



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL STOCK DE CARBONO DEL
SUELO EN TRES ECOSISTEMAS FORESTALES DE LA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: GABRIELA ELIZABETH PÉREZ ALARCÓN

DIRECTORA: Ing. JOHANNA AYALA IZURIETA PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Gabriela Elizabeth Pérez Alarcón

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Gabriela Elizabeth Pérez Alarcón, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de junio de 2023



Gabriela Elizabeth Pérez Alarcón

C.I. 060534878-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL STOCK DE CARBONO DEL SUELO EN TRES ECOSISTEMAS FORESTALES DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO** realizado por la señorita: GABRIELA ELIZABETH PÉREZ ALARCÓN, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. María Rafaela Viteri Uzcatagui, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-28
Ing. Johanna Ayala Izurieta, PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-28
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-28

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación en primer lugar le dedico a mi Dios, por todas las bendiciones que me ha concedido, en segundo lugar, a mi tutora Ing. Johanna Ayala, a mi asesor el Ing. Andrés Beltrán Mgs. A los técnicos Ing. Franklin Cargua, Ing. Luis Patiño, Ing. Nathalie Figueroa ya que sin su apoyo no hubiera sido posible llegar a culminar esta investigación. A Bryan quien me brindo su mano y apoyo en este proceso final de mi vida universitaria. A demás le dedico a mi madre María Alarcón, a mi abuelita Mercedes Bonilla, a mis hermanos Andrés, Belén y Kevin, porque han sido mi pilar fundamental en mi vida, por cuidarme, guiarme. A mi sobrina Valentina porque llevo alegrarme la vida. A mis amigos Alex, Diana, Stefy, Cris, Bryan, Sharon, Henry, Jean por ser mi segunda familia, por compartir un pedacito de su vida y de amistad conmigo. Finalmente, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y ser mi segundo hogar lleno de experiencias y aprendizajes para mi vida profesional.

Gabriela

AGRADECIMIENTO

Me encuentro agradecida con Dios por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida tanto profesional como personal, por brindarme la salud y la inteligencia que se necesita para ir cumpliendo mis sueños Agradecida con cada uno de los docentes, técnicos quienes me han brindado sus conocimientos para ir formando mi carrera profesional, por su paciencia y dedicatoria en cada clase impartida.

Agradecida con mi Madre, mis hermanos quienes me han brindado su apoyo durante este transcurso por darme su cariño en los momentos en que me sentía derrumbada. Agradecida con mi persona especial quien ha sido un soporte importante en esta última etapa de mi carrera, por brindarme su amor y su apoyo incondicional, por guiarme cuando me encontraba perdida, pero sobre todo agradecida por su compañía en todo momento.

A mis amigos quienes me han brindado su cariño, sus alegrías, y su apoyo por no dejarme sola en mis momentos de tristeza y han sacado una sonrisa en los días de tormentas. En especial a Alex quien más que un amigo, fue como mi hermano que en muchas ocasiones hizo el papel de maestro gracias por las enseñanzas durante nuestra formación.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad.

Gabriela

ÍNDICE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. <i>Objetivo general</i>.....	4
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>.....	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Antecedentes.....	5
1.5. Hipótesis.....	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. La pedogénesis del suelo y sus propiedades.....	7
2.2. Tipos de suelo.....	7
2.2.1. <i>Por estructura</i>.....	8
2.2.1.1. <i>Suelos arenosos</i>.....	8
2.2.1.2. <i>Suelos calizos</i>.....	8
2.2.1.3. <i>Suelos húmíferos</i>.....	8
2.2.1.4. <i>Suelos arcillosos</i>.....	8
2.2.1.5. <i>Suelos pedregosos</i>.....	8
2.2.1.6. <i>Suelos mixtos</i>.....	8
2.2.2. <i>Por sus características físicas</i>.....	9
2.2.2.1. <i>Litsoles</i>.....	9
2.2.2.2. <i>Cambisoles</i>.....	9

2.2.2.3.	<i>Luvisoles</i>	9
2.2.2.4.	<i>Acrisoles</i>	9
2.2.2.5.	<i>Gleysoles</i>	10
2.2.2.6.	<i>Fluvisoles</i>	10
2.2.2.7.	<i>Rendzina</i>	10
2.2.2.8.	<i>Vertisoles</i>	10
2.3.	Propiedades	11
2.3.1.	Propiedades físicas	11
2.3.1.1.	<i>Textura</i>	11
2.3.1.2.	<i>Estructura</i>	11
2.3.1.3.	<i>Porosidad</i>	12
2.3.1.4.	<i>Densidad</i>	13
2.3.1.5.	<i>Temperatura</i>	13
2.3.1.6.	<i>Color</i>	13
2.3.2.	Propiedades químicas	14
2.3.2.1.	<i>Capacidad de intercambio catiónico</i>	14
2.3.2.2.	<i>Acidez del suelo y pH</i>	15
2.3.2.3.	<i>Nutrientes</i>	16
2.3.2.4.	<i>Materia orgánica</i>	16
2.3.3.	Propiedades biológicas	17
2.3.3.1.	<i>Organismos del suelo (biota)</i>	17
2.4.	Principales funciones del suelo	18
2.4.1.	Formación del suelo	18
2.4.1.1.	<i>Sólidos</i>	18
2.4.1.2.	<i>Líquidos</i>	18
2.4.1.3.	<i>Gaseosos</i>	18
2.4.2.	Perfil del suelo	19
2.4.2.1.	<i>Horizonte A</i>	19
2.4.2.2.	<i>Horizonte B</i>	19
2.4.2.3.	<i>Horizonte C</i>	19
2.5.	Importancia del carbono orgánico del suelo en ecosistemas del bosque	20
2.5.1.	El carbono en el suelo	20
2.5.2.	Biomasa	22
2.5.2.1.	<i>Biomasa natural</i>	22
2.5.2.2.	<i>Biomasa forestal</i>	22
2.5.2.3.	<i>Biomasa lignocelulósica</i>	22

2.5.2.4.	<i>Biomasa residual</i>	23
2.6.	Los bosques en el ecuador	23
2.7.	Principales plantaciones forestales en zonas altoandinas	25
2.7.1.	<i>Eucalytus Globulus</i>	25
2.7.2.	<i>Pinus Radiata</i>	25
2.7.3.	<i>Bosque primario</i>	25
2.8.	Secuestro de CO2 (dióxido de carbono) por plantaciones forestales	26
2.8.1.	<i>Balance de carbono</i>	27
2.8.1.1.	<i>Sumideros y fuentes</i>	27
2.8.1.2.	<i>Ciclo del carbono</i>	27

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	29
3.1.	Área de estudio	29
3.1.1.	<i>Parroquia San Juan (Eucalytus Globulus)</i>	29
3.1.2.	<i>Parroquia Palmira (Pinus Radiata)</i>	29
3.1.3.	<i>Comunidad San Pedro de Lluclud (Bosque Primario)</i>	29
3.2.	Según el enfoque de estudio	30
3.2.1.	<i>Cuantitativa</i>	30
3.3.	Según el área de estudio	30
3.3.1.	<i>Descriptiva</i>	30
3.4.	Según el método usado	31
3.4.1.	<i>Deductivo</i>	31
3.5.	Diseño de la investigación	31
3.6.	Muestra	31
3.6.1.	<i>Tamaño de muestra</i>	31
3.6.1.1.	<i>Determinación de la muestra de estudio</i>	31
3.6.1.2.	<i>Cálculos para obtener número de puntos a muestrear por cada ecosistema forestal.</i> 32	
3.6.2.	<i>Muestreo</i>	33
3.6.2.1.	<i>Eucalytus Globulus</i>	35
3.6.2.2.	<i>Pinus Radiata</i>	36
3.6.2.3.	<i>Bosque Primario</i>	37
3.7.	Materiales y equipos	39
3.7.1.	<i>Materiales</i>	39
3.7.2.	<i>Equipos</i>	40

3.8.	Toma de muestra	40
3.9.	Análisis de laboratorio	41
3.9.1.	<i>pH y Conductividad eléctrica en húmedo</i>	41
3.9.2.	<i>pH y CE en seco</i>	42
3.9.3.	<i>Humedad</i>	42
3.9.4.	<i>Densidad aparente</i>	43
3.9.5.	<i>Densidad real</i>	44
3.9.6.	<i>Secado y tamizado</i>	45
3.9.7.	<i>Color</i>	45
3.9.8.	<i>Textura</i>	45
3.9.8.1.	<i>Método del tacto</i>	45
3.9.8.2.	<i>Método Bouyoucos</i>	47
3.9.9.	<i>Necromasa</i>	48
3.9.10.	<i>Materia orgánica</i>	49
3.9.11.	<i>Carbono orgánico</i>	50

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
4.1.	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	51
4.1.1.	<i>Eucalytus Globulus</i>	51
4.1.2.	<i>Pinus Radiata</i>	54
4.1.3.	<i>Bosque Primario</i>	58
4.2.	Discusión	61
4.3.	Estadístico	62
4.4.	Comprobación de la hipótesis	63

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1.	Conclusiones	64
5.2.	Recomendaciones	66

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1:	Coordenadas correspondientes a los conglomerados de Eucalytus Globulus	35
Tabla 3-2:	Coordenadas correspondientes a los conglomerados de Pinus Radiata	36
Tabla 3-3:	Coordenadas correspondientes a los conglomerados de Bosque Primario	37
Tabla 3-4:	Materiales de campo y laboratorio	39
Tabla 3-5:	Equipos de campo y laboratorio.....	40
Tabla 3-6:	Porcentajes de materia orgánica.....	50
Tabla 4-1:	Parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC	51
Tabla 4-2:	Concentración de necromasa en el suelo de Eucalytus Globulus.....	52
Tabla 4-3:	Porcentajes de arcilla, limo y arena del Eucalytus Globulus.....	53
Tabla 4-4:	Parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC	54
Tabla 4-5:	Concentración de necromasa en el suelo de Pinus Radiata.....	56
Tabla 4-6:	Porcentajes de arcilla, limo y arena del Pinus Radiata.....	56
Tabla 4-7:	Parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC	58
Tabla 4-8:	Concentración de necromasa en el suelo de Bosque Primario	60
Tabla 4-9:	Porcentajes de arcilla, limo y arena del Bosque Primario	60
Tabla 4-10:	Resumen estadístico para el %COS	62
Tabla 4-11:	Resumen estadístico para el % COS	62
Tabla 4-12:	Tabla ANOVA para %COS por Bosque	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Propiedades del suelo por su estructura.....	9
Ilustración 2-2:	Propiedades del suelo por sus características físicas	10
Ilustración 2-3:	Estructura del suelo	12
Ilustración 2-4:	Porosidad del suelo.....	12
Ilustración 2-5:	Densidad del suelo.....	13
Ilustración 2-6:	Color del suelo- Tabla de Munsell	14
Ilustración 2-7:	Intercambio catiónico del suelo.....	15
Ilustración 2-8:	pH del suelo.....	15
Ilustración 2-9:	Nutrientes del suelo	16
Ilustración 2-10:	Materia orgánica del suelo.....	17
Ilustración 2-11:	Organismos del suelo	17
Ilustración 2-12:	Perfil del suelo – Horizontes	20
Ilustración 2-13:	Ciclo del carbono.....	21
Ilustración 2-14:	Biomasa del suelo.....	23
Ilustración 2-15:	Diagrama de Holdridge	24
Ilustración 3-1:	Ubicación de los ecosistemas forestales en la provincia de Chimborazo...	30
Ilustración 3-2:	Determinación de las áreas de producción forestal para el estudio en la provincia de Chimborazo	33
Ilustración 3-3:	Procedimiento realizado para el muestreo.....	34
Ilustración 3-4:	Vista planta del conglomerado	38
Ilustración 3-5:	Vista lateral del conglomerado	39
Ilustración 3-6:	Fases para la toma de muestras	40
Ilustración 3-7:	Procedimiento para el método del tacto	46
Ilustración 4-1:	Esquema de los parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC	51
Ilustración 4-2:	Esquema de la necromasa analizada en el laboratorio GIDAC	52
Ilustración 4-3:	Esquema de Bouyoucos analizado en el laboratorio GIDAC.....	53
Ilustración 4-4:	Esquema de los parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC	55
Ilustración 4-5:	Esquema de la necromasa analizada en el laboratorio GIDAC	56
Ilustración 4-6:	Esquema de Bouyoucos analizado en el laboratorio GIDAC.....	57
Ilustración 4-7:	Esquema de Bouyoucos analizado en el laboratorio GIDAC.....	59
Ilustración 4-8:	Esquema de la necromasa analizada en el laboratorio GIDAC	60

Ilustración 4-9:	Esquema de los parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC	61
-------------------------	--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	PESAJE DE LA NECROMASA
ANEXO B:	PESAJE DE LAS MUESTRAS DE SUELO
ANEXO C:	PROBETAS - MEDICIÓN BOUYOUCUS
ANEXO D:	PICNÓMETROS UTILIZADOS PARA MEDIR LA DENSIDAD REAL
ANEXO E:	BATIDORA -MÉTODO DE BOUYOUCUS
ANEXO F:	BOSQUE PRIMARIO
ANEXO G:	SECADO AL AIRE LIBRE DE LAS MUESTRAS
ANEXO H:	SECADO DE MUESTRAS EN LA ESTUFA
ANEXO I:	PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA MEDIR PH Y CE
ANEXO J:	TAMIZADO DE MUESTRAS
ANEXO K:	CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS
ANEXO L:	MEDICIÓN DE LOS CILINDROS PARA LA DENSIDAD APARENTE
ANEXO M:	MEDICIÓN DEL CUADRANTE PARA LA NECROMASA
ANEXO N:	ORGANISMOS DEL SUELO DEL BOSQUE PRIMARIO
ANEXO O:	PREPARACIÓN DE MUESTRAS
ANEXO P:	ETIQUETADO DE MUESTRAS
ANEXO Q:	MEDICIÓN DE PH
ANEXO R:	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS
ANEXO S:	PERFORACIÓN DEL SUELO PARA LA TOMA DE MUESTRAS
ANEXO T:	PESAJE DE MUESTRAS EN CAMPO

RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como finalidad valorizar la capacidad de almacenamiento del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas forestales ya que es de suma importancia debido a su alta vulnerabilidad frente al cambio climático en los últimos años. Esta investigación es de tipo descriptivo puesto que se emplearon métodos para detallar cada una de las propiedades físico- químicas como las características del stock de carbono almacenado en los diferentes tipos de suelos y la necromasa de los ecosistemas forestales, ya que se necesita datos específicos para estimar la concentración de carbono orgánico presentes en cada ecosistema forestal. Para la delimitación del área de estudio, se lo realizó con la ayuda de la herramienta de información geográfica ArcGis para llegar a conocer con exactitud las áreas de los ecosistemas forestales que se muestrearon dentro de la provincia de Chimborazo, para el *Eucalytus Globulus* se estimó una superficie de 10,6 ha; para *Pinus Radiata* se estimó una superficie de 142 ha; y para el *Bosque Primario* se estimó una superficie de 57,2 ha. Se evaluó el contenido de stock de carbono de los 3 ecosistemas forestales dándonos como mayor concentración en el *Bosque primario* con un porcentaje de 9,7323% siendo en tC/ha $1852,29 \pm 0,09$, luego se encuentra la plantación de *Pinus Radiata* con un porcentaje de 1,0667% siendo en tC/ha $255,01 \pm 0,09$; y por último lugar se coloca la plantación de *Eucalytus Glubulus* con un porcentaje de 0,7404 % siendo en tC/ha $163,02 \pm 0,03$.

