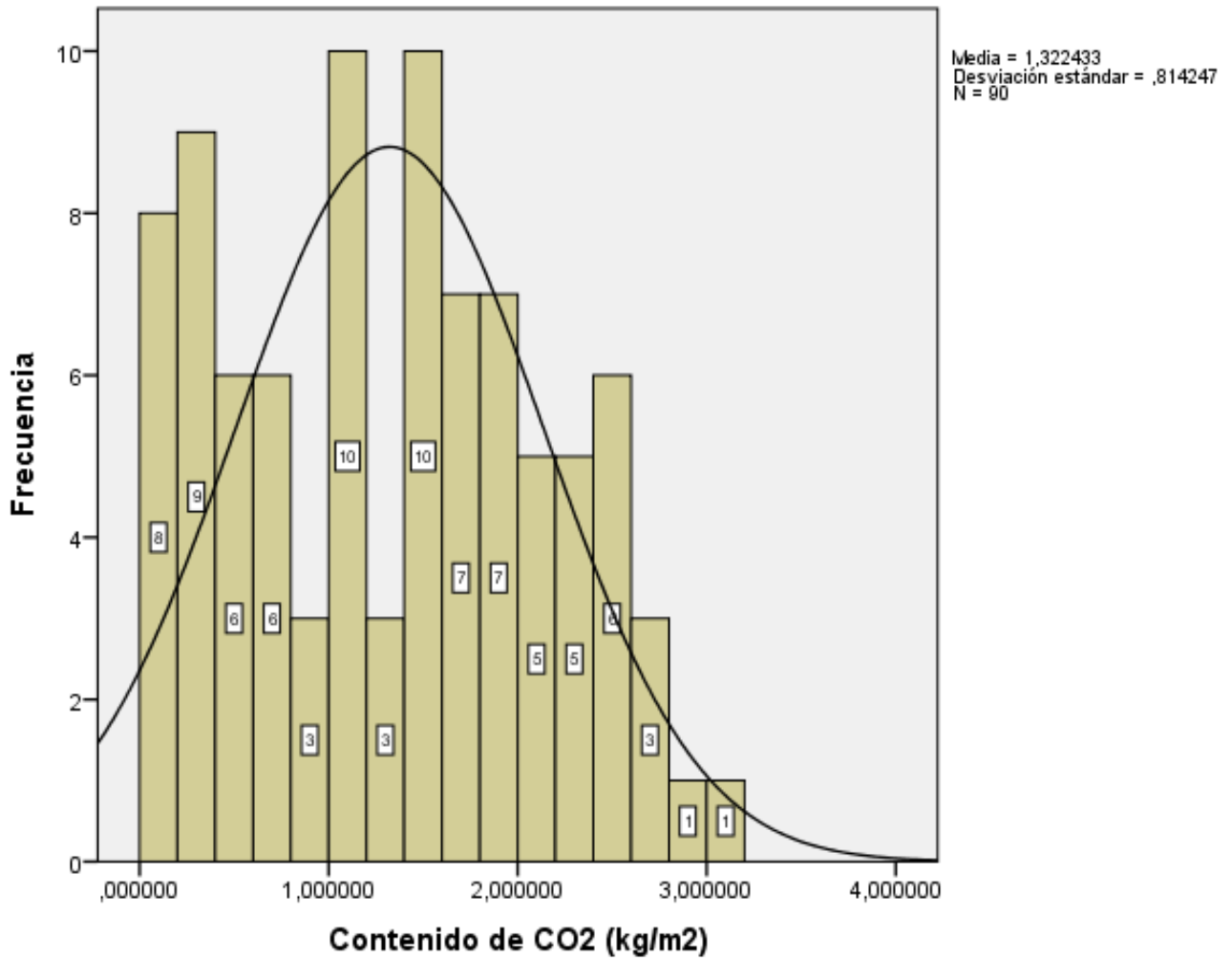
**Fuente:** Los Autores,2020.

El contenido medio de Carbono almacenado en cada subparcela de hojarasca es de 0.36 kg, con una desviación estándar de 0.22, una mediana de 0.37 y una moda de 0.29; de acuerdo a la **Ilustración 52** la mayor cantidad de subparcelas contienen una cantidad de carbono entre los valores de 0 y 0.2 kg, siendo 12 subparcelas las más figurativas que representan el 13.3 %.



#### 4.2.2.1.4 Histograma de CO<sub>2</sub> almacenado en cada subparcela

**Ilustración 53:** Histograma del Contenido de CO<sub>2</sub> almacenado en las subparcelas de hojarasca.



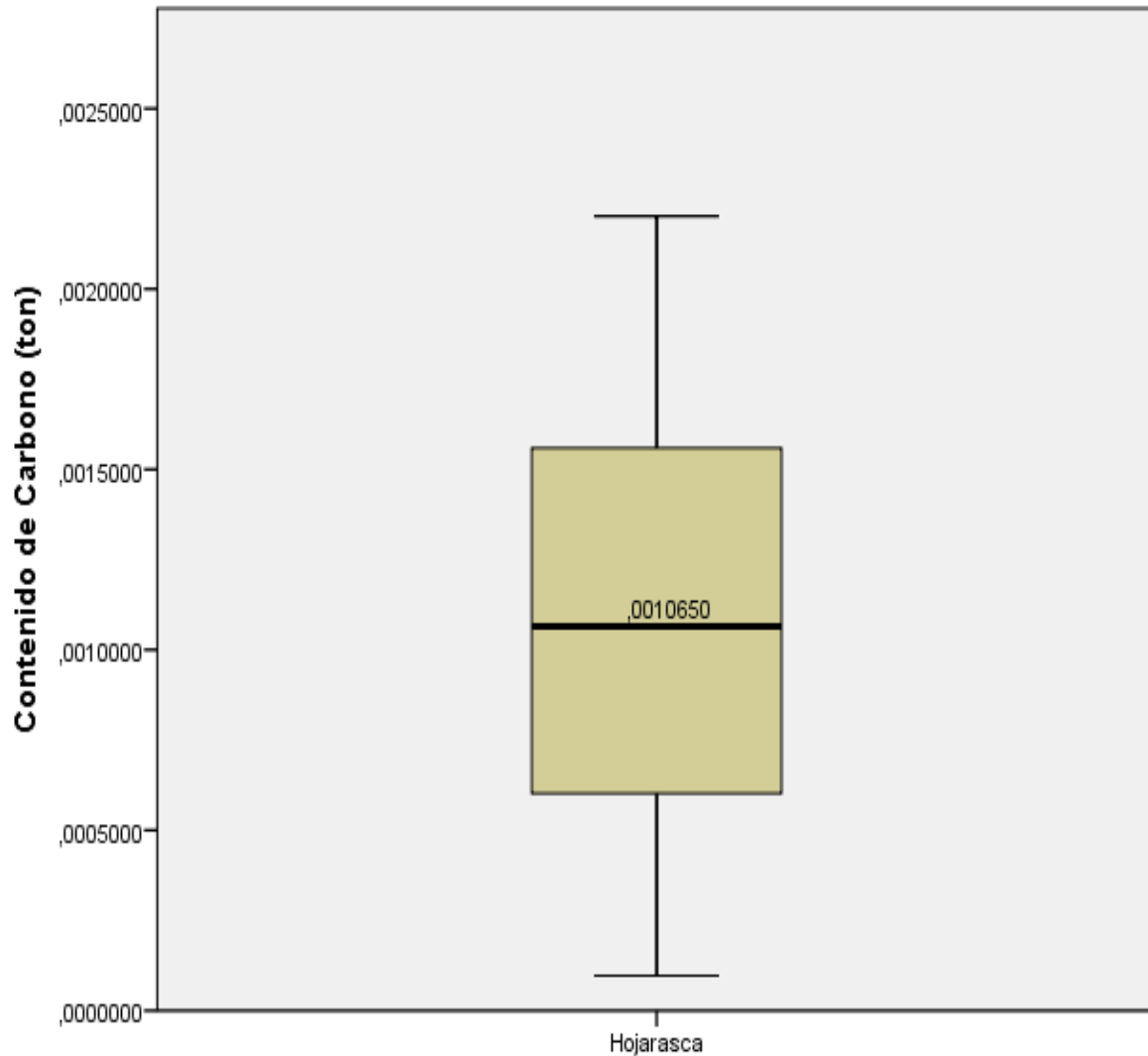
**Fuente:** Los Autores,2020.

En base a la **Ilustración 53**, la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado en cada subparcela de hojarasca es de 1.32 kg, con una desviación estándar de 0.81, una mediana de 1.38 y una moda 1.06; la mayor cantidad de subparcelas contiene una cantidad de CO<sub>2</sub> entre 1 y 2 kilogramo, siendo 20 subparcelas las más figurativas que representan el 22.2 %.