Palabras clave: <STOCK DE CARBONO>, <ORGÁNICO>, <ECOSISTEMA FORESTAL>, <GASES DE EFECTO INVERNADERO>, <CONTAMINACIÓN>, <CICLO DEL CARBONO>, <SUMIDEROS>.

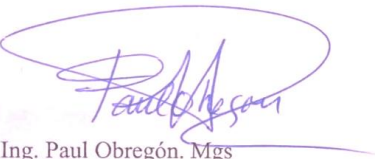
1485-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This research aimed to value the storage capacity of soil organic carbon in forest ecosystems since it is essential due to its high vulnerability to climate change in recent years. This research is descriptive since methods were used to detail each of the physical-chemical properties, such as the characteristics of the carbon stock stored in the different types of soils and the necromass of forest ecosystems. Specific data is needed to estimate the organic carbon concentration in each forest ecosystem. The study area's delimitation was carried out with the help of the geographic information tool ArcGIS to get to know the areas of the forest ecosystems sampled within the province of Chimborazo. For Eucalyptus Globulus, an area of 10.6 ha was estimated; for Pinus Radiata, 142 ha was estimated; and for the Primary Forest, an area of 57.2 ha was estimated. The carbon stock content of the three forest ecosystems was evaluated, giving us the highest concentration in the primary forest with a percentage of 9.7323%, 1852.29 ± 0.09 in tC/ha. Then there is the Pinus Radiata plantation. With a percentage of 1.0667% being in tC/ha 255.01 ± 0.09 . Lastly, the plantation of Eucalyptus Globulus is placed with a percentage of 0.7404%, being 163.02 ± 0.03 in tC/ha.

Keywords: <CARBON STOCK>, <ORGANIC>, <FOREST ECOSISTEM>, <GREENHOUSE GASES>, <POLUTION >, <CARBON CYCLE>, <SINKS>



Ing. Paul Obregón. Mgs
0601927122

INTRODUCCIÓN

El suelo se ha convertido en una importante reserva de carbono, ya contiene más carbono que en la atmósfera junto con la vegetación terrestre. El suelo es uno de los recursos más vulnerables del mundo frente a los cambios climáticos. El carbono orgánico del suelo también conocido como (COS) es dinámico, sin embargo, los impactos antropogénicos sobre el suelo pueden convertirlo en un desagüe o una fuente neta de gases de efecto invernadero (GEI). La protección y el monitoreo de las reservas de COS tanto a nivel nacional como global todavía se enfrentan a desafíos complicados. Una vez que el carbono entra en el suelo en forma de material orgánico debido a la fauna y flora del suelo, este puede persistir durante décadas, siglos e incluso milenios, el COS se puede perder en forma de CO₂ o CH₄, el cual es emitido de nuevo a la atmósfera como material erosionado o como carbono orgánico disuelto, que llega a desembocar en ríos y océanos (Martinez, 2014, pp. 1-67).

Uno de los grandes desafíos ambientales para la sociedad en la actualidad es el cambio climático, porque el incremento de sus indicadores contribuyen a la generación de los GEI, especialmente del dióxido de carbono (CO₂); por ello el análisis de la reserva o “Stock” de Carbono que se almacenan en los ecosistemas forestales como los bosques en sus diferentes componentes es de suma importancia; porque son considerados como los más importantes sumideros de carbono según los estudios de entidades de gran importancia como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Castañeda y Montes, 2017, pp. 50-62).

Existen cuatro reservas grandes de carbono orgánico que son la atmósfera, los océanos, los ecosistemas terrestres y los combustibles fósiles; el carbono llega a integrar cerca del 0.27% de la masa de los elementos que conforman la corteza terrestre, aun cuando la materia seca representa alrededor del 50 %. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura realizó un estudio comparativo donde muestra la diferencia que hay entre las concentraciones de carbono que contienen distintos suelos: i) en zonas áridas 4kg/m²; ii) regiones polares 21-24 kg/m²; iii) zonas tropicales 8-10kg/m²; iv) paramos hasta el 60 kg/m². Es por ello que se pone en evidencia que los ecosistemas terrestres poseen potencial y ayudan a la mitigación de los efectos negativos que son ocasionados por el cambio climático (García, 2018, pp. 20-93).

En el callejón interandino es caracterizado por contener suelos de origen volcánico que constituyen menos del 1 % de la superficie terrestre presentando una elevada capacidad para la retención de humedad, poseer una baja densidad aparente, un alto contenido de carbono

orgánico que lo diferencia de suelos que son originados por otros materiales. Los bosques que se encuentran ubicados en los Andes que se extienden por varios países como: Ecuador, Perú, Colombia, Bolivia y Venezuela y cuya importancia establecen que son reservorios de biodiversidad y su papel fundamental en la provisión de los diferentes servicios ecosistémicos en el almacenamiento de carbono ya que son catalogados ecosistemas frágiles y estratégicos por estar ubicados en zonas de recarga de cuencas hidrográficas (Martinez, 2014, pp. 1-67).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El principal desafío ambiental en los últimos años ha sido el cambio climático puesto que sus efectos llegan a ser globales, es más complejo ya que involucran muchos aspectos que están interconectados al sistema climático, sus impactos son muy graves y compuestos debido a las complicadas estructuras sociales, económicas a nivel nacional como internacional. El incremento especialmente del CO₂ como indicadores del cambio climático y contribuye al incremento del GEI, es por esto que el análisis de la reserva del stock de carbono que se almacenan en los ecosistemas forestales como los bosques en sus diferentes componentes es de suma importancia, puesto que son considerados los sumideros más importantes de carbono según el estudio de la entidad más importante como el IPCC. Es por ello que la preocupación de la comunidad científica va en aumento por el incremento de los espacios despojados, la expansión de la agricultura industrializada con el pasar de los años, la tala excesiva de bosques que son causados por las actividades antropogénicas acelerando así el desarrollo del cambio climático (Huamán et al., 2021, pp. 27-56).

La gran demanda del mercado económico está causando efectos irreversibles en la Tierra, es por eso que se han ido formando acuerdos mundiales como es el protocolo de Kioto en donde se propusieron los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL); el cual incluye al mercado los bonos de carbono en el sector industrial dándole así el valor económico a un determinado ecosistema a las reservas o stock de carbono que está almacenado propuesto por el libro de Reducción de las Emisiones Productos de la Deforestación y la Degradación Ambiental (REDD). Los países que generan una gran cantidad de biomasa vegetal y que actúan como pulmón para poder limpiar la atmósfera a través de la captación de CO₂ mediante el proceso de fotosíntesis, son los países en desarrollo (Yaguache, 2022, pp. 1-6).

Hay países industrializados que llegan a pagar por tal servicio dando como resultado que sea más barato obtener Certificados de Reducción (CERs) que se encarga de reducir las emisiones de CO₂ de manera in situ, lo cual no debería ser la solución, sino que se debería introducir tecnologías más limpias; los bosques andinos son ecosistemas que se encuentran ubicados alrededor de los 3.500 m.s.n.m y que se conocen como los guardianes de la vida en el planeta, este beneficio va desde el ámbito local como al ámbito mundial; también son claves para poder

regular las variaciones de temperatura, creando microclimas. Algunos de los factores ambientales como la climatología, topografía, hidrología y tipología eco sistemática del lugar y los factores ambientales del suelo como la humedad, pH, temperatura, y otros factores influyen directamente en las reservas de carbono en los ecosistemas forestales: biomasa aérea, sotobosque y suelo (Burbano, 2018, pp. 1-30).

El desgaste de COS debido a la remoción de la cobertura vegetal acelera los procesos de emisión de CO₂, sabemos que es una de los principales gases de efecto invernadero siendo expulsado a la atmosfera, el problema llega cuando este gas se encuentra concentrado en grandes cantidades debido a la gran actividad humana, al crecimiento industrial tanto como social, las consecuencias son muy discutibles como diversas, especialmente porque puede provocar el aumento de la temperatura global, generando efectos adversos en las corrientes marinas, en los movimientos atmosféricos y las dinámicas terrestres en general (Pinos et al., 2021, pp. 1-123).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Valorizar la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo en tres ecosistemas forestales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las áreas de producción forestal para el estudio en la provincia de Chimborazo.
- Determinar la incidencia de la biomasa de las plantaciones forestales en las concentraciones de carbono orgánico del suelo (COS).
- Evaluar el stock de carbono del suelo en bosque de *Eucalytus Globulus*, *Pinus Radiata* y *Bosque Primario*.

1.3. Justificación

Es de interés para la comunidad científica realizar este tipo de investigaciones porque en base a los resultados que se van obteniendo, se puede plantear una perspectiva más detallada de cómo afecta el cambio climático en los ecosistemas forestales, también se podrá valorar económicamente un ecosistema que servirá como guía para la gestión ambiental como es la implementación y cumplimiento de las políticas ambientales, para llegar a entender de mejor

manera el ambiente geográfico a nivel ecológico (Eyzaguirre, 2013, pp. 5-147).

El Ecuador gracias a su ubicación geográfica se hace beneficiario de tener una gran biodiversidad, pero en la actualidad por los efectos de los problemas ambientales a nivel global como es el cambio climático que vienen incrementándose por causa de las diferentes actividades antropogénicas; es por ello que estas indagaciones en el campo de la Ingeniería Ambiental son necesarias en el aspecto científico tomando en cuenta la diversidad de los ecosistemas altoandinos con el fin de comprobar que las acciones humanas influyen en la aceleración del calentamiento global (Navarro y Gines, 2003, pp. 1-253).

Sin embargo, la estimación del stock de carbono es una alternativa para el desarrollo sostenible, porque proporciona una viabilidad técnica para el financiamiento de proyectos, sobre la captura de carbono orgánico almacenado en los bosques, esto por el costo por tonelada de carbono si es superior a 5US\$/t C, llegando hacer una herramienta clave en las operaciones de conservación, mitigación ambiental y preservación (Rodríguez, 2017, pp. 32-74).

El reducir las emisiones de CO₂ ayuda a la regulación de gases y a disminuir el efecto invernadero, se considera apropiado que las poblaciones formen parte de las investigaciones para conocer a detalle cuales de las diferentes actividades humanas intervienen en el contenido del carbono orgánico del suelo (Pardos, 2010, pp. 5-253).

1.4. Antecedentes

El secuestro y la captura de carbono se ha convertido en un tema que forma parte de la agenda ambiental a nivel global, siendo un fenómeno provocado por el cambio climático y por el aumento de los gases de efecto invernadero. Los ecosistemas vegetales tienen la capacidad de capturar el carbono atmosférico y convertirlo en moléculas orgánicas mediante el proceso de fotosíntesis, pero también lo liberan por procesos naturales de respiración, declinación y muerte (Rosero, 2019, pp. 1-93).

Los bosques juegan un papel fundamental en el ciclo global del carbono (C), tienen la capacidad de almacenar el carbono en la vegetación y en el suelo por largos periodos. Son considerados una alternativa para contrarrestar el CO₂ atmosférico, por medio del intercambio de carbono a la atmosfera mediante el proceso de fotosíntesis y de respiración. Es por esto que es esencial comprender que el carbono es un elemento que se encuentra en diversos tipos de biomasa y que expresado como toda la materia orgánica tanto viva como muerta y que se genera a partir de un

proceso biológicos (Martinez, 2014, pp. 1-67).

Los depósitos de COS naturales son un balance dinámico entre la absorción del material vegetal muerto conocido como necromasa y la pérdida por mineralización, es conocida como la gran porción de biomasa que contiene los nutrientes del ecosistema, entre los elementos que conforman la necromasa encontramos madera muerta, hojarasca (hojas, ramas, cascara de frutos) que se encuentran sobre el suelo en sus diferentes estados de descomposición, siendo un componente esencial en el ciclo del carbono en los ecosistemas forestales y un reservorio a mediana y largo plazo, además que ofrece distintos servicios a los seres vivos del bosque. Al llegar a conocer las cantidades que los bosques albergan se posibilita una adecuada gestión de los recursos naturales mediante un manejo responsable para en el futuro garantizar la permanencia de los mismos (Castañeda y Montes, 2017, pp. 50-61).

La necromasa y su acumulación de carbono depende de las tasas de producción de los diferentes tipos de vegetal y de la descomposición, la disponibilidad de carbono presente en el suelo esta influenciado por la biomasa área y factores como la textura, profundidad, densidad aparente y por procesos de erosión, mineralización y de lixiviación (Rodríguez, 2017, pp. 32-74).

1.5. Hipótesis

Las especies forestales introducidas captan o secuestran concentraciones variables de carbono orgánico del suelo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La pedogénesis del suelo y sus propiedades

El termino suelo se deriva del latín *solum* que significa piso, se denomina a la capa superficial de la corteza terrestre siendo biológicamente activa para el crecimiento de las plantas. Para el punto de vista geológico se describe al suelo como el producto de la erosión de las rocas y de restos de materia orgánica en estado de descomposición, lo que justifica su continua evolución y a su vez la gran variedad de suelos (Loyola, 2017, pp. 1-70).

Algunos de los procesos pueden contribuir a crear un suelo particular siendo estos, la deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización y deposición de material orgánico. Así como una variedad de microbios del suelo como son bacterias, archea, hongos que se alimentan de compuestos simples es decir de los nutrientes que son liberados por la meteorización, produciendo ácidos orgánicos y proteínas especializadas que ayudan a la meteorización mineral, también ayudan a la formación de humus, las raíces de las plantas con sus respectivos hongos micorrizas simbióticos pueden extraer nutrientes de las rocas (Gualpa et al., 2019, pp. 1-50).