#### 4.2.2.2 Diagramas de caja

##### 4.2.2.2.1 Diagrama de caja del contenido de carbono almacenado por parcela

**Ilustración 54:** Diagrama de caja del contenido de carbono almacenado por parcela en la hojarasca.

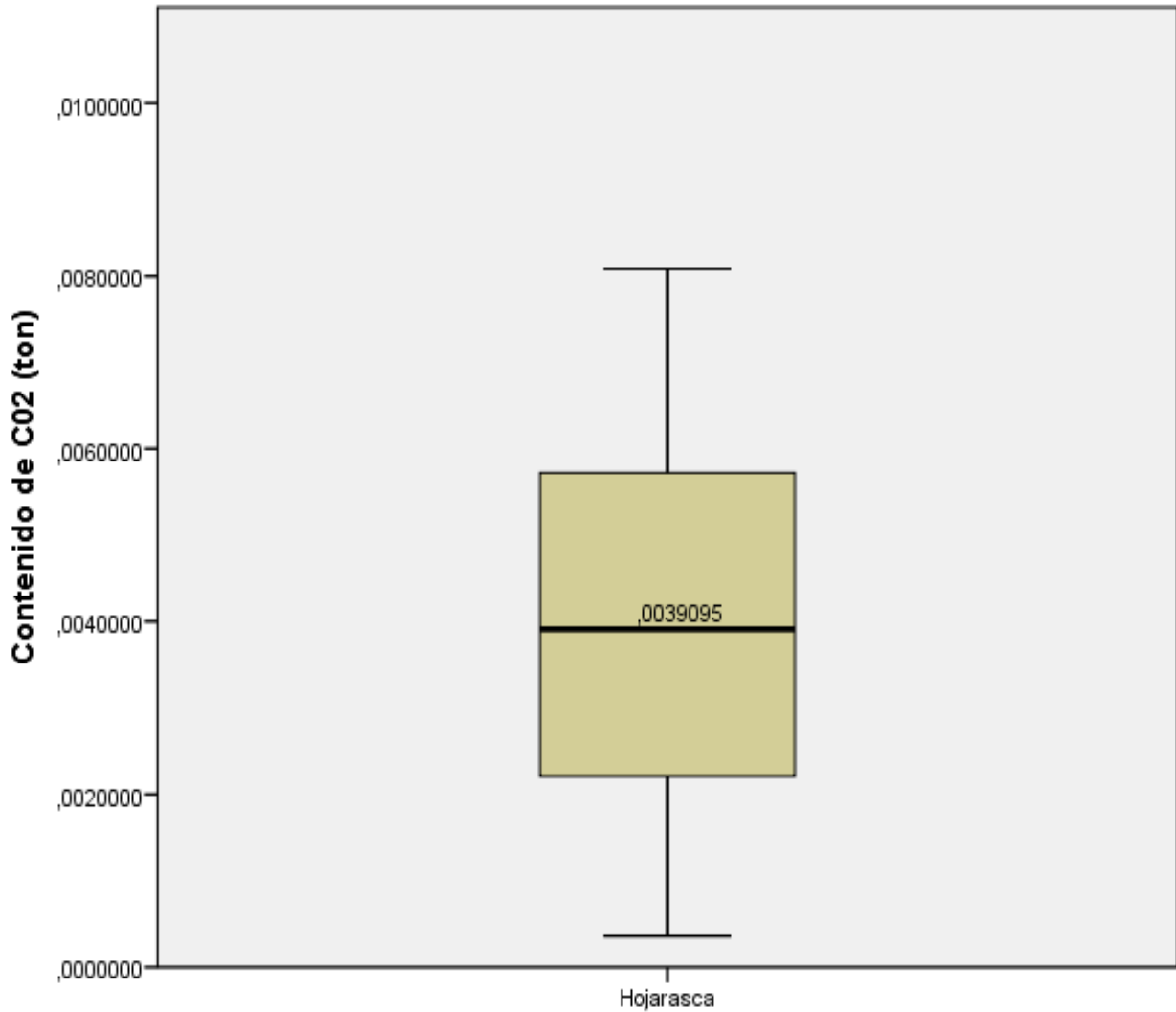


**Fuente:** Los Autores,2020.

En base al Diagrama de caja analizado de la hojarasca (**Ilustración 54**), el contenido medio de carbono almacenado en cada parcela es de 0.0011 ton, en donde el valor máximo de carbono que almacena una parcela es de 0.0022 ton, y el valor mínimo es de 0.0002 ton.

#### 4.2.2.2.2 Diagrama de caja del contenido de CO<sub>2</sub> almacenado por parcela

**Ilustración 55:** Diagrama de caja del contenido de CO<sub>2</sub> almacenado por parcela en la hojarasca



**Fuente:** Los Autores,2020.

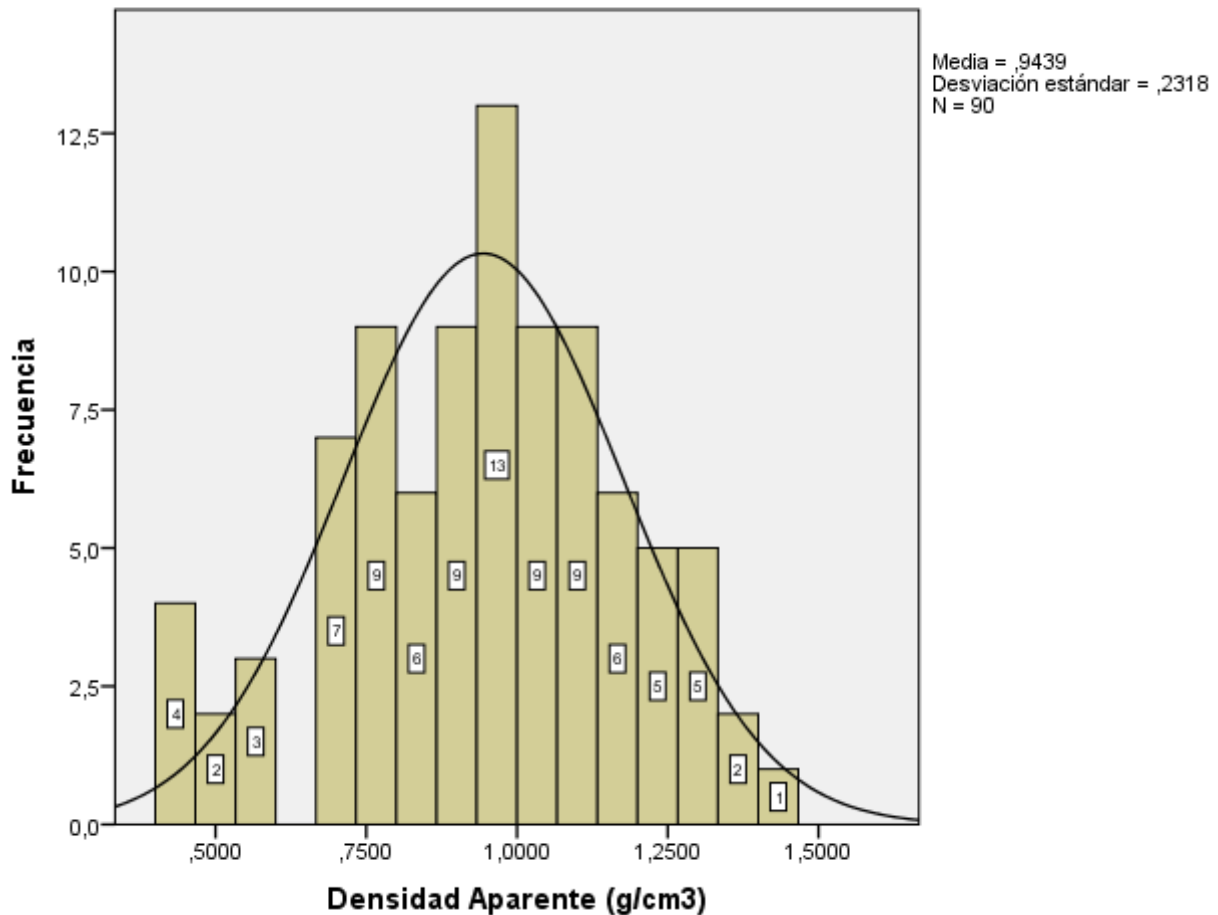
De acuerdo al diagrama de caja de la **Ilustración 55**, el contenido medio de CO<sub>2</sub> almacenado en la hojarasca de cada parcela es de 0.0039 ton, en donde el valor máximo de carbono almacenado en una parcela es de 0.008082 ton, y el valor mínimo es de 0.000805 ton.