Pero independientemente del origen del suelo este tiene como función que es soportar una vegetación y donde se debe dar las condiciones adecuadas para el desarrollo de las plantas, bajo este enfoque se analiza una concepción fisiológica vegetal que define al suelo como la mezcla de partículas sólidas pulverulentas de agua y de aire, que contiene los elementos nutritivos necesarios para las plantas, sirviendo como sustento de una vegetación (Llanos & Carlos, 2016, pp.1-61).

2.2. Tipos de suelo

Hay dos clasificaciones según su estructura y por sus características físicas

2.2.1. Por estructura

2.2.1.1. Suelos arenosos

Son suelos que no retienen agua y poseen poca materia orgánica no son aptos para la agricultura.

2.2.1.2. Suelos calizos

Son suelos que tienen abundancia en sales calcáreas, tienen un color blanco o pardo, se encuentran en lugares secos y áridos, no son aptos para la agricultura.

2.2.1.3. Suelos húmíferos

Son suelos que poseen abundante materia orgánica en descomposición, de color oscuro, retienen agua y son excelentes para el cultivo.

2.2.1.4. Suelos arcillosos

Son suelos que están formados por granos finos de color amarillo o rojizo, retienen el agua en forma de charcos si estos suelos se llegan a mezclar con humus pueden ser buenos para el cultivo.

2.2.1.5. Suelos pedregosos

Son suelos formados por rocas de todos los tamaños, no son capaces de retener agua y no son aptos para el cultivo.

2.2.1.6. Suelos mixtos

Son suelos con características intermedias entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos (Jaurixje, 2013, pp. 1-75).



Ilustración 2-1: Propiedades del suelo por su estructura

Fuente: (EOS DATA ANALYTICIS, 2020)

2.2.2. *Por sus características físicas*

2.2.2.1. *Litsoles*

Son suelos que aparecen en escarpas y afloramientos rocosos, su espesor es > 10 cm, sostiene una vegetación baja. También conocidos como leptosoles que significan delgado.

2.2.2.2. *Cambisoles*

Son suelos jóvenes con un proceso inicial de acumulación de arcilla, se dividen en crómicos, eutrícos, y gleycos.

2.2.2.3. *Luvisoles*

Son suelos que presentan un horizonte de acumulación de arcilla con una saturación mayor al 50 %.

2.2.2.4. *Acrisoles*

Son suelos que presentan un horizonte de acumulación de arcilla y de baja saturación de bases al 50 %.

2.2.2.5. *Gleysoles*

Son suelos que presentan agua de forma permanente o semipermanente con fluctuaciones a nivel freático en los primeros 50 cm.

2.2.2.6. *Fluvisoles*

Son suelos jóvenes que se forman por los depósitos fluviales, la mayoría de estos suelos son ricos en calcio.

2.2.2.7. *Rendzina*

Son suelos que presentan un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad, es un suelo rico en materia orgánica que esta sobre las rocas caliza.

2.2.2.8. *Vertisoles*

Son suelos de color negro arcillosos, presentan procesos de expansión y de contracciones y se localizan en superficies de baja pendiente y están cerca de escurrimientos superficiales (Jaurixje, 2013, pp. 1-75).



Ilustración 2-2: Propiedades del suelo por sus características físicas

Fuente: (UNLP, 2020).

2.3. Propiedades

En base a su naturaleza de los componentes, así como el modo en que sus partículas solididad se unen, presentan propiedades físicas, químicas y biológicas que llegan a determinar las cualidades aptas para la agricultura (Martínez y López, 2001, pp. 1-10).

2.3.1. Propiedades físicas

Estas características son permanentes es decir son difíciles de modificar, cuando una de ellas es lo suficientemente desfavorable como para limitar la capacidad del uso del suelo para determinados cultivos (Martínez y López, 2001, pp. 1-10).

2.3.1.1. Textura

Esta propiedad determina la proporción en que las partículas minerales se constituyen en la tierra fina de un suelo en diferentes tamaños y se puede agrupar en tres grandes grupos: las arenas que son partículas de un tamaño comprendido entre 2 – 0,05 mm; el limo que son partículas de un tamaño comprendida entre 0, 05 – 0,002 mm y la arcilla que son partículas de tamaño inferior a 0,002 mm (Gualpa et al., 2019, pp. 1-50).

2.3.1.2. Estructura

Se basa en la forma de las partículas del suelo que se unen para formar agregados y afecta directamente a la aireación, así como el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica y crecimiento radicular y la resistencia de la erosión. El agua es el componente que afecta elementalmente a la estructura del suelo debido a su solución y precipitación de minerales, así también como los efectos en el crecimiento de las plantas (García, 2018, pp. 20-93).

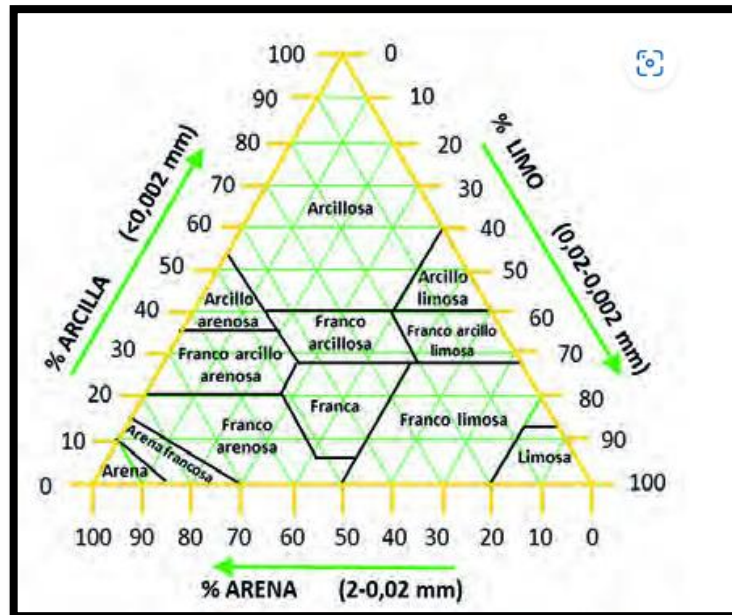


Ilustración 2-3: Estructura del suelo

Fuente: (Intagri, 2020).

2.3.1.3. Porosidad

Es el porcentaje del volumen del suelo que no está ocupado por sólidos, por lo general el volumen del suelo está constituido por el 50 % de materiales sólidos (45% de minerales y 5% de materia orgánica) y el otro 50% corresponde al espacio poroso. Dentro de este espacio poroso se puede diferenciar macro y micro poros donde el aire, agua, nutrientes y gases pueden circular o detenerse. Los micro poros son los que retiene el agua y parte de ella está disponible para las plantas, los macro poros son lo que no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad y son responsables de la aireación del suelo y del drenaje (Yaguache, 2022, pp. 1-6).

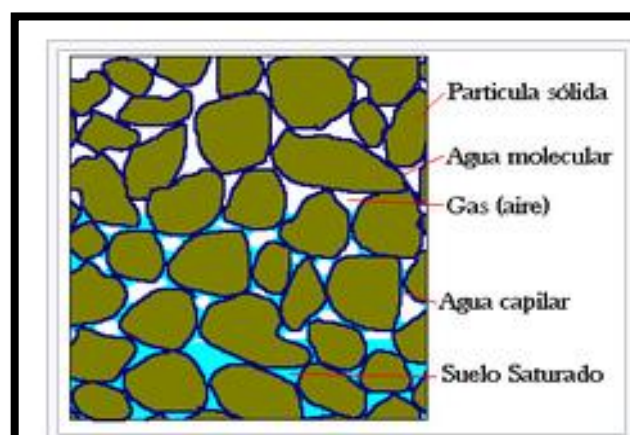


Ilustración 2-4: Porosidad del suelo

Fuente: (AGRO KREPS, 2021).

2.3.1.4. Densidad

Es el peso por volumen del suelo que influye en la distribución de la vegetación, existe dos tipos de densidad, la densidad real que es el de las partículas densas del suelo y varía con los elementos que lo constituyen. La densidad aparente alta nos indica si un suelo es compacto es decir tiene partículas granulares como la arena y la densidad baja que nos indica un ambiente que está adecuado para el crecimiento de las plantas, los suelos que son más densos son capaces de contener más cantidad de vegetación (Loyola, 2017, pp. 1-70).

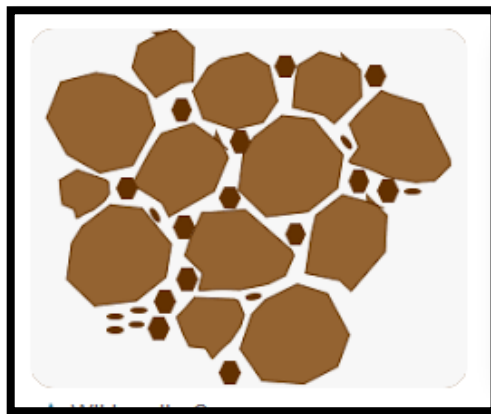


Ilustración 2-5: Densidad del suelo

Fuente: (AGRO KREPS, 2016).

2.3.1.5. Temperatura

La temperatura puede llegar a afectar de diferentes maneras, entre las distintas capas del suelo encontramos diferencia de temperaturas, esto se debe a la probabilidad de contracción y expansión del aire en los poros, así como la tendencia que tiene el aire caliente para moverse hacia arriba causando el intercambio gaseoso entre los horizontes con la atmósfera. Entre el suelo y la atmósfera por lo general tienen diferentes temperaturas (Rosero, 2019, pp. 1-93).

2.3.1.6. Color

Para el color va a depender de sus componentes y varía con el porcentaje de humedad que se encuentra presente en el suelo, nos permite llegar a describir los diferentes tipos de suelos y no afecta al crecimiento de las plantas, pero sí tiende a afectar en la temperatura y la humedad del mismo, mientras mayor sea la energía calorífica que está presente en el suelo mayor será la evaporación y la temperatura (Llanos y Carlos, 2016, pp. 1-61).

El color también nos indica de manera general algunas propiedades del suelo en cuanto al contenido de materia orgánica, el drenaje o la aireación, los suelos oscuros si se encuentran en un lugar bajo las mismas condiciones ambientales tienden a secarse más rápido que los suelos secos, mientras que los suelos húmedos son más oscuros que los secos esto debido a la absorción de la luz que es mayor y ayuda al incremento del suelo y con eso al desarrollo acelerado del cultivo (Pardos, 2010, pp. 5-253).

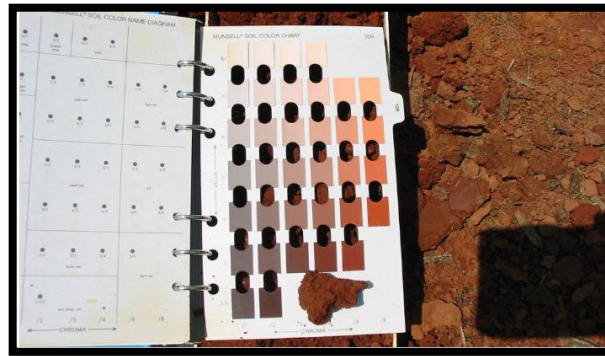


Ilustración 2-6: Color del suelo- Tabla de Munsell

Fuente: (Portal Frutícola, 2016).

2.3.2. Propiedades químicas

La reacción del suelo se debe tanto al grado de acidez como el de basicidad, y que generalmente se expresa por medio de un valor de pH del sistema suelo-agua.

2.3.2.1. Capacidad de intercambio catiónico

Se encarga de medir la capacidad que tiene el suelo para poder retener e intercambiar cationes, dependiendo de la cantidad de sitios que contengan cargas negativas que es disponibles en las micelas que son formadas en las arcillas y el humus. La capacidad catiónica se mide en cmol (+) /kg (García, 2018, pp. 20-93).

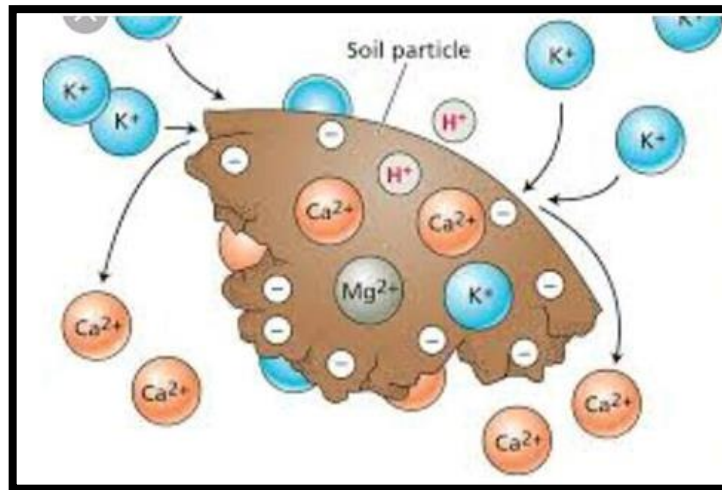


Ilustración 2-7: Intercambio catiónico del suelo

Fuente: (Tiloom, 2016).

2.3.2.2. Acidez del suelo y pH

Llega afectar la disponibilidad de los nutrientes e influye sobre los componentes físicos y biológicos del suelo, es un da de las principales variables debido a que controla algunos procesos químicos que este tienen lugar. Se define como el algoritmo base 10 negativo de la actividad de los iones hidronio en una solución, el índice vari de 1 a 14, un pH 7 viene hacer neutro, un pH por debajo de 7 es ácido y un pH por encima de 7 viene hacer básico (Eyzaguirre, 2013, pp. 5-147).

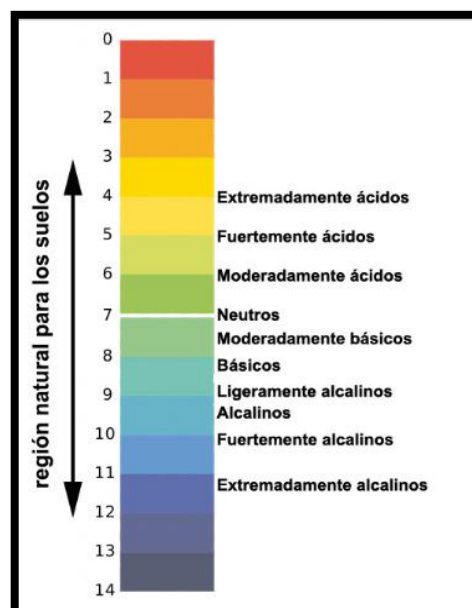


Ilustración 2-8: pH del suelo

Fuente: Edafología.net, 2020.

2.3.2.3. Nutrientes

Son sustancias químicas disueltas en la humedad del suelo que son necesarias para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, los nutrientes vitales son 13 elementos minerales que son imprescindibles ya que si un suelo contiene cero gramos de los elementos las plantas no llegan a crecer. Los 13 esenciales se clasifican en macronutrientes y micronutrientes; los macronutrientes se dividen en primarios (N, P, K) y secundarios (S, Mg, Ca); y los micronutrientes (Zn, Fe, Mn, Cu, Cl, B, Mo). La disponibilidad de los nutrientes llega a depender de algunos factores como pH, textura, material parental, clima, el tipo de arcilla (Burbano, 2018, pp. 1-30).



Ilustración 2-9: Nutrientes del suelo

Fuente: (Proain, 2020).

2.3.2.4. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo se define como una mezcla de sustancias orgánicas que contienen carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, fosforo y azufre que provienen de la descomposición de los residuos orgánicos en el suelo, la materia orgánica está conformada por varios componentes vivos (raíces, microorganismos, fauna) y no vivos (hojarasca, raíces muertas, metabolitos microbianos, sustancias húmicas). Los macro y microorganismos del suelo junto con las raíces conforman la parte viva de la materia orgánica y llegan alcanzar el 5 %, mientras que el otro 95 % lo conforma la parte inerte de la materia orgánica (Rodríguez F. , 2014, pp. 23-98).



Ilustración 21-10: Materia orgánica del suelo

Fuente: (Cropaia, 2020).

2.3.3. *Propiedades biológicas*

2.3.3.1. *Organismos del suelo (biota)*

Son los que representan una gran parte de la biodiversidad terrestre global como los macroorganismos como las lombrices de tierra, milpiés y microorganismos como las bacterias y los protozoos. Los organismos del suelo juegan un papel importante ya que son los encargados de descomponer la materia orgánica, reciclar nutrientes, generar humus, estructurar el suelo, fijar el nitrógeno, promover el crecimiento de las plantas y controlar plagas y enfermedades (Jaurixje, 2013, pp. 1-75).

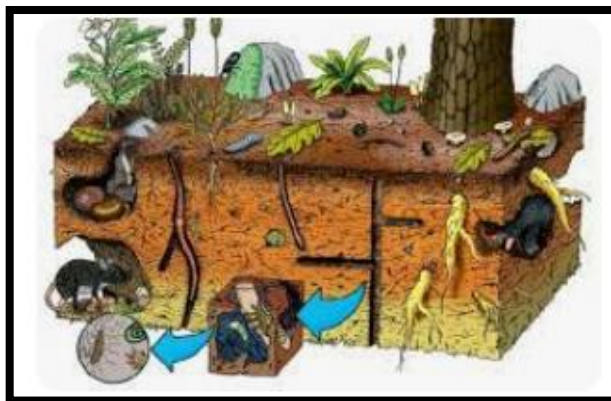


Ilustración 2-11: Organismos del suelo

Fuente: (Red agrícola, 2019).

2.4. Principales funciones del suelo

Es el principal productor de biomasa y fuente de alimentación para los seres vivos, proporciona los nutrientes, el agua, el soporte físico necesarios para el crecimiento vegetal. Siendo un componente del ciclo hidrológico, distribuyendo a las aguas superficiales y ayudando a la recarga de aguas subterráneas. La capacidad de filtrar, almacenar, degradar, neutralizar, e inmovilizar sustancias tóxicas impidiendo así que alcancen las aguas subterráneas, salgan al aire o entren en la cadena alimenticia. Siendo el hábitat natural biológico de muchos organismos de diferentes tipos. Es la fuente de materias primas. Y ser un soporte de diferentes actividades humanas como estructura socio – económica, paisaje y patrimonio cultural (Ocampo, 2006, pp. 1-32).

2.4.1. Formación del suelo

En la formación del suelo constituyen principalmente las rocas situadas en la superficie terrestre, en su mayoría las rocas ígneas y sedimentarias, a través del tiempo y de un conjunto de procesos llamado meteorización estas rocas son desintegradas y alteradas por acción de diversos agentes de la naturaleza: física, química y biológica. También se encuentra compuesto por ingredientes sólidos, líquidos y gaseosos (Ocampo, 2006, pp. 1-32).

2.4.1.1. Sólidos

El esqueleto mineral del suelo se compone principalmente de rocas, como silicatos (micas, cuarzos, feldspatos), óxidos de hierro (limonita, goetita) y de aluminio (gibbsita, boehmita), carbonatos (calcita, dolomita), sulfatos (aljez), cloruros, nitratos y sólidos de origen orgánico u orgánico-mineral, como los distintos tipos de humus. (Ocampo, 2006, pp. 1-32).

2.4.1.2. Líquidos

Abunda el agua en el suelo, pero no siempre en estado puro como los encontramos en los yacimientos, sino que está cargada de iones, sales y diversas sustancias orgánicas. El agua en el suelo se desplaza por capilaridad como una bombilla, dependiendo de lo permeable del suelo, y transporta numerosas sustancias de un nivel a otro (Ocampo, 2006, pp. 1-32).

2.4.1.3. Gaseosos

El suelo presenta varios gases atmosféricos como el oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂),

pero dependiendo de la naturaleza del suelo puede tener también presencia de hidrocarburos gaseosos como el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Los gases del suelo son tremendamente variados (Ocampo, 2006, pp. 1-32).

2.4.2. Perfil del suelo

Es la exposición vertical de una parte superficial de la corteza terrestre, donde se incluye todas las capas y horizontes, que debido a su tiempo de formación han en su génesis. El perfil del suelo se comprende de tres horizontes principales (Montes, 2013, pp. 1-85).

2.4.2.1. Horizonte A

Es el horizonte que está formado por el suelo superficial y en donde se encuentra la mayor parte de materia orgánica que proviene de las raíces de las plantas y restos que son depositados sobre la superficie. Su color es oscuro, es el que está más expuesto a los agentes climáticos, es el más adecuado para el cultivo por la cantidad de nutrientes esenciales que posee (Montes, 2013, pp. 1-85).

2.4.2.2. Horizonte B

Es el horizonte que constituye la capa intermedia y suele estar altamente meteorizado, es de un color más claro en este horizonte se sitúan las raíces de los arbustos y de los árboles, su contenido de materia orgánica es mucho menor. En los suelos muy evolucionados es decir en zonas húmedas se pueden distinguir dos tipos de subhorizontes: el uno es más superficial de transición, mientras que el otro más inferior de acumulación formando así arcillas, carbonato cálcico, óxidos de hierro y aluminio (Montes, 2013, pp. 1-85).

2.4.2.3. Horizonte C

Es el horizonte más profundo del perfil y se encuentra formado por partículas de roca poco desmenuzadas sin contar con ninguna actividad por parte de los organismos vivos (Pardos, 2010).

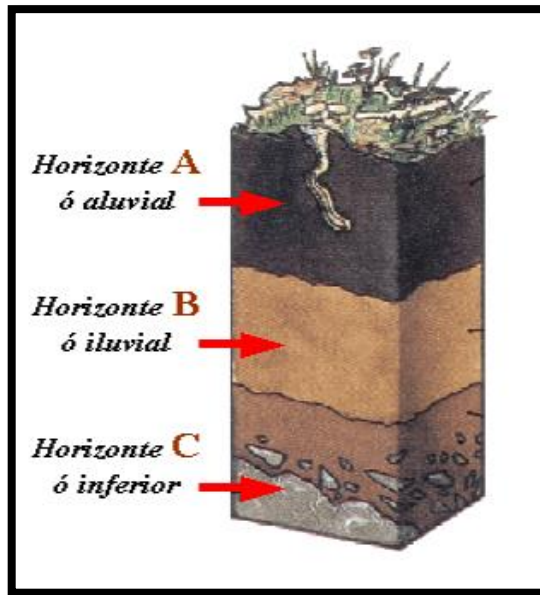


Ilustración 2-12: Perfil del suelo – Horizontes

Fuente: (CSR Laboratorio, 2018).

2.5. Importancia del carbono orgánico del suelo en ecosistemas del bosque

2.5.1. El carbono en el suelo

Se ha establecido algunos de los datos generales sobre el stock de carbono y el flujo de CO₂ desde el suelo hacia la atmósfera en los diferentes tipos de ecosistemas. A continuación, se describe algunos conceptos con referencia a investigaciones específicas realizadas en base a la medición del carbono, sus componentes y sus efectos en los diferentes factores de la biosfera como sus consecuencias. El carbono del suelo se encuentra en cuatro fuentes, dos de los más grandes que son el orgánico y el inorgánico y los otros dos en menor cantidad como el que se encuentra en el aire del suelo y en solución. La dinámica del carbono en el suelo depende mucho de la actividad biológica, donde la mayor parte de los microorganismos en este medio son heterotróficos. (Burbano, 2018, pp. 1-30).

El término carbono en el suelo, hace referencia al contenido de materia orgánica en el suelo, más no comprende el carbono que está presente en la hojarasca o en el mantillo, el carbono orgánico constituye 2/3 del carbono que está secuestrado en los ecosistemas terrestres con aproximadamente un $1,5 \times 10^{15}$ kg. (Pardos, 2010, pp. 5-253).

En los suelos forestales llegan a acumular una gran cantidad de carbono superior a la de la vegetación estimado un aproximado de $7,87 \times 10^{13}$ kg, pero a su vez también pueden llegar a

ser fuentes de CO₂ cuando la tasa de descomposición de materia orgánica es mayor a la producción primaria. Es por eso que al contenido del carbono orgánico del suelo se lo considera un indicador para la gestión sostenible del suelo. Por lo tanto, el carbono orgánico del suelo es esencial para el buen funcionamiento del ecosistema desempeñando un rol fundamental para el suministro de agua, la biodiversidad, la regulación del clima y brindando servicios necesarios y esenciales para el bienestar del ser humano (Rosero, 2019, pp. 1-93).

La forestación de los suelos agrícolas y el manejo de plantaciones forestales llegan a mejorar el contenido de carbono en la materia orgánica, en el ciclo global del carbono ocupa el segundo lugar en magnitud, se estima entre 60 a 80 % de carbono fijado en el proceso de fotosíntesis. Es vital conocer la concentración de CO₂ y la respiración tanto heterotrófica y autotrófica del suelo y la evolución frente al calentamiento global para poder predecir las respuestas al cambio climático (Rodríguez, 2017, pp. 32-74).

Los bosques juegan un papel fundamental dentro del ciclo del carbono y son valorados a nivel global por sus servicios que brindan para la sociedad, entre los años 2000 a 2010 aproximadamente 13 millones de hectáreas se establecieron para otros usos o se fueron desgastando por causas naturales, y existe alrededor de 850 millones de hectáreas de bosques degradados que se pueden reintegrar para ayudar a mitigar los efectos del cambio climático. Dentro de estos ecosistemas encontramos plantas y otros árboles mientras van creciendo van removiendo grandes cantidades de CO₂ hacia la atmosfera y llegan almacenar carbono en la biomasa de las flores, frutos, hojas, tallos, ramas y raíces (Pinos et al. , 2021, pp. 1-123; Aguilar, 2011, pp. 1-96).

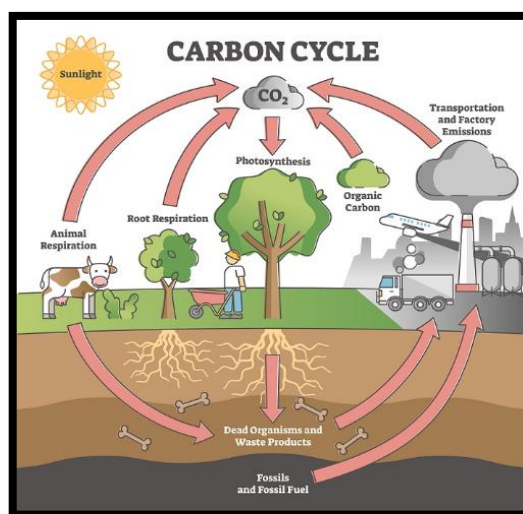


Ilustración 2-13: Ciclo del carbono

Fuente: (Cropaia, 2019).

2.5.2. Biomasa

Es la materia orgánica que se origina a partir de un proceso biológico de un determinado ecosistema forestal ya sea por debajo o por encima del suelo, su clasificación más frecuente se describe en: madera caída, hojarasca, ramas, corteza, raíces hojas, fuste y que pueden ser convertidos en energía o ser aprovechado para la agricultura. La biomasa podemos encontrar en dos diferentes fuentes las más habituales son (Aguilar, 2011, pp. 1-96):

2.5.2.1. Biomasa natural

Es aquella biomasa que se genera en los ecosistemas naturales, sin que intervenga ninguna acción del ser humano por ejemplo la ramas o leñas. (Aguilar, 2011, pp. 1-96).

2.5.2.2. Biomasa forestal

Es aquella biomasa en donde interviene alguna acción del ser humano y se define como la materia orgánica que hay en un bosque, se genera de forma planificada por el ser humano y que la usan para algún fin en particular, para la obtención de este tipo de biomasa la encontramos en dos formas ecosistemas:

Bosques: son los restos que hay después de una tala o poda de árboles, arbustos generan una gran cantidad de residuos.

Cultivos especiales: son aquellos cultivos que se dan por algún fin en particular como para producir energía, las especies más reconocidas para este objetivo son: el eucalipto, el sauce y chopo (Torres y Idalmis, 2002, pp. 36-406).

2.5.2.3. Biomasa lignocelulósica

Es aquella biomasa que se de origen vegetal, es decir está compuesta por los tejidos vegetales, cuyas células presentan una pared constituida por una red de microfibrillas de celulosa para formar capas cubiertas de hemicelulosa en donde se deposita la lignina (Torres y Idalmis, 2002, pp. 36-406).

2.5.2.4. Biomasa residual

Es aquella biomasa que está constituida de forma variada, tiene una parte inerte como vidrio, cenizas, escorias, cerámica metales, y la otra parte es biológica como restos de comida, madera, hojas, frutos. También podemos encontrar residuos de diferentes procesos realizados por el ser humano como por ejemplos los restos de la agricultura donde el poder calorífico de estos restos es de 15 MJ/kg en base seca, su problema es que su costo de recolección, producción y transporte de la biomasa a la planta, restos de la ganadería como por ejemplo las gallinaza del ganada avícola y los purines del ganado porcino, restos industriales como por ejemplo los fangos que provienen de las depuradoras, la lejía de la fabricación de papel, cartón, aceites, y los restos de los sólidos urbanos son los que producen los habitantes y que por lo general son transportados s vertederos para ser tratados, su calor calorífico llega a ser entre 3, 4 y 6,7 MJ/kg en base seca.