## 4.2.3 Análisis descriptivo del Suelo

### 4.2.3.1 Histogramas

#### 4.2.3.1.1 Histograma de la densidad aparente

**Ilustración 56:** Histograma de frecuencias de la densidad aparente de las muestras de suelo.

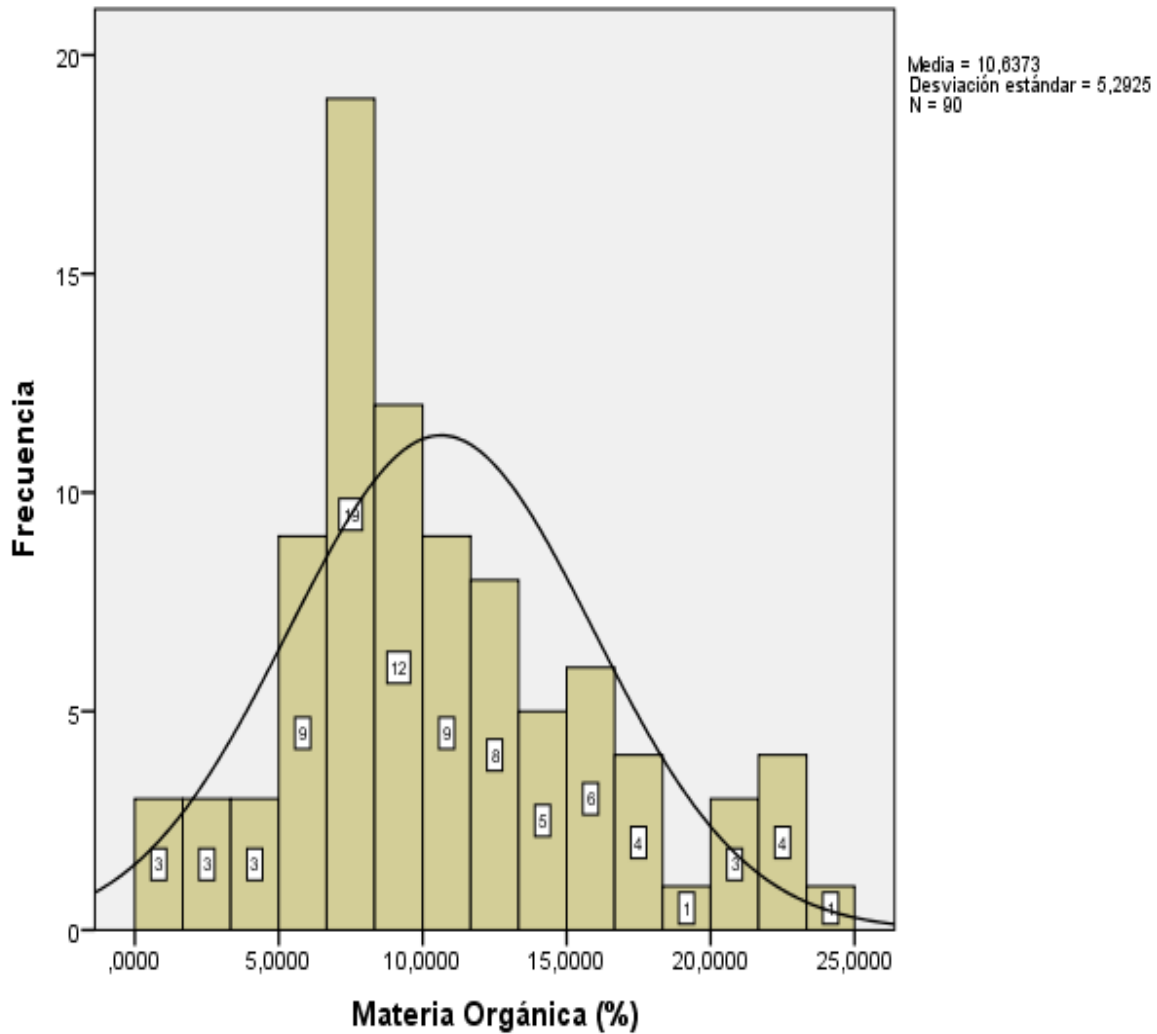


**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Ilustración 56**, el valor medio de densidad aparente que contiene el suelo de la comuna Paquizhapa es de 0.9439 g/cm<sup>3</sup> con una desviación estándar de 0.2318, una mediana de 0.9454 y una moda de 0.4208; la mayor cantidad de muestras de suelo tienen una densidad aparente entre 0.75 a 1 g/cm<sup>3</sup>, encontrándose la mayor frecuencia en 13 muestras de suelo que representan el 14.4 %.

#### 4.2.3.1.2 Histograma del porcentaje de materia orgánica

**Ilustración 57:** Histograma de frecuencias del porcentaje de materia orgánica en las muestras de suelo.

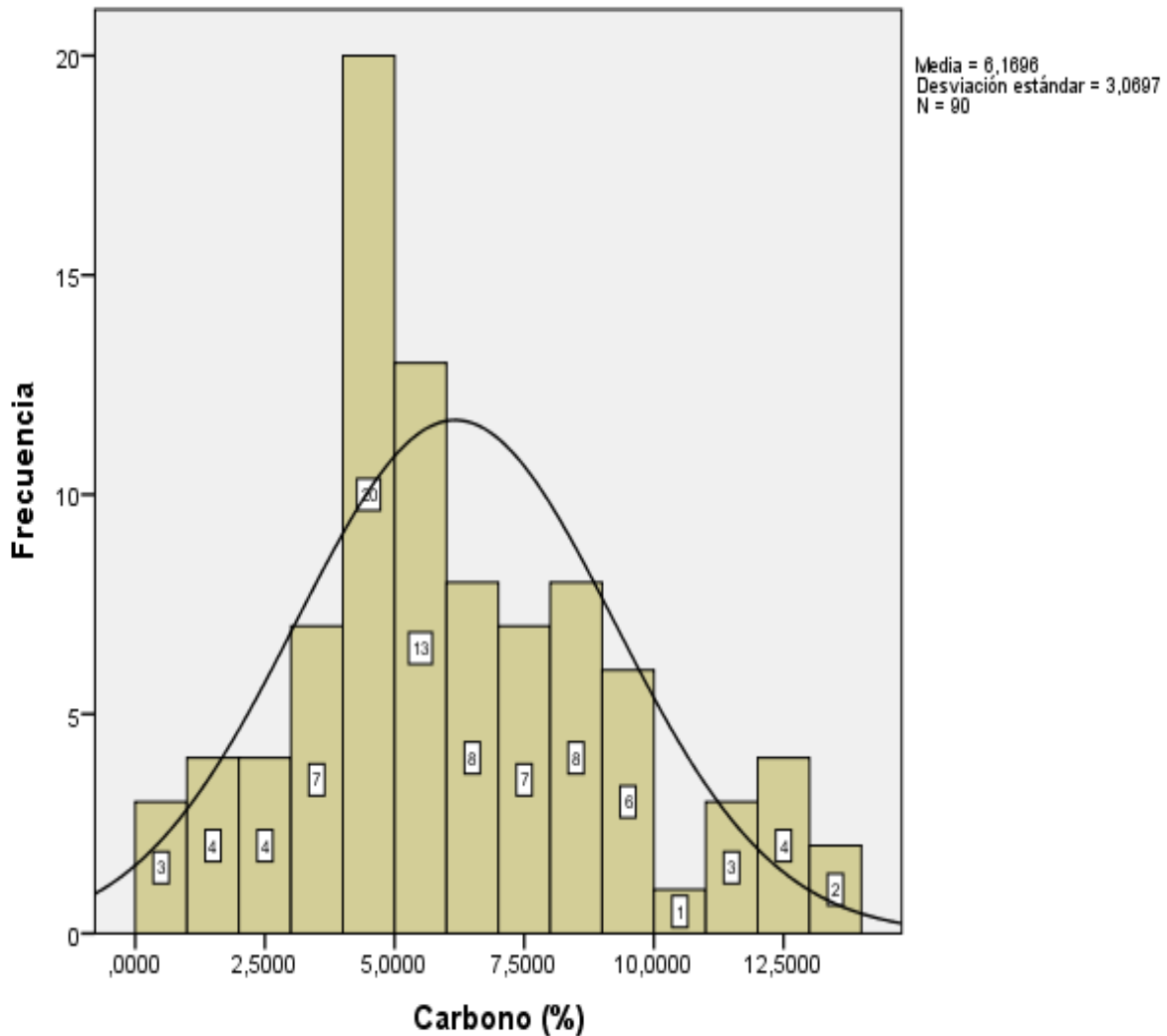


**Fuente:** Los Autores,2020.

Según la **Ilustración 57**, el porcentaje medio de materia orgánica que contiene el suelo de la comuna Paquizhapa es de 10.63 %, con una desviación estándar de 5.29, una mediana de 9.72 y una moda de 0.93; la mayor cantidad de muestras de suelo tienen un porcentaje de MO entre el 5 al 10%, encontrándose la mayor frecuencia en de 19 muestras que abarcan el 21.11 %.

### 4.2.3.1.3 Histograma del porcentaje de carbono

**Ilustración 58:** Histograma de frecuencias del porcentaje de carbono orgánico en las muestras de suelo.

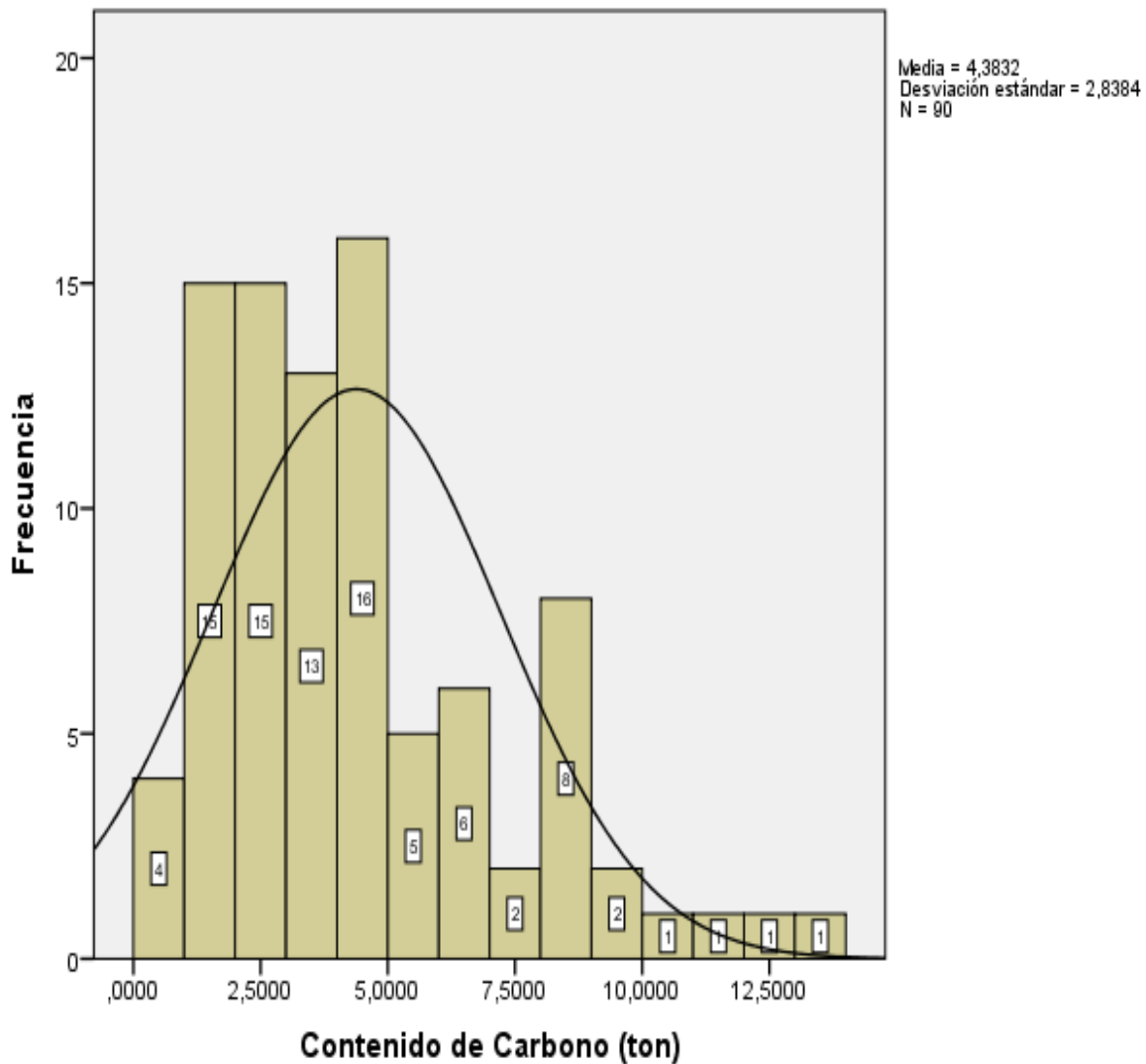


**Fuente:** Los Autores,2020.

De acuerdo a la **Ilustración 58**, el porcentaje medio de carbono orgánica que contiene el suelo de la comuna Paquizhapa es de 6.16 %, con una desviación estándar de 3.07, una mediana de 5.64 y una moda de 0.54; en donde la mayor cantidad de muestras de suelo tienen un porcentaje entre el 3.75 al 6.25 % de CO, encontrándose la mayor frecuencia en 20 muestras que abarcan el 22.2 %.

#### 4.2.3.1.4 Histograma de carbono

**Ilustración 59:** Histograma de frecuencias del contenido carbono en las muestras de suelo.

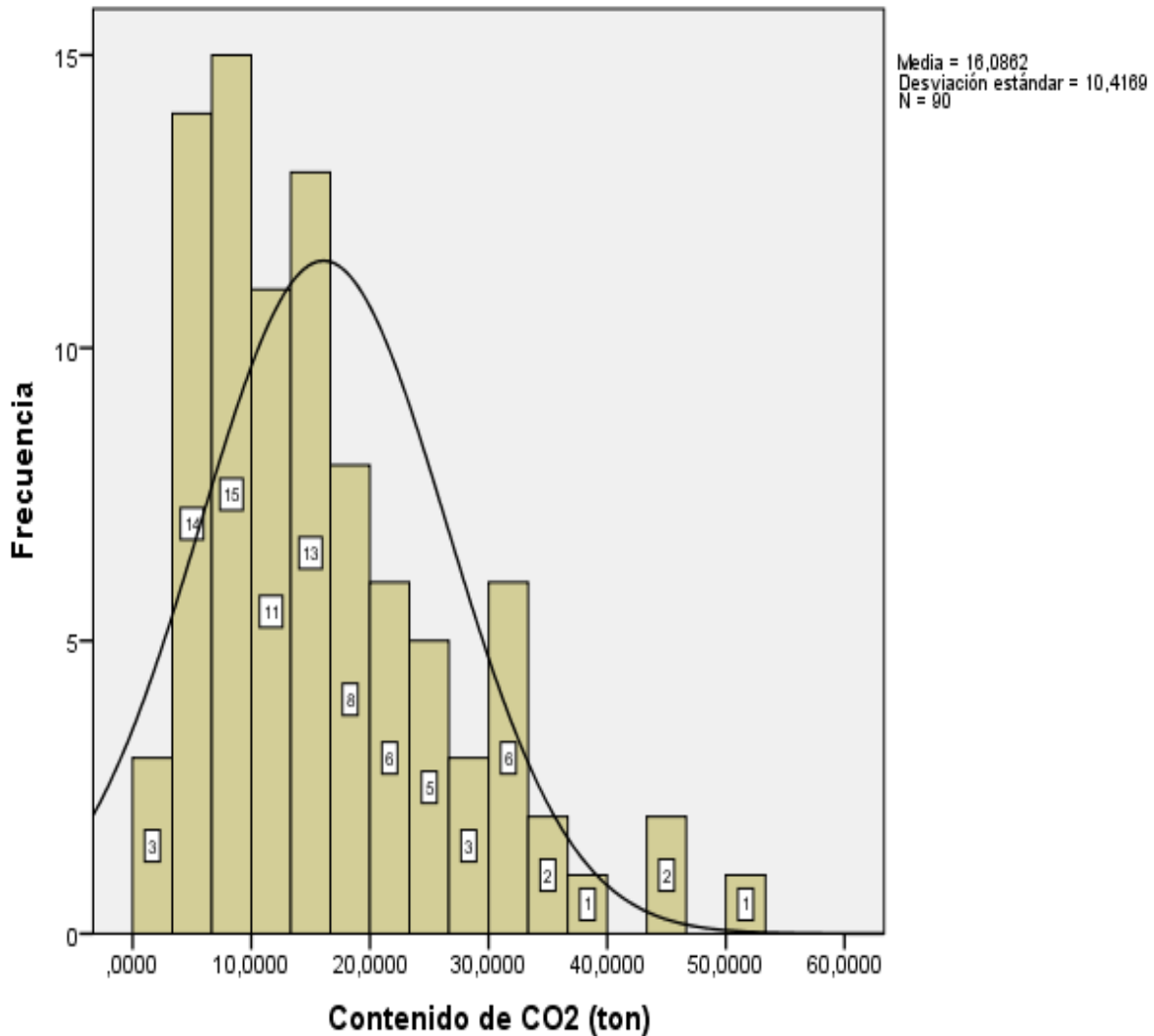


**Fuente:** Los Autores,2020.

Según la **Ilustración 59**, el valor medio de carbono en cada muestra de suelo es de 4.38 ton, con una desviación estándar de 2.84, una mediana de 3.86 y una moda de 0.32; la mayor cantidad de las muestras de suelo contienen un valor de carbono entre los rangos de 2.5 a 5 ton, encontrándose la mayor frecuencia en 16 muestras de suelo que representan el 17.7 %.

#### 4.2.3.1.5 Histograma de CO<sub>2</sub>

**Ilustración 60:** Histograma de frecuencias del contenido de CO<sub>2</sub> en las muestras de suelo.



**Fuente:** Los Autores,2020.

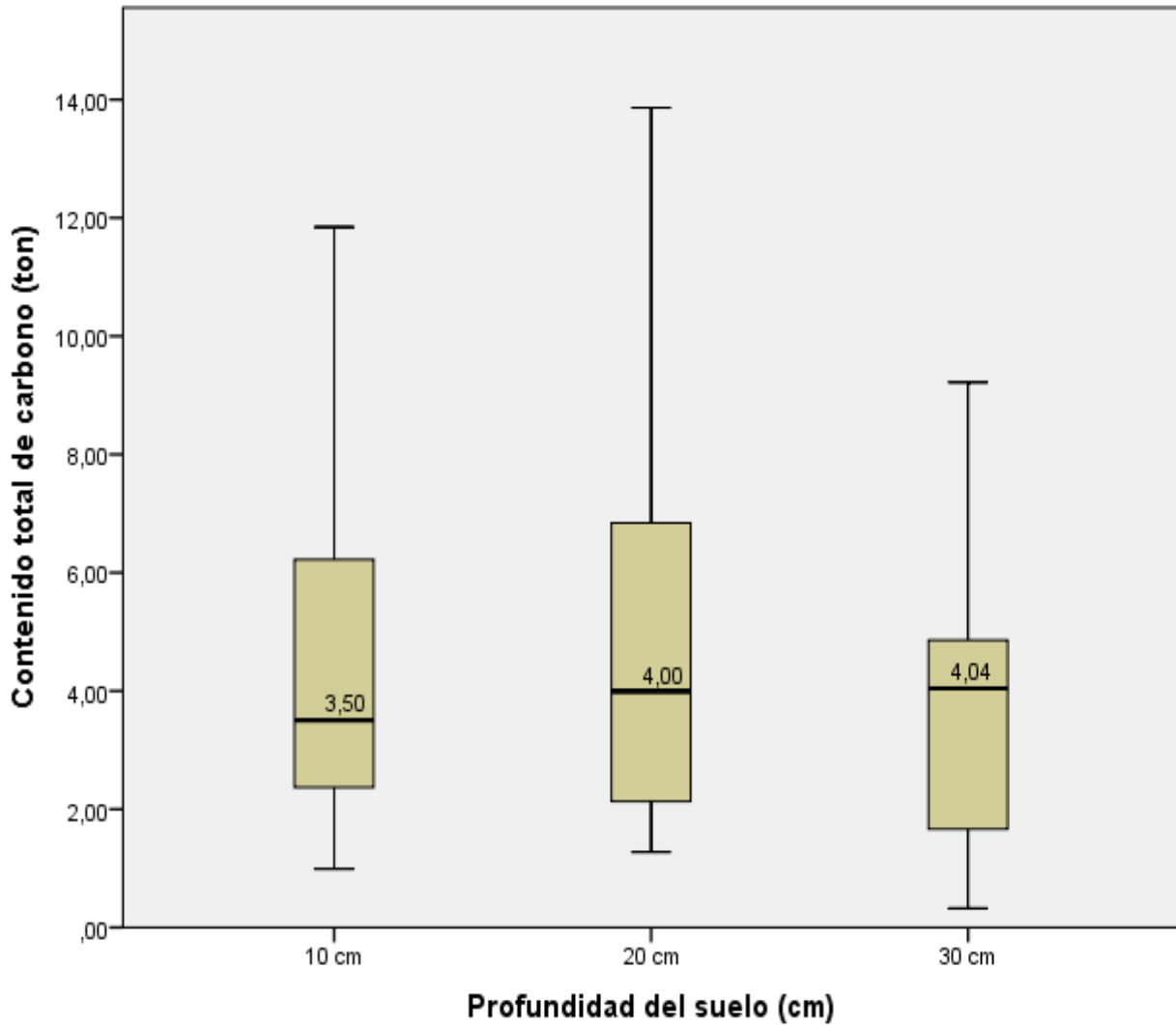
El contenido medio de CO<sub>2</sub> en cada muestra de suelo es de 16.06 ton, con una desviación estándar de 10.41, una mediana de 14.17 y una moda de 1.19; la mayor cantidad de las muestras de suelo contienen un valor de CO<sub>2</sub> entre los rangos de 0 a 10 ton, encontrándose la mayor frecuencia en 15 muestras de suelo que representan el 16.7 % como de observar en la **Ilustración 60**.