Es por esta razón que la biomasa forestal se ha considerado importante estudiarle por que existe un gran interés en aspecto industrial, y ambiental como una base energética en función del ciclo global del carbono, también es posible llegar a calcular la concentración de carbono a partir de esta biomasa en la vegetación y a su vez analizar las estimaciones de CO₂ que pueden ingresar a la atmósfera por cada vez que se quema o se tala un bosque, y nos permite realizar diferentes comparaciones tanto funcionales como estructurales de un ecosistema forestal (Torres y Idalmis, 2002, pp. 36-406).

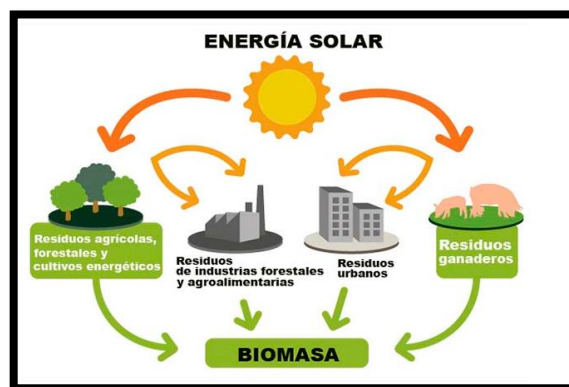


Ilustración 2-14: Biomasa del suelo

Fuente: (Areaciencias, 2020).

2.6. Los bosques en el ecuador

En el Ecuador a sus 34,66 millones de hectáreas contiene 25 de las 32 zonas de vida de acuerdo a la clasificación de las zonas de vida y formaciones de vegetales según Holdridge, donde la

diversidad de ecosistemas inicia desde glaciares volcánicos hasta los bosques húmedos tropicales, por lo que es considerado uno de los países con alta variación biogeográfica mundial. Debido a que hay espacios con ecosistemas reducidos a permitido que el país mantenga la mayor cantidad de plantas por unidad de área (Huamán et al., 2021, pp. 27-56).

Por ejemplo, en 1km² de bosque húmedo tropical se pudo encontrar 1,250 especies de plantas que pertenecen a 136 diferentes familias, en Ecuador se puede hallar mas de 16 mil especies agrupadas en 237 familias de plantas vasculares, 1,200 especies de helechos, 3,251 especies de orquídeas. Así mismo hay una gran diversidad de fauna como se han registrado 369 especies de mamíferos, 394 reptiles, 425 anfibios y 1,616 aves gracias a esta amplia riqueza natural es lo base en el que el país se ha sustentado en el desarrollo económico y social (Pinos et al., 2021, pp. 1-123).

Por eso es importante que se deba conservar esta riqueza natural y originar un uso sustentable del mismo garantizando las necesidades de las generaciones futuras, la búsqueda para un modelo de desarrollo socio económico y cultural junto con la armonía de la naturaleza, es un fin para la comunidad ecuatoriana. En la actualidad se ha visto necesario un modelo de desarrollo sostenible y equilibrado que implica la atención de aspectos claves como el capital natural que no solamente proporciona materia prima, sino que también influye como una fuente de seguridad y de bienestar para toda la población. En base para esta relación íntima entre la disponibilidad de recurso, el bienestar del pueblo y la calidad ambiental justifica el esfuerzo social que se necesita para llegar a señalar y replantear los fines, lineamientos para el uso adecuado de los recursos naturales (Yaguache, 2022, pp. 1-6).

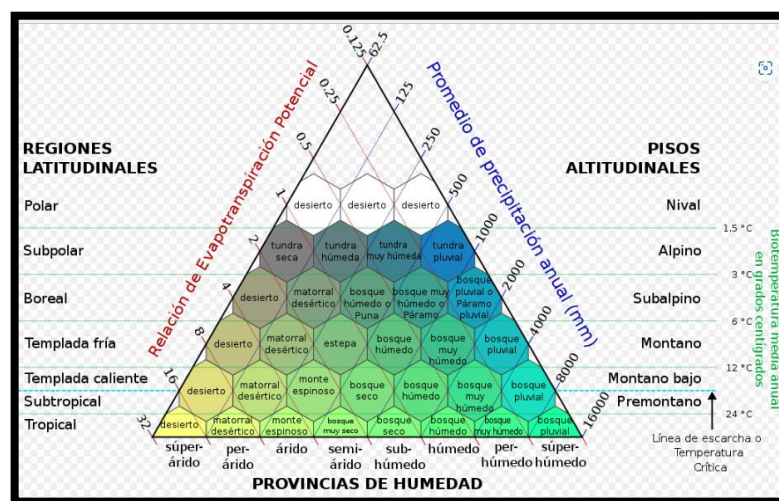


Ilustración 2-15: Diagrama de Holdridge

Fuente: (SINIA, 2018).

2.7. Principales plantaciones forestales en zonas altoandinas

2.7.1. *Eucalytus Globulus*

Árbol perennifolio que puede alcanzar los 50 m de altura, con un ritidoma que se desprende en tiras longitudinales. Tiene hojas de dos tipos: en las plantas jóvenes o en ramas que brotan de la cepa son opuestas, ovales y sésiles, mientras que en los árboles crecidos se hacen alternas, más o menos coriáceas, con un limbo asimétrico en forma de hoz (falciforme), pecioladas y colgantes (el árbol da poca sombra). Tanto unas como otras tienen características glándulas secretoras en el mesófilo, que son visibles al trasluz como puntos más claros. Las flores, solitarias en las axilas de las ramas superiores, son grandes, tetrámeras, con cáliz y corola fusionados formando una tapadera (opérculo) leñosa, que se cae en la floración, dejando al descubierto un elevado número de estambres con filamentos de color cremoso claro, muy vistosos. El ovario, ínfero, fructifica en una cápsula leñosa dehiscente por 4-5 valvas (García, 2018, pp. 20-93).

2.7.2. *Pinus Radiata*

Es un árbol de talla media, de aproximadamente 45 metros de altura. Su crecimiento es rápido en los primeros años, su tronco puede alcanzar un diámetro de más de 50 cm en 20 años. Posteriormente su crecimiento se ralentiza. Posee una copa piramidal en su juventud y aplanada o abovedada en su madurez, con ramas inferiores extendidas. Tiene el tronco recto, cubierto por una corteza gruesa y resquebrajada, de color pardo-rojizo. Las hojas de los braquiblastos son agujas son de unos 15 cm de longitud, agrupadas de tres en tres. Fructifica en estróbilos, ovoides de 7-14 cm de longitud y a menudo agrupados en verticilos de hasta cinco. Los escudetes que reciben mayor insolación son prominentes y ganchudos. Los orientados hacia la sombra son casi planos. Es una especie de gran interés para la industria por la calidad de su madera y su rápido crecimiento, que hace que su cultivo comience a dar beneficios en pocos años. Su madera es muy versátil aprovechándose para diferentes fines, entre los que destacan la pasta de papel, tableros contrachapados, madera aserrada y la fabricación de tableros de aglomerado. Se cultiva en muchos países para hacer repoblaciones, principalmente por la rapidez de su crecimiento. Con frecuencia se utiliza como cortavientos (Aguilar, 2011, pp. 1-96).

2.7.3. *Bosque primario*

El bosque se extiende desde los 2.900 hasta las 3.600 m. s. n. m. que se incluye en la ceja

andina o también conocido por la vegetación de transición entre bosques altos y paramos, cuenta con una diversidad florística como la presencia de aves, mamíferos, reptiles, insectos, anfibios, plantas leñosas. También es considerado un atractivo turístico por su fauna y flora, se puede observar los cantones de Guano y Riobamba desde los miradores naturales que posee este bosque nativo (Burbano, 2018, pp. 1-30).

2.8. Secuestro de CO₂ (dióxido de carbono) por plantaciones forestales

Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático realizó un inventario exacto del contenido de carbono en los bosques y se diferencia en cinco conjuntos: materia orgánica del suelo, biomasa aérea (vuelo), madera muerta, mantillo, biomasa subterránea (raíces vivas), hojarasca; dentro de la materia muerta se incluye biomasa no viva es decir árboles caídos, raíces muertas, estos residuos leñosos conforman otro conjunto de carbono teniendo en cuenta la estimación de los inventarios nacionales de gases con efecto invernadero (Castañeda y Montes, 2017, pp. 50-62).

El secuestro de dióxido de carbono se conoce como el proceso de fijación de forma continua en el uso del suelo, los ecosistemas forestales son aptos para absorber netamente el dióxido de carbono y por lo tanto a disminuir la concentración de dióxido de carbono atmosférico. Se basa en una estrategia para poder incrementar las tasas de stock de carbono de forma rápida y eficiente, bajo el aumento de la biomasa que requiere el uso de buenas prácticas ambientales, esta función de los ecosistemas forestales bajo la captura de CO₂ se evalúa por su potencial de poder moldear el cambio climático y disminuir el efecto invernadero (Gualpa et al., 2019, pp. 1-50).

Estos gases de efecto invernadero se integran a la atmósfera por ser gaseosos derivados de diferentes actividades naturales o antropogénicas, son capaces de absorber y emitir radiación a diferentes longitudes de ondas respecto al espectro de radiación infrarroja que es emitido por la superficie terrestre hacia la nube y la atmósfera, siendo uno de los gases más representativos del efecto invernadero a causa de las actividades humanas a nivel mundial son el óxido nitroso, el metano y el dióxido de carbono. El sector energético representa el 26%, seguida del sector industrial con el 19%, después el sector forestal con 17 %, el sector agrícola con el 14 % el sector comercial y residencial con el 8 % y finalmente el manejo de desechos con el 3% (Martínez y López, 2001, pp. 1-10).

2.8.1. Balance de carbono

2.8.1.1. Sumideros y fuentes

Dentro del ecosistema terrestre es fundamental diferenciar entre el carbono almacenado en el ecosistema como en vegetación, suelo, árboles que es expresado en toneladas o gigatoneladas por hectárea y el flujo de carbono, que este viene a ser la corriente de carbono entre la presencia del carbono almacenado en la atmósfera y en el ecosistema, así como la frase sumidero de carbono que es la presencia del flujo neto del carbono desde la atmósfera hacia los ecosistemas, mientras que la frase fuente de carbono es el flujo en sentido inverso, es decir desde el ecosistema hacia la atmósfera (Rodríguez, 2017, pp. 32-74).

Su diferencia se puede observar en el balance del carbono, en latitudes medias ubicadas en el hemisferio norte debido a su alta proporción de tierras se considera al suelo, vegetación, bosques templados o bosques boreales los ecosistemas que comprenden la mayor parte del conocido sumidero desaparecido. En los estudios realizados en los años 1980 -1996 aplicando modelos de inversión se dio a conocer que la absorción de CO₂ en latitudes superiores a 30°N es prácticamente nula a una absorción en latitudes menores a 30°S (Navarro y Gines, 2003, pp. 1-253).

2.8.1.2. Ciclo del carbono

El ciclo del carbono es esencial para el desarrollo de diferentes organismos por eso se lo considera la unidad principal de la vida sobre el planeta, dicho elemento se acumula en diferentes depósitos como en los suelos absorben 15 000 Gt, en las plantas 560 Gt, en la atmósfera 750 Gt, y en los océanos donde absorben la mayor cantidad con 38 000 Gt y van circulando de manera activa entre ellos (Ocampo, 2006, pp. 1-32).

Este ciclo da inicio con la fijación del carbono inorgánico que se encuentra disponible en la atmósfera y es desprendidos por diferentes actividades antrópicas como la respiración de los seres vivos, erupciones volcánicas, incendios, luego se va transformando por medio del proceso de la fotosíntesis que cumplen cierto microorganismo y las plantas en el resultado final de carbono orgánico (Rosero, 2019, pp. 1-93).

Durante esta fase el agua y el CO₂ reaccionan entre sí para llegar a formar carbohidratos y poder liberar el oxígeno que se encuentra disponible en la atmósfera, las plantas llegan a obtener energía por el consumo de algunos carbohidratos y por medio de sus hojas y raíces liberan el

anhidrido carbónico. Conjuntamente una parte llega a ser absorbida por los animales por sus funciones metabólicas liberando CO₂, el ciclo finaliza cuando las plantas y animales muertas se empiezan a descomponer por los microorganismos que están presentes en el suelo, llegando a ocasionar que el carbono que está en sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese nuevamente a la atmósfera para dar inicio a un nuevo ciclo (Rosero, 2019, pp. 1-93).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la provincia de Chimborazo, situada en el centro sur del país, en la zona geográfica conocido como región interandina o sierra, sobre la hoya de Chambo en el noreste y las hoyas de Chimbo y Chanchan en el suroccidente, con una superficie aproximada de 6499,72 km², una altitud mínima de 100 m s.n. m., una media de 3900 m s.n. m., y una máxima de 6310 m s.n. m., posee una temperatura alrededor de 5 a 30°C, siendo una de las urbes más pobladas con un total de 524004 hab. La provincia de Chimborazo está constituida por 10 cantones, de los cuales se derivan sus respectivas parroquias urbanas y rurales (PDOT, 2019, pp. 4-61).

3.1.1. Parroquia San Juan (*Eucalytus Globulus*)

Esta parroquia se encuentra localizada en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo, cuenta con una superficie aproximada de 221,20 km², una altitud de 3160 m s. n. m. – 6210 m s. n. m., una población de 7370 hab., una precipitación de 500 – 1000 mm y una temperatura de 12 – 16°C (PDOT, 2019, pp. 4-61).

3.1.2. Parroquia Palmira (*Pinus Radiata*)

Esta parroquia se encuentra localizada en el cantón Guamote provincia de Chimborazo, cuenta con una superficie aproximada de 27451,29 km², una altitud de 2560 m s. n. m. – 4200 m s. n. m., una población de 12589 hab., una precipitación de 7864 mm y una temperatura de 19.9 °C (PDOT, 2019, pp. 4-61).

3.1.3. Comunidad San Pedro de Llucud (*Bosque Primario*)

Esta parroquia se encuentra localizada en el cantón Chambo provincia de Chimborazo. EL Bosque Primario de Leonán de Llucud se encuentra ubicado al este del cantón a una distancia de 9 km del parque central, en la comunidad San Pedro de LLucud, posee una extensión aproximada de 67 ha. (PDOT, 2019, pp. 4-61).

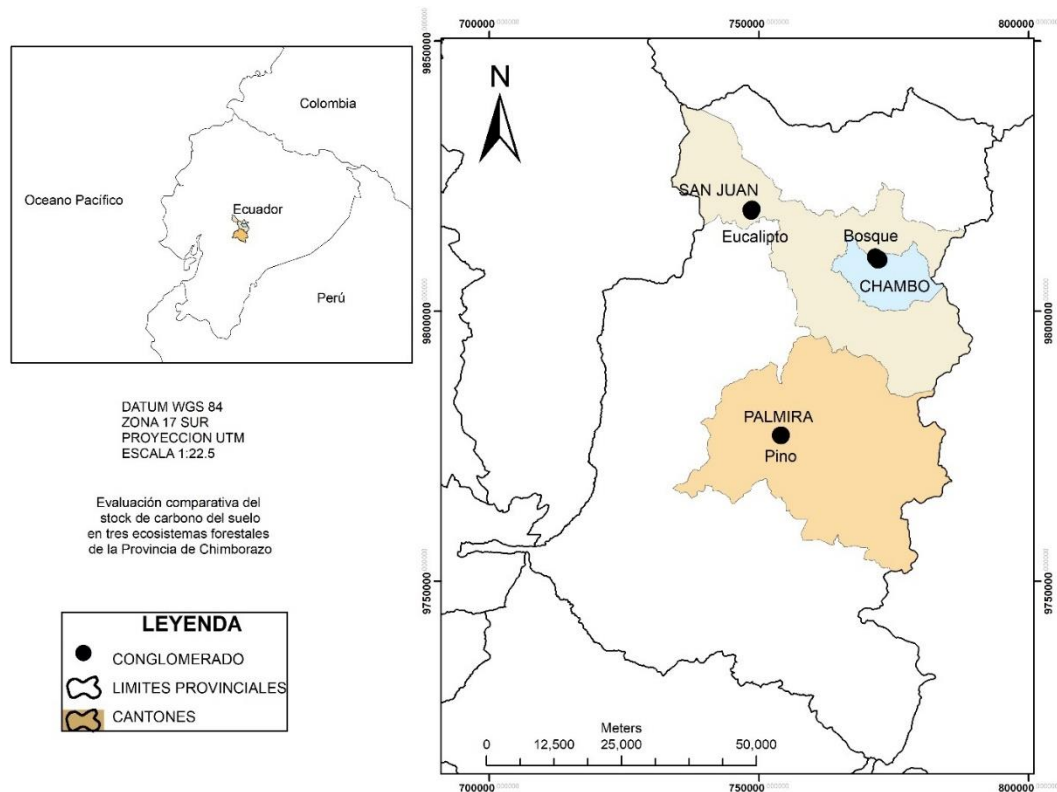


Ilustración 3-1: Ubicación de los ecosistemas forestales en la provincia de Chimborazo

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

3.2. Según el enfoque de estudio

3.2.1. *Cuantitativa*

De tipo cuantitativa puesto a que la investigación se centra en la generación de resultados de los parámetros físico-químicos, la estimación de carbono orgánico total, luego de ser evaluados generaron deducciones que permitieron usar valores numéricos para redactar los resultados y aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

3.3. Según el área de estudio

3.3.1. *Descriptiva*

De tipo descriptivo puesto que la investigación se emplearon métodos para detallar cada una de las características del stock de carbono almacenado en los diferentes tipos de suelo que corresponden en los ecosistemas forestales.

3.4. Según el método usado

3.4.1. *Deductivo*

De tipo deductivo puesto a que dentro de la investigación los parámetros medidos como: densidad aparente (da), real (Dr), CE, pH, COS, MO, entre otros. Luego son tabulados para obtener datos más confiables para concluir los resultados y así verificar la hipótesis planteada.

3.5. Diseño de la investigación

La siguiente investigación se orienta a la determinación del contenido de carbono orgánico presente tanto en el suelo y la necromasa de los ecosistemas forestales, ya que se necesita datos, y los resultados sobre los cuales se va a estimar la concentración de carbono orgánico presentes en cada ecosistema forestal.

3.6. Muestra

Para la delimitación del área de estudio, se lo realizó con la ayuda de la herramienta de información geográfica (ArcGIS) para llegar a conocer con exactitud las áreas de los ecosistemas forestales que se van a muestrear dentro de la provincia de Chimborazo.

3.6.1. *Tamaño de muestra*

Se reconoció los tres ecosistemas forestales que se van a estudiar dentro de la provincia de Chimborazo, se utilizó las capas de Google Earth, para conocer con certeza el área que corresponde a cada ecosistema forestal.

Eucalytus Globulus: Se encuentra con una superficie de 10,6 ha

Pinus Radiata: Se encuentra con una superficie de 142 ha

Bosque Primario: Se encuentra con una superficie de 57,2 ha

3.6.1.1. *Determinación de la muestra de estudio*

Si la población es finita y pequeña se puede medir el tamaño de la muestra, se procedió a seleccionar la muestra y se determinó su tamaño usando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z^2 (p * q)}{e^2 (N - 1) + Z^2 (p * q)}$$

Donde:

n = tamaño de muestra buscado

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza al 95% (1,96)

p = probabilidad de éxito 95% (0,95)

q = probabilidad de fracaso (1 – p) (1 – 0,95) =0,05

e = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

3.6.1.2. Cálculos para obtener número de puntos a muestrear por cada ecosistema forestal

Eucalytus Globulus: 10,6 ha

$$n = \frac{10,6 * (1,96)^2 (0,95 * 0,05)}{(0,05)^2 (10,6 - 1) + 1,96^2 (0,95 * 0,05)}$$

$$n = 9.37 \approx 4$$

Pinus Radiata: 142 ha

$$n = \frac{142 * (1,96)^2 (0,95 * 0,05)}{(0,05)^2 (142 - 1) + (1,96)^2 (0,95 * 0,05)}$$

$$n = 14 \approx 5$$

Bosque Primario: 57,2 ha

$$n = \frac{57,2 * (1,96)^2 (0,95 * 0,05)}{(0,005)^2 (57,2 - 1) + (1,96)^2 (0,95 * 0,05)}$$

$$n = 6 \approx 3$$

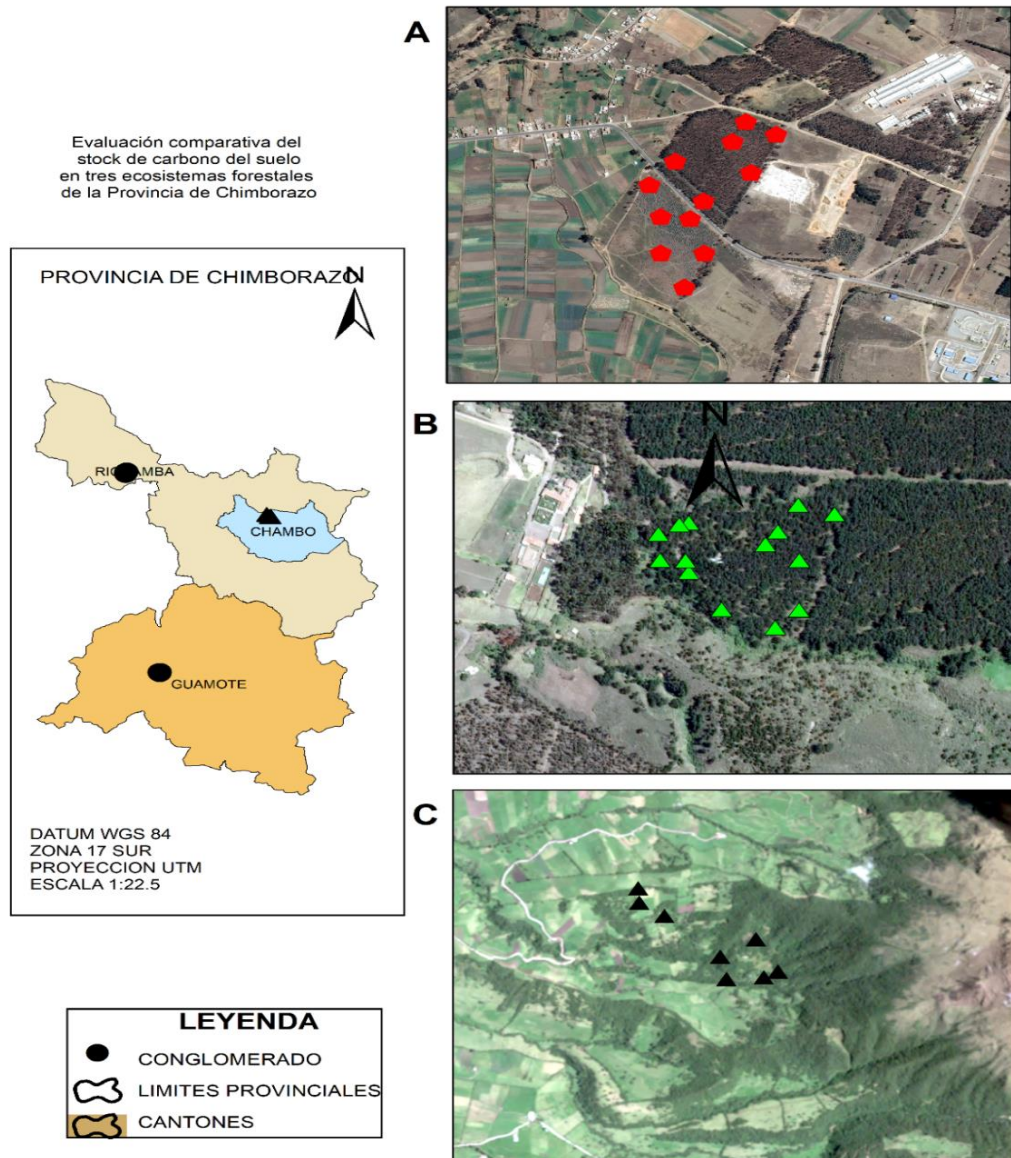


Ilustración 3-2: Determinación de las áreas de producción forestal para el estudio en la provincia de Chimborazo

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

3.6.2. Muestreo

Una vez identificado los tres ecosistemas forestales a estudiar con las coordenadas específicas de cada punto de inicio, se procedió a coleccionar las muestras de suelo en fundas Ziploc, debidamente etiquetadas de acuerdo a sus conglomerados, parcelas y profundidades correspondientes. De igual manera se procedió a coleccionar la necromasa y etiquetada según el conglomerado y parcela correspondiente.



Ilustración 3-3: Procedimiento realizado para el muestreo

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

3.6.2.1. *Eucalytus Globulus*

Tabla 3-1: Coordenadas correspondientes a los conglomerados de *Eucalytus Globulus*

CONGLOMERADO	PARCELAS	ALTITUD	COORDENADAS	
			X	Y
C1	P1	3241	-1,638146	-78,765900
C1	P2	3287	-1,637616	-78,764702
C1	P3	3281	-1,637080	-78,764427
C2	P1	3281	-1,637420	-78,763794
C2	P2	3298	-1,638447	-78,764320
C2	P3	3269	-1,639223	-78,765305
C3	P1	3254	-1,638782	-78,766433
C3	P2	3250	-1,639640	-78,766197
C3	P3	3267	-1,640625	-78,766197
C4	P1	3246	-1,641541	-78,765701
C4	P2	3259	-1,640624	-78,765290
C4	P3	3262	-1,639699	-78,765587

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

Los puntos a muestrear son 12 que están distribuidos a lo largo de la plantación de *Eucalytus Globulus*, que corresponden al número total de conglomerados a trabajar que llegan hacer 4 conglomerados para esta plantación; y cada conglomerado está conformado por 3 parcelas, en cada parcela se realizó el muestreo a tres profundidades a 10, 20 y 30 cm, dando un total de 36 muestras de suelo y 12 muestras de necromasa por parcela para la determinación del COS.

3.6.2.2. *Pinus Radiata*

Tabla 3-2: Coordenadas correspondientes a los conglomerados de *Pinus Radiata*

CONGLOMERADO	PARCELAS	ALTITUD	COORDENADAS	
			X	Y
C1	P1	3259	-2,016143	-78,717096
C1	P2	3265	-2,016332	-78,716711
C1	P3	3257	-2,016602	-78,716895
C2	P1	3267	-2,016941	-78,716310
C2	P2	3270	-2,017239	-78,715633
C2	P3	3281	-2,016957	-78,715330
C3	P1	3299	-2,016332	-78,715052
C3	P2	3296	-2,015912	-78,715146
C3	P3	3292	-2,015385	-78,714886
C4	P1	3288	-2,015239	-78,715348
C4	P2	3289	-2,015673	-78,715603
C4	P3	3278	-2,015881	-78,715760
C5	P1	3265	-2,015563	-78,716843
C5	P2	3266	-2,016150	-78,716764
C5	P3	3259	-2,015716	-78,717103

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

Los puntos a muestrear son 15 que están distribuidos a lo largo de la plantación de *Pinus Radiata*, que corresponden al número total de conglomerados a trabajar que llegan hacer 5 conglomerados para esta plantación; y cada conglomerado está conformado por 3 parcelas, en cada parcela se realizó el muestreo a tres profundidades a 10, 20 y 30 cm, dando un total de 45 muestras de suelo y 15 muestras de necromasa por parcela para la determinación del COS.

3.6.2.3. Bosque Primario

Tabla 3-3: Coordenadas correspondientes a los conglomerados de Bosque Primario

CONGLOMERADO	PARCELAS	ALTITUD	COORDENADAS	
			X	Y
C1	P1	3320	-771698	-9809855
C1	P2	3338	-771560	-9809949
C1	P3	3364	-771554	-9810051
C2	P1	3346	-772005	-9809565
C2	P2	3419	-772203	-9809690
C2	P3	3465	-772225	-9809562
C3	P1	3386	-772323	-9809461
C3	P2	3389	-772246	-9809420
C3	P3	3354	-772040	-9809408

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

Los puntos a muestrear son 9 que están distribuidos a lo largo de la plantación del Bosque Primario, que corresponden al número total de conglomerados a trabajar que llegan hacer 3 conglomerados para esta plantación; y cada conglomerado está conformado por 3 parcelas, en cada parcela se realizó el muestreo a tres profundidades a 10, 20 y 30 cm, dando un total de 27 muestras de suelo y 9 muestras de necromasa por parcela para la determinación del COS.

Una vez que se pudo acceder a los puntos de muestreo, se procedió a recolectar las muestras de suelo en fundas Ziploc de 500 g y para la necromasa en fundas Ziploc de 1000 g, debidamente etiquetadas de acuerdo al conglomerado, parcela y profundidad que pertenece; es decir para Eucalytus Globulus: C1 P1 10 E; C1 P1 20 E; C1 P1 30 E; para Pinus Radiata: C1 P1 10 P; ; C1 P1 20 P; C1 P1 30 P; y para el Bosque Primario: C1 P1 10 BN; C1 P1 20 BN; C1 P1 30 BN; así sucesivamente hasta completar todas las parcelas de los conglomerados.

Se recolectó 500 g de suelo de cada una de las profundidades para los diferentes análisis que se llega a realizar dentro del laboratorio y para la necromasa se recolectó 200 g para el análisis de COS.