#### 4.2.3.2 Diagramas de caja

##### 4.2.3.2.1 Diagrama de caja del contenido de carbono almacenado por parcela

**Ilustración 61:** Diagrama de caja del contenido de carbono almacenado por parcela en cada profundidad de suelo

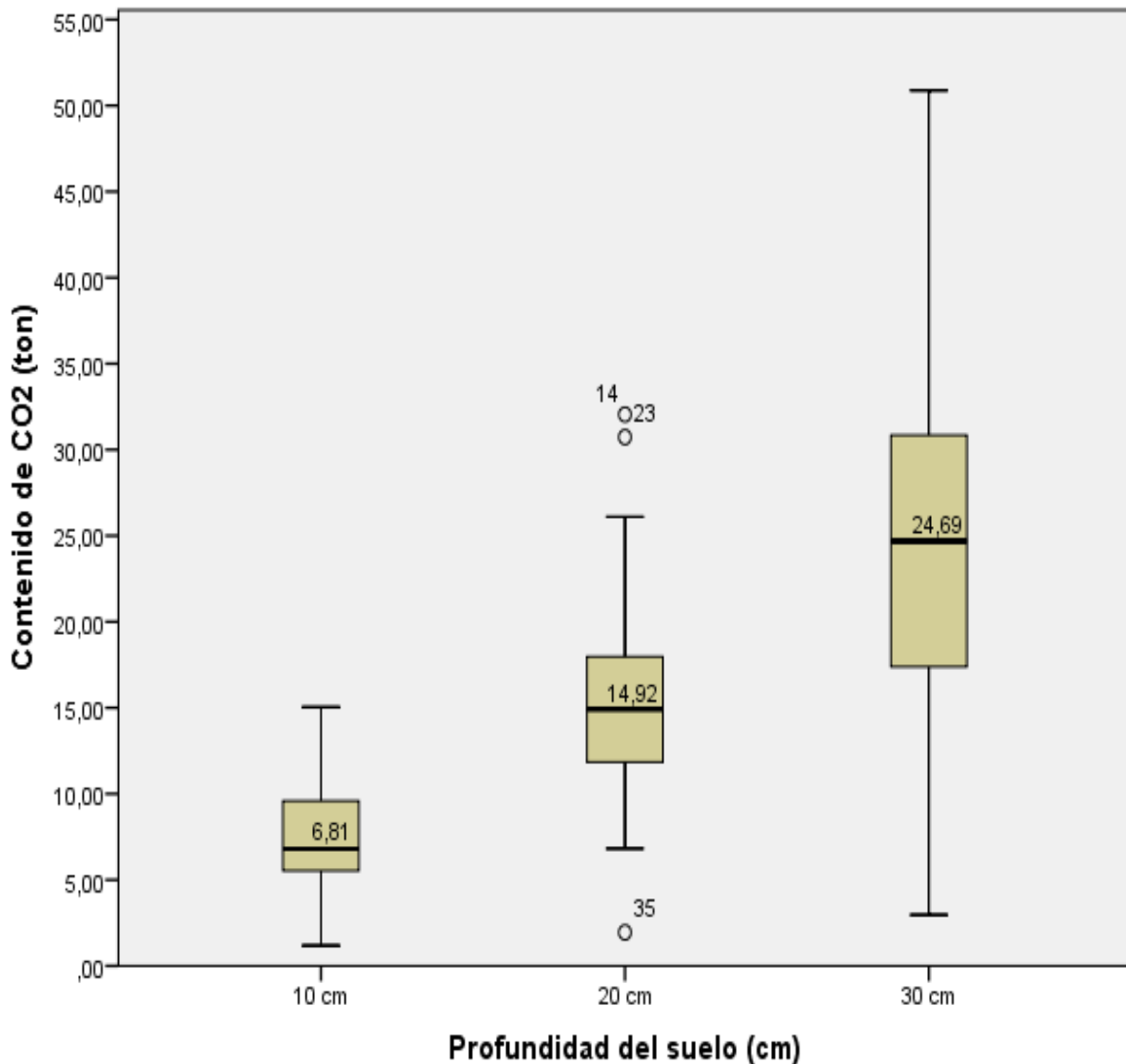


**Fuente:** Los Autores,2020.

En base a la **Ilustración 61**, el contenido medio de carbono almacenado por parcela en el suelo a 10 cm de profundidad es de 3.50 toneladas, a 20 cm es de 4.0 toneladas y a 30 cm de profundidad existe una cantidad promedio de 4.04 toneladas, siendo esta ultima la mayor profundidad de almacenamiento de carbono.

#### 4.2.3.2.2 Diagrama de caja del contenido de CO<sub>2</sub> almacenado por parcela

**Ilustración 62:** Diagrama de caja del contenido de CO<sub>2</sub> almacenado por parcela en cada profundidad de suelo.



**Fuente:** Los Autores, 2020.

En base al diagrama de caja (**Ilustración 62**), el contenido medio de CO<sub>2</sub> almacenado por parcela en el suelo a 10 cm de profundidad es de 6.81 toneladas, mientras que a 20 cm es de 14.92 toneladas y a 30 cm de profundidad el promedio es de 24.69 toneladas, al igual que en la **Ilustración 61** el contenido de CO<sub>2</sub> se encuentra mayormente almacenado a 30 cm de profundidad.

## 5. DISCUSIÓN

Para evaluar el contenido de carbono en la comuna Paquizhapa el número de parcelas y su ubicación fue obtenido por medio de la metodología del MAGAP (2016) en donde se encontró una cantidad de 60.01 tonC/ha en un área evaluada de 1.2 ha, en comparación con la metodología del MAE (2012) desarrollado en el estudio de Jumbo et. al. (2018) en el cual se obtuvo una cantidad menor con una área evaluada de 1.44 ha y un total de 41 tonC/ha; las diferencias obtenidas se debe a la biomasa presente en cada hectárea ya que en el estudio de (Jumbo et al., 2018) se obtiene una cantidad 83 ton/ha y en este trabajo se estimó que existe 119.3 ton de biomasa por cada hectárea, así mismo cabe recalcar que existe una mayor densidad de plantación en esta investigación que la considerada por Jumbo et. al. (2018).

En estudios desarrollados en el bosque protector Aguarongo, por Romo (2016) en especies de *Myrsine dependes* y *Miconia theaezans* que capturan 22.48 y 17.59 tonC/ha respectivamente en una área de 0.1 ha, y por Vásquez & Morales (2019) en la especie de *Podocarpus sprucei* con 4.50 tonC/ha y *Oreocallis grandiflora* con 32.64 tonC/ha en una área de 2.25 ha, siendo mayor la área evaluada en comparación con la investigación de Vásquez & Morales (2019) y menor con la de Romo (2016), en cuanto a las cantidades de carbono se obtienen menores cantidades en los dos estudios en paridad con la especie de *Pinus patula* analizada en este trabajo, la gran diferencia se debe a que una especie de Pino contiene mayor biomasa que las consideradas en los dos estudios. Del estudio desarrollo por Meneses (2017), denominado “Determinación de la captura de carbono aéreo y la influencia del manejo en plantaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham., en Lasso, Provincia de Cotopaxi, Ecuador” en donde se evaluó 1340 especies en una superficie de 1.5 ha, determinándose una cantidad de 83.95 tonC/ha; se encontró una gran similitud en las especies encontradas por hectárea con una diferencia de 7 especies de pino, aunque la cantidad de carbono

almacenado en la biomasa aérea es menor; el motivo de variaciones se debe a que Meneses (2017) utiliza el método destructivo diferente al de esta investigación en donde se analizó mediante el método no destructivo, asimismo el área de muestreo fue menor que la de Meneses (2017) ya que solamente se analizó 1.2 ha.

En la hojarasca de la comuna Paquizhapa se encontró almacenado una mayor cantidad de carbono con 3.20 tonC/ha que el estudio de López (2017) donde se calculó que existe aproximadamente 1.11 tC/ha, la gran disparidad de los datos encontrados se debe al grado de descomposición y al tipo de descomposición de cada elemento, siendo mayor la del pino; cabe citar que en este estudio la zona evaluada fue de 1.2 ha siendo mayor que la considerada por López (2017) en donde se evalúa únicamente 0.1 ha. En otro estudio desarrollado en la reserva de la Biósfera mariposa Monarca por Serrato et. al. (2014) en donde se evaluó dos horizontes L y F, encontrándose grandes cantidades de carbono en la hojarasca entre los valores de 1.41 y 35.96 ton/ha, esto se debe a la riqueza florística que existe en esta reserva.

La cantidad de carbono almacenada en el suelo de la comuna Paquizhapa en una área valorada de 1.2 ha a diferentes profundidades es de 328.73 tonC/ha, en donde se encontró la mayor cantidad de carbono a 30 cm de profundidad (204.79 tonC/ha), al comparar con el estudio de López (2017) los valores son superiores en donde se encontró una cantidad de 262.42 tonC/ha, aunque ambos estudios concuerdan que la mayor cantidad de carbono se encuentra almacenada a 30 cm de profundidad; la diferencia de los valores de carbono obtenidos en estos dos estudios se debe a la mayor presencia de biomasa en la comuna Paquizhapa que al llegar al suelo se descompone aumentando la cantidad de carbono, como también la diferencia de las áreas estudiadas es menor ya que López (2017) solo evalúa tres subparcelas de 0.25 m<sup>2</sup>.

(Vinueza, 2015) al evaluar el contenido de carbono en el suelo forestal de *Pinus radiata* en tres profundidades (0-10,10-20,20-30cm) en una área de 0.72 ha, obtiene en el conglomerado1 una cantidad de 371.37 tonC/ha y en el conglomerado2 303.81 tonC/ha, cantidades similares a las de la presente investigación aunque con diferencias en las especies de pino y en el área evaluada siendo mayor en este estudio ya que se examinó una superficie de 1.2 ha. Por otro lado en el análisis desarrolla por Hidalgo (2011) se determina una cantidad de 94.38 tonC/ha en la biomasa vegetal, y 123.18 tonC/ha en el suelo, que al confrontar con los obtenidos en este bosque de Pino no existe una comparación debido al uso de suelo, ya que el estudio de Hidalgo (2011) se realiza en un sistema agroforestal considerando una mayor superficie neta de 3.38 ha.

Al comparar los valores obtenidos de carbono almacenado en cada componente del bosque de Pino de la Comuna Paquizhapa con el estudio desarrollado por Calderón & Solís (2012), denominado “Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de Pinus (*Pinus oocarpa*, L) Dipilto, Nueva Segovia, Nicaragua” en donde se encontró una cantidad de 58.5 tonC/ha en la biomasa aérea, en la hojarasca de 5.8 tonC/ha y en el suelo de 110 ton/ha; se pudo determinar grandes similitudes con los datos encontrados en este trabajo, aunque la mayor diferencia está en la hojarasca ya que en este estudio no se consideró el peso de las ramas y ramillas, como también cabe mencionar que el área de esta investigación de 1.2 ha fue mayor a la considerada por (Calderón & Solís, 2012) de 1.17 ha.

## **6. CONCLUSIONES**

Una vez que se han desarrollado las respectivas evaluaciones mediante la utilización de métodos ya conocidos y mencionado con anterioridad, mismo que fueron de prioridad para el cumplimiento del objetivo principal de la investigación, que se apoyaba en estimar la cantidad de carbono almacenado en el bosque de Pino de la comuna de Paquizhapa, se ha llegado a concluir lo siguiente:

- Con respecto al carbono almacenado en la biomasa.

De lo evaluado en 1616 especies dentro de un área de 12000 metros cuadrados distribuido en 30 parcelas, la plantación forestal ocupada por la especie *Pinus patula* presenta una cantidad estimada de 72.02 toneladas de carbono, con un valor mínimo de 0.53 ton y un máximo de 5.76 ton que varían en función de la densidad de la biomasa de cada parcela. En lo que respecta al CO<sub>2</sub> almacenado la plantación contiene una cantidad estimada de 264.30 ton de CO<sub>2</sub>, del mismo modo, se obtuvo un mínimo de 1.95 ton de CO<sub>2</sub> y un máximo 21.13 de CO<sub>2</sub> representando un total de 60.01 tonC/ha y 220.25 tonCO<sub>2</sub>/ha.

- Con respecto al carbono almacenado en la hojarasca.

De una superficie de 90 metros cuadrados contenido en 30 parcelas, la hojarasca presenta una cantidad de 0.032 ton de Carbono, con un mínimo de 0.0022 y un máximo de 0.000097 ton de Carbono en función de la cantidad de biomasa presente en la superficie de cada subparcela. En lo que respecta a la cantidad de CO<sub>2</sub>, se estimó un valor 0.11 ton de CO<sub>2</sub> con un mínimo de 0.00035 y un máximo 0.0080 ton de CO<sub>2</sub>, correspondiente a 3.60 tonC/ha y 13.22 ton/ha de CO<sub>2</sub>.

- Con respecto al carbono almacenado en diferentes profundidades del suelo.

De lo evaluado en la profundidad de 10, 20, y 30 cm, el suelo de la plantación presenta en una cantidad de 61.35, 128.34 y 204.79 ton de Carbono respectivamente. En cuanto al CO<sub>2</sub> almacenado se estimó valores de 225.16, 471.1, 751.59 ton de CO<sub>2</sub> respectivamente a cada una de las profundidades, correspondiente a un total de 328.74 tonC/ha. De los valores presentados se encontró que la mayor cantidad de carbono almacenado en el subsuelo de la plantación forestal de *Pinus patula* se encuentra en un rango de profundidad de 20 a 30 cm.

Finalmente, el Carbono almacenado por hectárea en cada uno de los extractos boscosos correspondientes a la biomasa, hojarasca y subsuelo; presenta valores de 60.01, 3.60 y 328.74

tonC/ha y expresadas en tonCO<sub>2</sub>/ha se obtuvo 220.25, 13.22, 1206.46 respectivamente en cada uno de los extractos, por lo que se estimó que la mayor cantidad de carbono y CO<sub>2</sub> se encuentra almacenado en el subsuelo de la plantación.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Se evalúen otras unidades de muestreo que no fueron consideradas durante este estudio, para poder generar valores más cercanos de la cantidad de carbono almacenado en la comuna Paquizhapa.
- Debido a los pocos estudios realizados en este tipo de especies en el Ecuador, se recomienda que se realicen más investigaciones en zonas con plantaciones de pino, utilizando otro tipo de metodologías para así generar comparativas y disminuir el error en la estimación del carbono y CO<sub>2</sub>.
- Que las entidades como el MAGAP y el MAE, utilicen como referencia este estudio en conjunto con otros ya desarrollados en Ecuador, para poder originar un inventario a escala nacional de la captura de carbono en las especies de pino.
- Se utilice este estudio por diferentes profesionales para dar a conocer un servicio ambiental de la especie de pino, además que sirva como referencia para futuras capacitaciones acerca del cambio climático, debido a que estas zonas retienen grandes cantidades de CO<sub>2</sub>.
- Que la comunidad mediante el apoyo de las diferentes entidades pueda ver la factibilidad de generar un valor económico por la captura de CO<sub>2</sub> almacenada en este bosque, para de alguna manera compensar el uso de este territorio e indirectamente impedir la expansión agrícola y ganadera que actualmente está sufriendo la comuna.

- Exista un mayor control en estas zonas boscosas por las autoridades competentes, debido a que existen grandes daños por la tala y la quema de estas especies, que contribuyen a la contaminación mediante la liberación directa de grandes cantidades de CO<sub>2</sub>.
- Si en un futuro se piensa en deforestar esta área, solamente se realice con un el objetivo de una posterior reforestación con especies nativas y mediante un plan de acción que impida los diferentes cambios de uso de suelo.
- Se utilice los residuos forestales para lo obtención de biocarbón, que puede ser aplicado en diferentes suelos, para mejorar la fertilidad, el redimiendo y la producción de cultivos agrícolas de una forma sustentable, y así generar un beneficio tanto ambiental como económico en la zona.



## 8. BIBLIOGRAFIA

- Acosta, M., Etchevers, J. D., & Monreal, C. (2001). Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. 15.
- Ahumada, R., González, L. C., & Rodríguez, H. (2018). Conocimiento y percepción acerca del cambio climático en la población rural de Guasave, Sinaloa. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/329453451\\_Conocimiento\\_y\\_percepcion\\_acerca\\_del\\_cambio\\_climatico\\_en\\_la\\_poblacion\\_rural\\_de\\_Guasave\\_Sinaloa](https://www.researchgate.net/publication/329453451_Conocimiento_y_percepcion_acerca_del_cambio_climatico_en_la_poblacion_rural_de_Guasave_Sinaloa)
- Arbeláez, C. G., Cabal, L. F. L., Carrasco, J. N., López, G. V., Higgins, M. L., Escobar, E. M., Castaño, R. S., Gómez, R. L., Rey, X. B., & Arjona, P. G. (2016). El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático. (Vol. 1). WWF-Colombia.
- Arévalo Carla. (2015). Medición de carbono del estrato arbóreo en un área del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza. 187.
- Arrien, A. A., Cerezo, O. D. H., Tobalina, M. P., Nahia Gartzia Bengoetxea, & González, A. A. (2014). Sumideros de carbono de la comunidad autónoma del país Vasco. Capacidad de secuestro y medidas para su promoción. <https://doi.org/10.13140/2.1.3379.9367>
- Ballesteros, H. O. B., & Aristizabal, G. E. L. (2007). Gases de efecto invernadero y el cambio climático. 102.
- Benítez, J. E. L. (2013). El mercado de carbono en el Ecuador. 134.
- Brown, S., Hall, C. A. S., Knabe, W., Raich, J., Trexler, M. C., & Woomer, P. (1993). Tropical forests: Their past, present, and potential future role in the terrestrial carbon budget. *Water, Air, & Soil Pollution*, 70(1-4), 71-94. <https://doi.org/10.1007/BF01104989>

- Business, E. G. S. of. (2019). El mercado de carbono: Una alternativa que apunta a la sostenibilidad. <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/01/el-mercado-de-carbono-una-alternativa-que-apunta-a-la-sostenibilidad/>
- Calderón, D., & Solís, D. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de pino (*Pinus oocarpa*, L) Dipilto, Nueva Segovia, Nicaragua. 79.
- Carle, J., Vuorinen, P., & Lungo, A. (2002). Status and Trends in Global Forest Plantation Development. *Forest Products Journal*, 52(7), 13.
- CENICAFÉ. (2011). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. (Blanecolor S.A.S.). <https://www.cenicafe.org/es/publications/pinus.pdf>
- Cepsa, D. (2015). El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa (p. 14). [https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp\\_Comp/Medio%20Ambiente\\_Seguridad\\_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf](https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf)
- Chacon, M., & Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. CIMMYT.
- CIIFEN. (2019). Ciclos Biogeoquímicos. [http://www.ciifen.org/index.php%3Foption=com\\_content&view=article&id=580%253Aciclos-biogequimicos&catid=98%253Acontenido-1&Itemid=131&lang=es](http://www.ciifen.org/index.php%3Foption=com_content&view=article&id=580%253Aciclos-biogequimicos&catid=98%253Acontenido-1&Itemid=131&lang=es)
- Constitución del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. 218.
- Contreras, F., Leño, C., Licona, J. C., Dauber, E., Gunnar, L., Hager, N., & Caba, C. (1999). Guía para la instalación y evaluación de parcelas permanentes de muestreo. 59.
- Cruzado, L. (2010). Ingeniero en recursos naturales renovables. 165.