Para el muestreo se utilizó la metodología de conglomerados para llegar a obtener muestras compuestas y cubrir toda el área de las plantaciones y obtener resultados más precisos para esta investigación: cada conglomerado está conformado por 3 parcelas en forma de L, cada parcela tiene una distancia de 250 m de distancia, y en cada parcela se tomaron tres muestras a diferente profundidad, como se muestra en la siguiente figura:

Vista planta del conglomerado

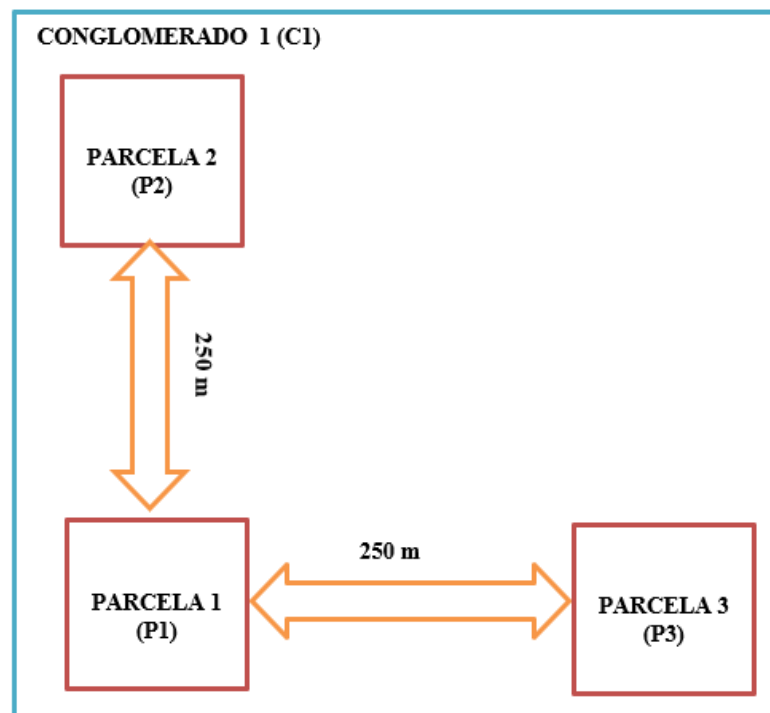


Ilustración 3-4: Vista planta del conglomerado

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

Vista lateral de la toma de muestras a las tres profundidades (10, 20 y 30 cm)

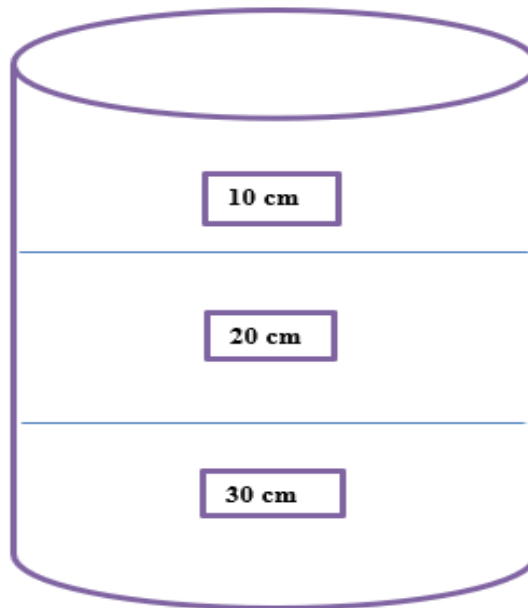


Ilustración 3-5: Vista lateral del conglomerado

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

3.7. Materiales y equipos

3.7.1. Materiales

Tabla 3-4: Materiales de campo y laboratorio

Materiales de campo	Materiales de laboratorio
Barreno giratorio	Probeta 100 ml y de 1000 ml
Cilindros de volumen conocido (kopecky)	Varilla de agitación
Fundas ziploc 500 gr	Vasos plásticos reciclables
Fundas Ziploc 1000 gr	Bandejas de aluminio pequeñas
Etiquetas	Bandejas de aluminio medianas
Marcador	Crisoles
Tijera de césped / Machete / Pala	Espátula
Fundas de basura	Regla
Flexómetro	Toallas absorbentes / Papel periódico
Manual - Formulario del Conglomerado	Tabla de Munsell
	Picnómetros
	Desecador
	Tamiz de 2mm
	Agitador de eje o batidora
	Densímetro
	Termómetro

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

3.7.2. Equipos

Tabla 3-5: Equipos de campo y laboratorio

Equipos de campo	Equipos de laboratorio
GPS	Balanza analítica
Balanza digital en gr	Mufla
	Estufa
	pH-metro de mesa
	Conductímetro de mesa

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

3.8. Toma de muestra

La investigación se procedió a efectuar en 3 etapas; la primera etapa que corresponde a la fase de campo, la segunda etapa que corresponde a la fase de laboratorio y por último la tercera etapa que corresponde a la fase de análisis de datos.

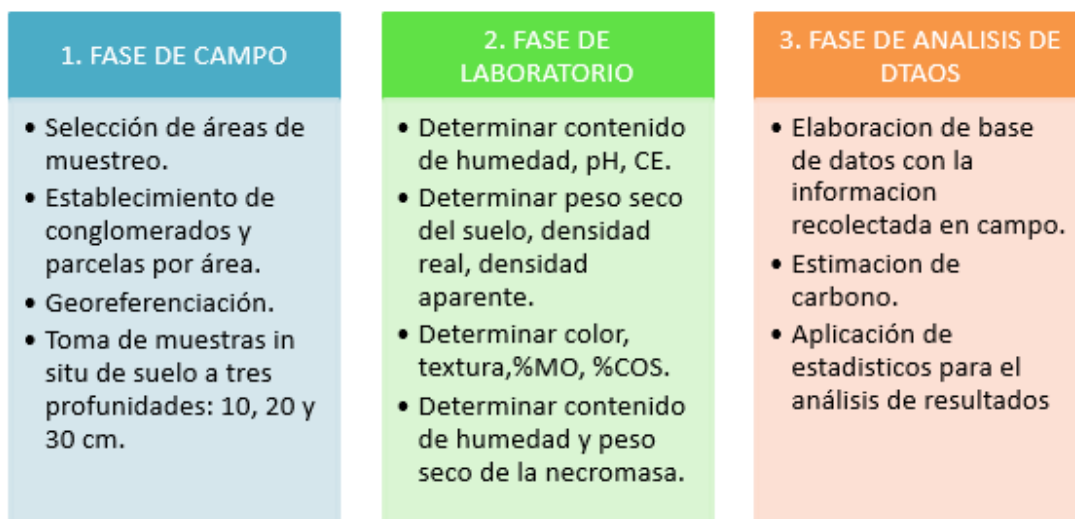


Ilustración 3-6: Fases para la toma de muestras

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

- Una vez ubicados en el punto inicial (P1) se procede a una limpieza superficial del terreno alrededor de 100cm², se perfora el barreno a la primera profundidad de 10, luego a la de 20 y finalmente al de 30 cm (se identifica la profundidad por la marca que se coloca en el barreno con la ayuda del flexómetro, midiendo desde la punta inferior hacia arriba).

- Se procede a recoger las muestras de suelo por cada profundidad, se toman las primeras muestras y se colocan en una funda de basura debidamente etiquetada a que profundidad corresponde, luego alrededor del punto inicial formamos un cuadrado, del cual obtengo 4 submuestras de cada profundidad, estas son homogenizadas con el fin de llevar una sola muestra compuesta por cada profundidad, son llevadas al Laboratorio del GIDAC de la ESPOCH en fundas ziploc para los análisis respectivos.
- Del mismo punto inicial procedemos a recoger una muestra y una submuestra (en forma diagonal) de la necromasa, de igual manera es homogenizada para obtener una sola muestra de necromasa por parcela, son llevadas al Laboratorio del GIDAC de la ESPOCH en fundas ziploc para los análisis respectivos.
- Para los cilindros de volumen conocido se procede a realizar un hoyo a las tres profundidades, se incrustan los cilindros y se los procede a sacar de forma cuidado para evitar que se dañe la muestra debidamente etiquetados, para esto se los embala con el papel film para asegurar que la muestra no sea estropeada, son llevadas al Laboratorio del GIDAC de la ESPOCH en fundas ziploc para los análisis respectivos.

3.9. Análisis de laboratorio

Con las muestras listas para analizar en el laboratorio se procedió a colocarlas de manera jerárquica tomando en cuenta el siguiente orden: primero por el número de conglomerado, luego por el número de parcela y finalmente a la profundidad muestreada. Los análisis se realizaron en dos estados: análisis en húmedo y en seco.

3.9.1. *pH y Conductividad eléctrica en húmedo*

Estos análisis se lo realizaron de forma inmediata, es decir apenas se llevó las muestras al laboratorio ya que se necesitan ser medidos en el menor tiempo posible desde que se hizo el muestreo, el procedimiento que se siguió es el siguiente:

Tal como indica la metodología establecida por el Grupo de Investigación – Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático de la Facultad de Ciencias (GIDAC, 2019, pp. 1-50).

Para pH

En un vaso de plástico, debidamente etiquetado al conglomerado que pertenece se procede a pesar en la balanza analítica 20 g de la muestra de suelo, y se le adiciona 80 ml de agua destilada.

Luego se remueve la mezcla constantemente alrededor de 15 – 10 min y se lo deja reposar por 5 min.

Después con ayuda del pH-metro de mesa se mide los valores de pH para cada muestra analizada y se registra dicho dato en la tabla de datos de Excel (GIDAC, 2019, pp. 1-50).

Para CE

En un vaso de plástico, debidamente etiquetado al conglomerado que pertenece se procede a pesar en la balanza analítica 20 g de la muestra de suelo, y se le adiciona 80 ml de agua destilada.

Luego se agita constantemente alrededor de 15 – 10 min y se lo deja reposar por 24 horas previa a su lectura.

Después con ayuda del conductímetro de mesa se mide los valores de CE para cada muestra analizada y se registra dicho dato en la tabla de datos de Excel (GIDAC, 2019, pp. 1-50).

3.9.2. *pH y CE en seco*

Para estos análisis se deja secar al aire libre las muestras de suelo por 3- 4 días papel periódico, procurando que quede en lugar cubierto, para evitar que se mojen con la lluvia y se altera la muestra.

Tanto para pH como para CE se realiza el mismo procedimiento anteriormente mencionado, en los mismos recipientes, tiempos y equipos detallados (GIDAC, 2019, pp. 1-50).

3.9.3. *Humedad*

Para el porcentaje de humedad se procedió a utilizar las bandejas de aluminio pequeñas, y la

cantidad de suelo que está dentro de los cilindros de volumen conocido. El procedimiento fue el siguiente:

Con la ayuda de la balanza analítica se pesa la bandeja vacía, se anota el peso de la bandeja. Luego se procede a desocupar la muestra de suelo presente en los cilindros de volumen conocido, en la bandeja vacía y se toma el peso (BV+MS).

Después se colocan las bandejas con las muestras debidamente etiquetadas y se meten a la estufa por 24 horas a 105°C. Pasadas las 24 horas se secan de la estufa se colocan en el desecador para evitar que absorban humedad, se las deja enfriar por unos 10 – 15 min, se pesan en la balanza analítica y se toma el dato y se registra en la tabla de datos de Excel.

Se calcula el % humedad con la siguiente formula:

$$\%H = \frac{(Cmh - Pseco)}{Cmh} * 100$$

Donde:

%H = porcentaje de humedad

Cmh= canasta con muestra húmeda

Pseco = peso de muestra seca

3.9.4. Densidad aparente

Para la densidad aparente se utilizó la muestra de suelo que se llevó en los cilindros de volumen conocido. El procedimiento fue el siguiente:

Se desocupa la muestra de suelo que está dentro de los cilindros de volumen conocido en las bandejas de aluminio e ingresarlas a la estufa para eliminar la humedad y obtener el peso seco de la muestra.

Luego se mide tanto el diámetro como el largo del cilindro de volumen conocido por dos o tres veces y se saca un promedio de los datos registrados.

Finalmente utilizamos la siguiente ecuación para obtener la densidad aparente:

$$Da = \frac{Pseco}{Vol}$$

Donde:

Da = densidad aparente

Pseco = muestra de suelo seco

Vol = volumen de los cilindros

3.9.5. *Densidad real*

Para la densidad real se utilizó picnómetros, agua destilada, termómetro, muestra de suelo que tiene que estar previamente tamizada y con la ayuda de la balanza analítica se registrando los pesos obtenidos en casa paso. El procedimiento fue el siguiente:

Primero se pesa un picnómetro limpio y seco con tapa. Luego introducimos 5 gr de suelo secado al aire y tamizado. Pesamos el picnómetro con el suelo y la tapa.

Adicionamos agua destilada al picnómetro hasta la mitad de su volumen, homogenizamos hasta dejar sin burbujas y agregamos agua destilada hasta llenar el picnómetro, colocamos la tapa secamos el picnómetro y pesamos el picnómetro.

Removemos todo el contenido del picnómetro y llenamos completamente con agua destilada, secamos y pesamos.

Finalmente medimos la temperatura del agua, y utilizamos la siguiente ecuación:

$$Dr = \frac{dw(Ws - Wa)}{(Ws - Wa) - (Wsw - Ww)}$$

Dónde:

Dr = Densidad real

Dw =densidad del agua a la temperatura observada

Ws =peso del picnómetro más el suelo

Wa = peso del picnómetro vacío

Wsw =Peso del picnómetro más suelo más agua

Ww = peso del picnómetro más agua

3.9.6. Secado y tamizado

Para el secado al aire de las muestras de suelo se procedió a colocarlas en papel periódico debidamente etiquetadas y fueron colocadas en los mesones del laboratorio, las dejamos secar de 3 a 4 días y se procede a realizar el tamizado de todas las muestras por medio de un tamiz de 2mm. Se realiza este proceso para el análisis de los parámetros de color, textura, densidad real.

3.9.7. Color

Para el análisis de color se procedió a realizar mediante observación, y con la ayuda de la tabla de Munsell Soil Color Book, el procedimiento fue el siguiente:

Seleccionamos una cantidad considerable de suelo y colocamos en una hoja blanca, nos ubicamos en un lugar iluminado y con la Tabla de Munsell vamos relacionando la tonalidad del suelo con las tonalidades del libro.

Seleccionamos la hoja con la que vamos a trabajar y anotamos los datos de la siguiente manera: Matriz (tinte), Fila (1, 2, 3, ...) y Columna (1, 2, 3, ...) y finalmente el color al que pertenece con estas directrices.

3.9.8. Textura

Para el análisis de textura se procedió a realizar por dos métodos, el primero que fue el método organoléptico, y el segundo que fue el método por Bouyoucos.