- DFM. (2018, agosto 27). Pino pátula. Forestal Maderero. <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/pino-patula.html>
- Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., & Etchevers, J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Et Cham. *Madera y Bosques*, 13(1), 25-34. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1311233>
- Dixon, R. K., Solomon, A. M., Brown, S., Houghton, R. A., Trexier, M. C., & Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263(5144), 185-190. <https://doi.org/10.1126/science.263.5144.185>
- ecuadorforestal. (2013). Planificación Estratégica Plntaciones Forestales en el Ecuador. <https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/>
- Eguren, Lorenzo, German Agency for Technical Cooperation, NU. CEPAL, & NU. CEPAL. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. (2004). El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: Balance y perspectivas.
- Eyherabide, M., Rozas, H. S., Barbieri, P., & Echeverría, H. E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelos. 7.
- FAO. (2011). El papel de los bosques en la mitigación del cambio climático y la adaptación. <http://www.fao.org/3/i2000s/i2000s03.pdf>
- GADPU. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del gobierno autónomo descentralizado de la parroquia Urdaneta 2014-2019. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1160032520001\\_PDO T%20Parroquia%20URDANETA\\_31-10-2015\\_16-15-06.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160032520001_PDO T%20Parroquia%20URDANETA_31-10-2015_16-15-06.pdf)

- Galicia, L., Saynes, V., & Campo, J. (2015). Biomasa Aérea, Subterránea y Necromasa en una Cronosecuencia de Bosques Templados con Aprovechamiento Forestal. *Botanical Sciences*, 93(3), 473. <https://doi.org/10.17129/botsci.66>
- García, R., & Arias, A. (2017). Almacén de carbono en plantaciones de *Pinus patula* y *Pinus ayacahuite* en San Miguel Tenex-tepec, Amanalco, Estado de México. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/322448012\\_Almacen\\_de\\_carbono\\_en\\_plantaciones\\_de\\_Pinus\\_patula\\_y\\_Pinus\\_ayacahuite\\_en\\_San\\_Miguel\\_Tenex-tepec\\_Amanalco\\_Estado\\_de\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/322448012_Almacen_de_carbono_en_plantaciones_de_Pinus_patula_y_Pinus_ayacahuite_en_San_Miguel_Tenex-tepec_Amanalco_Estado_de_Mexico)
- Herrera, M., & Cecilia, A. (2011). Análisis de los impactos en la calidad del suelo causados por el pino (*Pinus patula*) en comparación con el suelo ocupado por *Polylepis* (*Polylepis reticulata*) en el Parque Nacional Cajas. 152.
- Hidalgo, P. (2011). Determinación de las reservas totales de Carbono en un sistema agroforestal de la Selva Alta de Tingo María. *Santiaguino*, 4(1), 87. <https://doi.org/10.32911/as.2011.v4.n1.532>
- Honorio, E., & Baker, T. R. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. <http://repositorio.iiap.gob.pe/handle/IIAP/290>
- Huamán Huamaní, J. J. (2011). Determinación de reservas de carbono en dos sistemas de cultivo con 44 genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Martín.
- IPCC. (2000). Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura: Resumen para responsables de políticas : informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. OMM (Organización Meteorológica Mundial) : PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).

- IPCC. (2007). The Physical Science Basis. of the Working Group I contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC, & CMNUCC. (2005). La captacion y el almacenamiento de dióxido de carbono: Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Ipcc.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, & Working Group III. (2000). Escenario de emisiones: Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC, P. I. de C. C. (2013). Summary for Policymakers 2013. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <http://ecite.utas.edu.au/99278>
- Jadán, O., Cedillo, H., Zea, P., Bermudez, F., Díaz, L., Pillacela, J. P., Gualpa, D. J., Gordillo, N. A., Arciniegas, A. E., Vaca, C. M., & Quizhpe, W. (2019). Regeneración de árboles en ecosistemas naturales y plantaciones de *Pinus patula* (Pinaceae) dentro de un gradiente altitudinal andino (Azuay, Ecuador). *Revista de Biología Tropical*. <https://doi.org/doi.org/10.15517/rbt.v67i1>
- Jaramillo, M., & Renato, P. (2017). Bosques y cambio climático en Ecuador: El regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático. <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/5862>
- Jumbo, C., Arévalo, C., & Ramirez, L. J. (2018). Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural tinajillas- limón indanza, ecuador. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15405>

- Kobayashi, M., Sugisaki, O., Ishii, N., Yamada, O., Ito, K., Kuroki, S., Sasaki, Y., Ono, K., Washizu, T., & Bonkobara, M. (2012). Canine intestinal mast cell tumor with c-kit exon 8 mutation responsive to imatinib therapy. *Veterinary Journal (London, England: 1997)*, 193(1), 264-267. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2011.10.027>
- Larrea, C., Cuesta, F., López, A., Greene, N., Iturralde, P., Maldonado, G., & Suárez, D. (2015). Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad: Una contribución para el sistema nacional de monitoreo del patrimonio natural y para la evaluación del impacto de la implementación de la Estrategia Nacional de Biodiversidad y su Plan de Acción 2015-2020. (MAE, CONDESAN, GIZ, PNUD-FMAM, UASB). Quito, Ecuador. [https://www.undp.org/content/dam/ecuador/docs/documentos%20proyectos%20ambiente/pnud\\_ec](https://www.undp.org/content/dam/ecuador/docs/documentos%20proyectos%20ambiente/pnud_ec)
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. (2017). Carbono orgánico del suelo: El potencial oculto. Food & Agriculture ORG.
- Lera St. Clair, Asunción. (2010). La necesidad de una visión integral del cambio climático (Vol. 23). México D. F., México: CIECAS – IPN. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/7139>
- López, J., & Fernández, M. (2007). Medio ambiente comunitario y Protocolo de Kioto la armonización de la imposición energética o un mercado sobre emisiones de gases de efecto invernadero. Universidad de Granada.
- López, R. (2017). Valoración de carbono en la necromasa y suelo del bosque protector Aguarongo, provincia del Azuay, Ecuador. 70.
- Luque Casanave, Manuel, M. (2010). Inundaciones y calentamiento global. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/16795>

- MAE. (2015). Estadísticas de Patrimonio Natural (p. 20). Ministerio del Ambiente del Ecuador.  
<http://suia.ambiente.gob.ec>
- MAE, M. del A. del E. (2016). Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador. (p. 208).  
Ministerio del Ambiente del Ecuador. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/ecubur1.pdf>
- MAGAP. (2014). Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales.  
<http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2014/06/SPF-folleto-PIF-2014-050614.pdf>
- MAGAP. (2016). Manual de procedimientos para la evaluación de la sobrevivencia y el  
mantenimiento de las plantaciones forestales comerciales. Dirección de Desarrollo forestal.
- Matango, W. (2015). Plantaciones Forestales.  
<https://www.calameo.com/read/0033823345841edb39501>
- Mejía, J., & Moscoso, L. (2010). Efecto de las plantaciones forestales de eucalipto (*Eucalyptus  
globulus*) y pino (*Pinus patula*) en la recuperación del suelo y en la regeneración natural de  
la Cuenca media del río Paute. [Universidad del Azuay].  
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/138/1/07527.pdf>
- Mendiola, A. (2008). Desarrollo del mercado de carbono en el Perú.  
<http://repositorio.esan.edu.pe/handle/ESAN/617>
- Meneses, M. (2017). Determinación de la captura de carbono aéreo y la influencia del manejo en  
plantaciones de *Pinus patula* Schl. Et Cham., en Lasso, provincia de Cotopaxi, Ecuador.  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7547>
- Mirano, L. E. C. (2015). Determinación de la reserva de carbono en un sistema Silvopastoril  
compuesto por Pino Patula (*Pinus patula*) y herbáceas nativas.  
[file:///C:/Users/Wilson%20Tenempaguay/Downloads/FIZ\\_004.pdf](file:///C:/Users/Wilson%20Tenempaguay/Downloads/FIZ_004.pdf)

- Molina. (2013). Determinación del contenido de carbono en la biomasa aérea del páramo de la reserva ecológica Yanacocha. 75.
- Molina, A. B. M., & Cazorla, M. C. (2013). Acciones Legislativas necesarias para la aplicación del Protocolo de Kyoto en el Ecuador. Universidad del Azuay.
- Naizot, A.-L. (2008). El comercio de carbono o las estrategias fatales de la capitalización de la naturaleza. <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/70>
- Olguín, M., Wayson, C., & Richard, B. (2015). Protocolo para la estimación de la dinámica del carbono forestal en sitios de medición intensiva: Un enfoque multi-escala. 143.
- Oliva, M., Mirano, L. C., Leiva, S., Collazos, R., Salas, R., Vásquez, H. V., & Quintana, J. L. M. (2017). Reserva de carbono en un sistema silvopastoril compuesto de *Pinus patula* y herbáceas nativas. *Scientia Agropecuaria*, 8(2), 149-157. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.07>
- Ordóñez, J. A. B., & Masera, O. (2016). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3. <https://doi.org/10.21829/myb.2001.711314>
- Ordóñez, J. A., De Jong, B. H. J., & Masera, O. (2016). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques*, 7(2), 27-47. <https://doi.org/10.21829/myb.2001.721310>
- Orihuela, W. B. (2019). Valoración económica de la reserva de carbono de *Escallonia resinosa* (Ruiz & Pav.) Pers. En San Pedro de Saños y Pucará. Universidad Nacional Del Centro de Perú.
- Pacheco, E., Díaz, M., Quizhpe, W., Asanza, J., & Jadán, Á. (2017). Valoración financiera de una plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham, en la microcuenca Zamora Huayco – Loja, Ecuador. ResearchGate.



- [https://www.researchgate.net/publication/317835551\\_Valoracion\\_financiera\\_de\\_una\\_plantacion\\_de\\_Pinus\\_patula\\_Schiede\\_ex\\_Schltldl\\_Cham\\_en\\_la\\_microcuenca\\_Zamora\\_Huayco\\_-\\_Loja\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/317835551_Valoracion_financiera_de_una_plantacion_de_Pinus_patula_Schiede_ex_Schltldl_Cham_en_la_microcuenca_Zamora_Huayco_-_Loja_Ecuador)
- PNUMA. (2016). El Acuerdo de París y sus Implicaciones para América Latina y el Caribe. [http://www.pnuma.org/cambio\\_climatico/publicaciones/](http://www.pnuma.org/cambio_climatico/publicaciones/)
- Ponce, E. (2017). Valoración Económica del Secuestro y Almacenamiento de Carbono en la Cuenca del Río Coca Mediante el Uso del Software InVEST para los Escenarios Propuestos por el Proyecto TEEB-Ecuador. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17588>
- Power, G. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. *Ingeniería Industrial*, 0(027), 101. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.626>
- Pozo, D. F. P. (2016). El cambio climático y su mitigación: Análisis de la eficiencia de los mercados de carbono en el período 2008 – 2012. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Quinceno, N. J. Q., & Tangarife, G. M. T. (2013). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena piapoco chiguiro- chatare de Barrancominas, departamento del Guainía. 84.
- Regalado, L. (2012, junio 21). Legislación ambiental ecuatoriana. *El Diario Ecuador*. <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/233256-legislacion-ambiental-ecuadoriana/>
- Romo, J. (2016). Evaluación del carbono en la biomasa de 3 especies forestales nativas (*Shiripe-Myrsine dependens*, *Rañas-Viburnum triphyllum*, *Yugyug-Miconia theaezans*) en el bosque Aguarongo. 68.

- Rueda, C. (2014). Estimación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Inga edulis* en Campo Verde, Ucayali. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL\\_5ee7325f370469c363c635140bf388ff](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_5ee7325f370469c363c635140bf388ff)
- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). Seed business management in Africa. CIMMYT.
- Ruiz, A. H. (2019). Cuantificación del servicio ambiental de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en biomasa aérea de las especies de flora en la Zona de Conservación y Recuperación de Ecosistemas (ZoCRE), Humedal del Alto Mayo, sector Santa Elena. Ríoja 2018.
- Sánchez, M. (2019). Ciclo de la materia. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNC\\_1261c10f30106ddc9568f998360c8137](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNC_1261c10f30106ddc9568f998360c8137)
- Schlegel, B. (2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. 13.
- Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. 17.
- Seeberg, C. (2010). Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor. <http://www.fao.org/3/i1632s/i1632s.pdf>
- Serrato, R., Adame, S., López, J., & Flores, D. (2014). Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1), 29. <https://doi.org/10.22490/21456453.905>

- UNFCCC. (2017). Unidos por el clima: Guía de la Convención sobre el cambio climático y el protocolo de Kyoto.
- Valderrama, C. F., Castillo, J. A., Torres, J. C., Guzmán, A. R., Forero, V. F., Duque, C. M., Sepúlveda, Y. A., & Montenegro, S. P. (2019). Secuestro y almacenamiento de carbono. En Servicios ecosistémicos: Un enfoque introductorio con experiencias del occidente Colombiano (pp. 106-117). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD. <https://doi.org/10.22490/9789586516358.06>
- Vásquez, M., & Morales, M. (2019). Valoración económica de la captura de carbono en las especies *Podocarpus sprucei* y *Oreocallis grandiflora* en el Bosque Protector Aguarongo. 243.
- Vergara, W., Fenhann, J., Scheltz, M. C., & UNEP DTU Partnership. (2015). Carbono cero américa latina. UNEP DTU Partnership.
- Vinueza, L. (2015). Determinación del contenido de carbono en el suelo en una plantación de pino (*Pinus radiata* d. Don) implementada en el páramo en la comunidad de Totoras, cantón Alausí, provincia de Chimborazo. 116.
- Vizcaíno, M., & Pupiales, J. (2008). Evaluación del comportamiento de procedencias de *Pinus patula* Schlect. Et Cham en dos sitios en las provincias de Imbabura y Pichincha [Universidad técnica del norte.]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/107/1/03%20FOR%20150%20tesis.pdf>

## 9. ANEXOS

### ANEXO 1. Hojas de campo y laboratorio para el registro de datos.

Hoja de campo para el registro de datos en la biomasa aérea.

<b>Personal:</b>			
<b>Condiciones del sitio</b>			
Cielo: nublado/ parcialmente nublado / neblina / despejado			
Lluvia: fuerte / ligera / ninguna			
Suelo: húmedo / seco			
Viento: fuerte / ligero / nada			
<b>N° de parcela:</b>			
<b>Fecha:</b>			
<b>Coordenadas</b>	<b>X:</b>	<b>Y:</b>	
<b>Comentarios:</b>			
<b>NUMERO DE PLANTA.</b>	<b>ALTURA</b>	<b>DAP</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
	cm	cm	
1			
2			

Hoja de campo para el registro de datos en la hojarasca.

<b>Personal:</b>			
<b>Condiciones del sitio:</b>			
<b>Fecha:</b>			
<b>Coordenadas</b>		<b>X:</b>	<b>Y:</b>
<b>Comentarios:</b>			
NUMERO DE PARCELA	NUMERO DE SUBPARCELA	PESO DE LA HOJARASCA (g)	OBSERVACIONES.

Hoja de campo para el registro de datos en el suelo.

<b>Personal:</b>					
<b>Condiciones del sitio:</b>					
<b>Fecha:</b>					
<b>Coordenadas</b>		<b>X:</b>	<b>Y:</b>		
<b>Comentarios:</b>					
NUMERO DE PARCELA	VOLUMEN DEL CILINDRO	PROFUNDIDAD DE MUESTREO.	PESO DEL SUELO (g)	OBSERVACIONES	

Hoja de laboratorio para el registro de datos de la hojarasca.

<b>Personal encargado:</b>					
<b>Fecha:</b>					
<b>Hora:</b>					
<b>Equipo empleado:</b>					
<b>Observaciones.</b>					
NUMERO DE PARCELA	NUMERO DE SUBPARCELA	T (°C)	PESO FRESCO DE LA HOJARASCA (g)	PESO SECO DE LA HOJARASCA (g)	Contenido de HUMEDAD

Hoja de laboratorio para el registro de datos del suelo.

<b>Personal encargado:</b>					
<b>Fecha:</b>					
<b>Hora:</b>					
<b>Equipo empleado:</b>					
<b>Observaciones:</b>					
NÚMERO DE PARCELA	PROFUNDIDAD DEL SUELO (g)	PESO HÚMEDO DEL SUELO (g)	PESO SECO DEL SUELO (105°C-24h)	PESO CALCINADO DEL SUELO (360°C-2h)	DENSIDAD APARENTE.

**ANEXO 2.** Registro fotográfico de la fase de campo.



ANEXO 2. Instalación de parcelas y restricción de la zona a muestrear.



ANEXO 2. Medición del CAP y la altura de las especies de *Pino patula*.



ANEXO 2. Recolección y almacenamiento de muestras de suelo.



ANEXO 2. Recolección y pesado de la hojarasca.



**ANEXO 3.** Registro fotográfico de la fase de laboratorio.



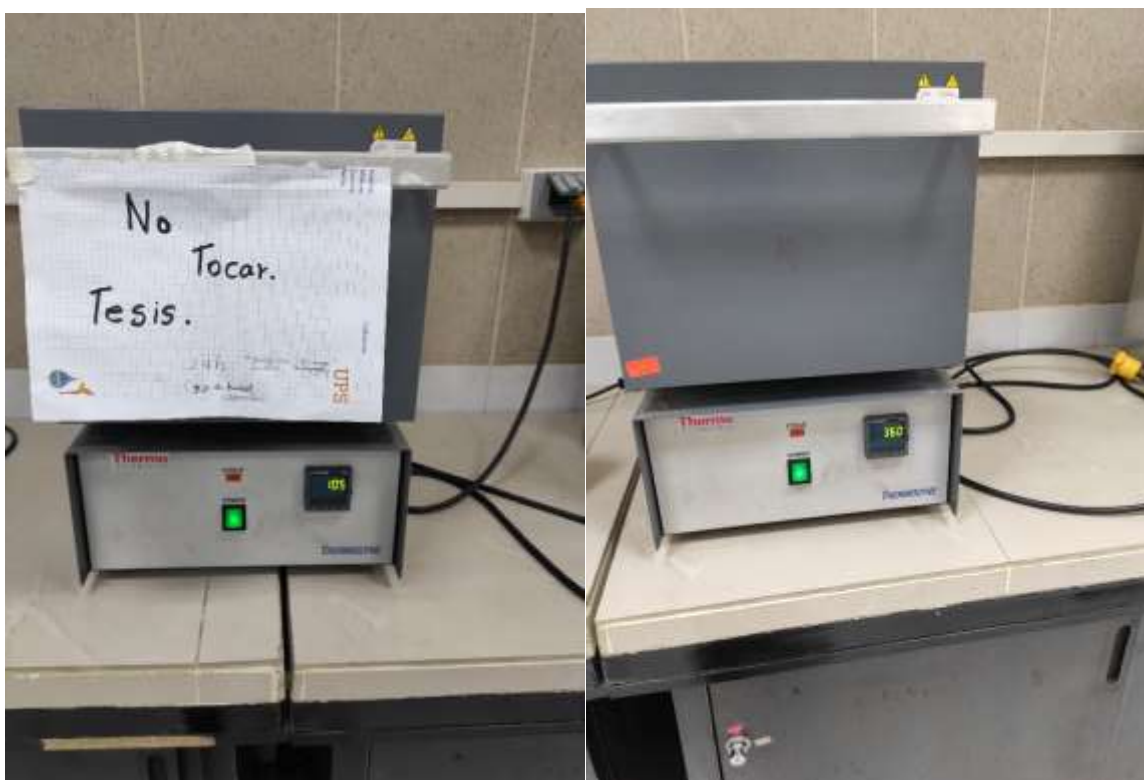
ANEXO 3. Secado y pesado de la hojarasca.



ANEXO 3. Secado y pesado del suelo para determinar la Densidad aparente.



ANEXO 3. Trituración y Tamizado de las muestras de suelo.



ANEXO 3. Secado y calcinado del suelo a 105°C a 360 °C respectivamente.



ANEXO 3. Desechado de las muestras de suelo.



ANEXO 3. Pesado de las muestras de suelo calcinado.