3.9.8.1. Método del tacto

Para este análisis se tomó un puñado de cada muestra y se procedió a realizar la comparación con las siguientes características:

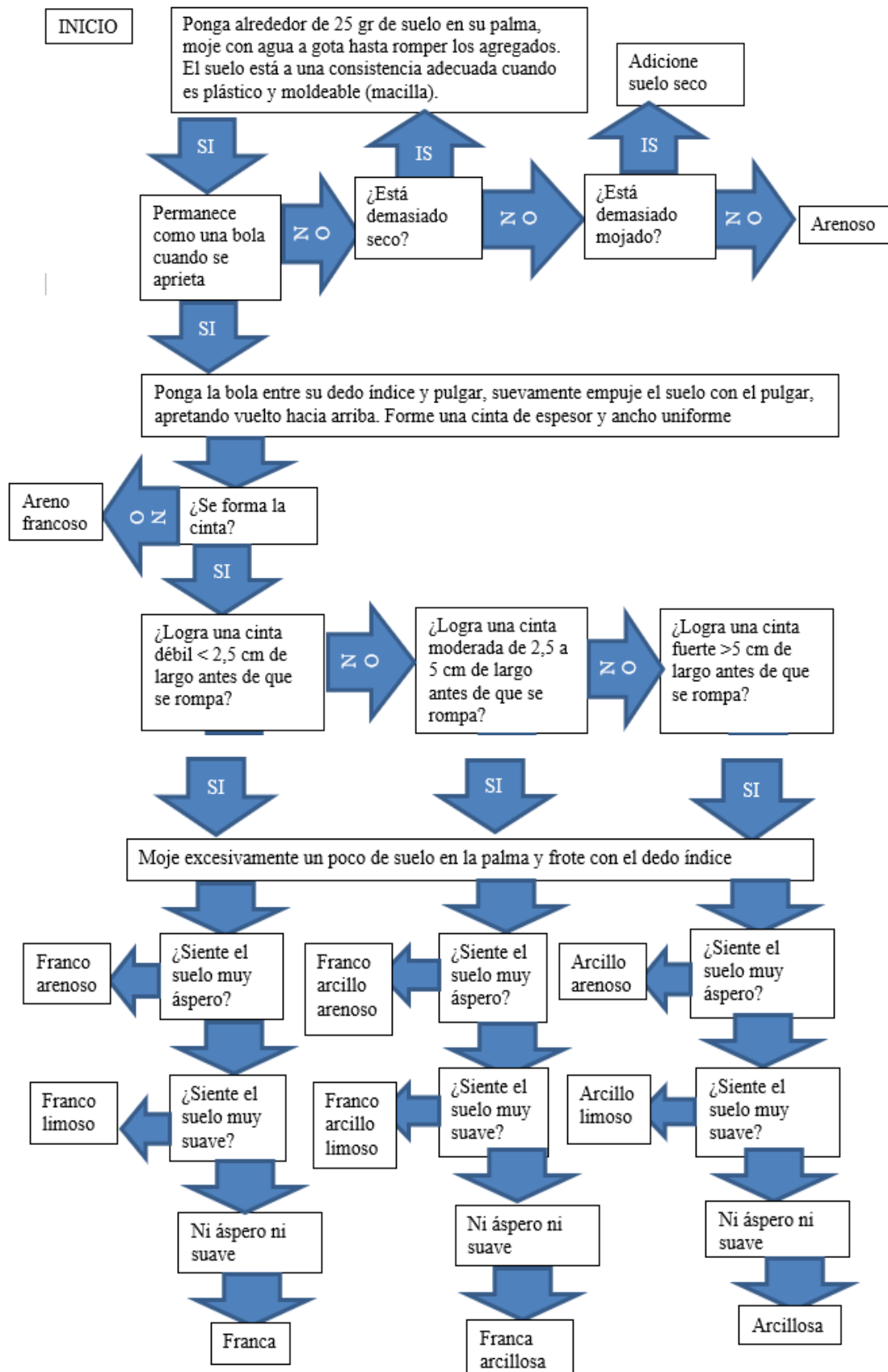


Ilustración 3-7: Procedimiento para el método del tacto

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

3.9.8.2. Método Bouyoucos

Para este análisis se procedió a utilizar el eje o batidora siguiente los siguientes pasos:

Con ayuda de la balanza analítica pesamos 50 gr de suelo tamizado a 2 mm y lo colocamos en el vaso de batidora.

Luego procedemos añadir 10 ml de disolución dispersante (35,70 gr de hexametáfosfato sódico y 7,94 gr de carbonato sódico en un vaso de 250 ml, se disuelven en agua destilada, se pasa la disolución a un matraz aforado de 1L y se enrasa).

Después se añade hasta la mitad del vaso de batidora agua destilada y se procede agitar la mezcla por 5 min.

Una vez agitado la mezcla se pasa a una probeta de 1L y se afora con agua destilada hasta el litro.

Luego se vuelve agitar fuertemente durante un minuto, después dejamos reposar por 40 segundos y tomamos la primera lectura de datos del termómetro y del densímetro.

Después dejamos transcurrir 2 horas y se toma la segunda lectura del termómetro y del densímetro.

A los 40 segundos se obtiene el porcentaje de limo + arcilla, aplicando la siguiente fórmula

$$\% \text{ limo} + \text{ arcilla} = \frac{L + (T - 20) * 0.36}{p} * 100$$

A las 2 horas se obtiene el porcentaje de arcilla aplicando la misma fórmula

$$\% \text{ arcilla} = \frac{L' + (T' - 20) * 0.36}{p} * 100$$

Por lo tanto, para el porcentaje de limo y arena se aplican las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ limo} = (\% \text{ limo} + \text{ arcilla}) - (\% \text{ arcilla})$$

$$\% \text{ arena} = 100 - (\% \text{ limo} + \text{ arcilla})$$

Donde:

L = densímetro primera lectura

L' = densímetro segunda lectura

T = termómetro primera lectura

T' = termómetro segunda lectura

p = peso de la muestra en gr

0.36 factor de corrección por grado de diferencia de temperatura

20 = temperatura calibrada de densímetro

3.9.9. Necromasa

Para el análisis de necromasa se utilizaron las bandejas de aluminio medianas, la balanza analítica, y la estufa. El procedimiento fue el siguiente:

Primero pesamos la bandeja vacía de aluminio anotamos el peso. Luego procedemos a colocar las muestras de necromasa hasta llenar completamente la bandeja de aluminio, y anotamos el peso.

Luego colocamos las bandejas con muestras de necromasa y las llevamos a la estufa a secarlas por 24 horas a 105 °C para eliminar la humedad. Pasadas las 24 horas se sacan de la estufa, las colocamos en el desecador por 10 a 15 min a que se enfríen y pesamos en la balanza, anotamos el peso.

Para calcular la biomasa de la hojarasca se utilizó la siguiente formula:

$$Bh = \frac{Psm}{Pfm} * Pft$$

Donde:

Bh = biomasa de la hojarasca kg/ha

Psm = peso seco de la muestra recolectada (kg)

Pfm = peso fresco de la muestra recolectada (kg)

Pft = peso fresco total por metro cuadrado (kg)

Carbono fijado

Para poder convertir los datos de biomasa a las cantidades de carbono, se multiplico el valor calculado de la biomasa por 0.5 que es el cómo que nos indica el IPPC, el cual estima que el 50 % aproximadamente de la biomasa vegetal corresponde al carbono orgánico.

$$CC = B * 0.5$$

Donde:

CC = contenido de carbono

B = biomasa (kg/ha; t/ha)

0.5 = fracción de carbono (una tonelada de biomasa tiene 0.5 tC)

3.9.10. *Materia orgánica*

Para este análisis se aplicó el método de calcinación o pérdida por ignición (LOI), se utilizaron los crisoles, muestras de suelo tamizadas, balanza analítica, estufa y mufla. El procedimiento fue el siguiente:

- Una vez que se tiene los crisoles con los que se van a trabajar se los lava, se los seca y se manda a la estufa por media hora a 105 °C, para eliminar totalmente la humedad.
- Luego son colocados por dos horas en la mufla a una temperatura de 800°C.
- Pasadas las dos horas, sacamos los crisoles en el desecador y los dejamos enfriar para que al momento de pesar la temperatura no influya en el peso. Este paso se lo conoce como tarado de crisoles.
- Luego se procede a pesar los crisoles tarados se toma este peso, encerramos la balanza y colocamos 5 gr de la muestra de suelo tamizada en los crisoles y registramos el peso.
- Después los crisoles son llevamos a la estufa por 24 horas a 105°C para eliminar la humedad, pasadas las 24 horas se sacan en el desecador, llevamos a la balanza y registramos el peso (peso en seco).
- Son colocados por segunda ocasión a la mufla por dos horas a una temperatura de 360°C, pasadas las dos horas se sacan en el desecador, se enfrían y llevamos a la balanza y registramos el peso (peso de calcinación)

Para obtener el % MO aplicamos la siguiente formula:

$$\% MO = \frac{(peso\ en\ seco - peso\ de\ calcinacion) * 100}{peso\ en\ seco}$$

Donde:

MO = materia orgánica

Peso en seco (g) = el peso del suelo seco descontando el crisol tarado

Peso de calcinación (g) = el peso del suelo calcinado luego de haber sido secado, descontando el peso del crisol tarado.

El contenido de MO en el suelo según su porcentaje se puede clasificar como:

Tabla 3-6: Porcentajes de materia orgánica

%Materia Orgánica	Denominación
0 - 1	Muy bajo
1,1 – 2, 9	Bajo
3 – 5,9	Medio
>6	Alto

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

3.9.11. Carbono orgánico

Este análisis se apoya con los resultados obtenidos en el análisis de % MO, utilizando el factor de Van Bemmelen, el mismo que asume que el 58 % de MO está compuesta por C, se aplicó la siguiente formula:

$$\%COS = \frac{\%MO}{1,724}$$

Donde:

% COS = porcentaje de carbono orgánico del suelo

1,724 = Factor de Van Bemmelen

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

4.1.1. *Eucalytus Globulus*

Tabla 4-1: Parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC

C O N	ph - húm	ph - seco	CE - húm	CE - seco	% Hum	DA	DR	Po	%M . O	%C OS	COS MG/Ha	Textura	Color
C1	7,28	6,99	28,41	62,34	17,17 67	1,11 17	3,27 02	65,9 951	1,32 18	0,76 67	17,1763	Areno francoso	Gray
C2	7,34	7,00	28,20	52,66	15,91 61	1,18 94	3,25 28	63,4 625	1,40 41	0,81 44	20,6707	Franco limoso	Grayish brown
C3	7,29	7,22	36,27	47,20	11,98 72	1,01 63	3,27 46	69,0 242	1,13 52	0,65 85	12,4745	Franco arenoso	Dark grayish brown
C4	7,22	7,22	35,78	45,33	13,56 52	1,08 63	3,24 01	66,4 746	1,24 46	0,72 19	14,9183	Areno francoso	Dark olive brown
Ds	0,05	0,13	4,47	7,63	2,33	0,07	0,02	2,28	0,11	0,07	3,48		
Err or	0,02	0,07	2,23	3,82	1,16	0,04	0,01	1,14	0,06	0,03	1,74		

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

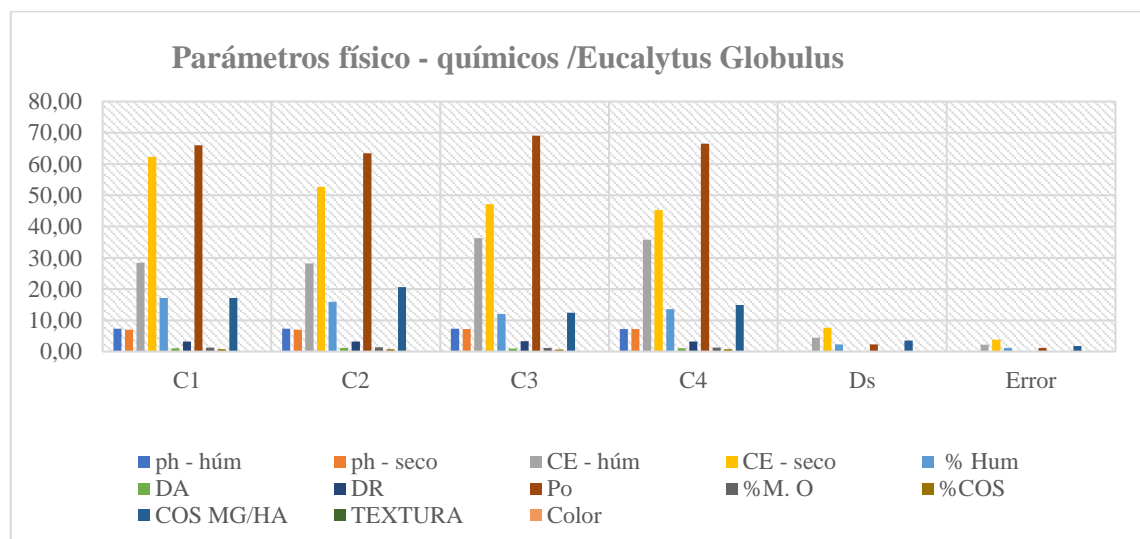


Ilustración 4-1: Esquema de los parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

En base a los resultados obtenidos para el parámetro de pH tanto en húmedo como en seco se obtiene valores que se mantiene en un pH 7, es decir este suelo es neutro, considerado un pH adecuado para el crecimiento de vegetación. Para el parámetro de CE en húmedo se obtiene valores ligeros comprendidos entre 28,41 y 45,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la CE en seco aumenta sus valores casi al doble del dato inicial. Para el parámetro de humedad tenemos que se encuentran alrededor de un 15 %, se conoce que los suelos de cultivos y pastizales están alrededor del 14 % de humedad, entrando en estos suelos según el rango establecido (Rosero, 2019, pp. 1-93).

Para la densidad real se hace relación con la MO y el espacio poroso, es decir si aumenta nuestra MO y el espacio poroso disminuye la Da o viceversa, por lo general la Da varía entre 1 y 1,2 g/ml en textura fina, mientras que en suelos arenosos es mayor, lo podemos corroborar con los resultados obtenidos entre 1 y 1,8 g/ml. El %C va a depender también de la %MO entre menor sea la concentración de materia orgánica menor será la concentración de carbono en los suelos, para estos resultados se obtuvo datos cercanos a 1 tomando una denominación muy baja de COS en el suelo de *Eucalytus Globulus* (Martinez , 2014, pp. 1-67).

Tabla 4-2: Concentración de necromasa en el suelo de *Eucalytus Globulus*

NECROMASA		CC (tC/ha)
	C1	88,7462
	C2	82,6740
	C3	97,1119
	C4	87,8759

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

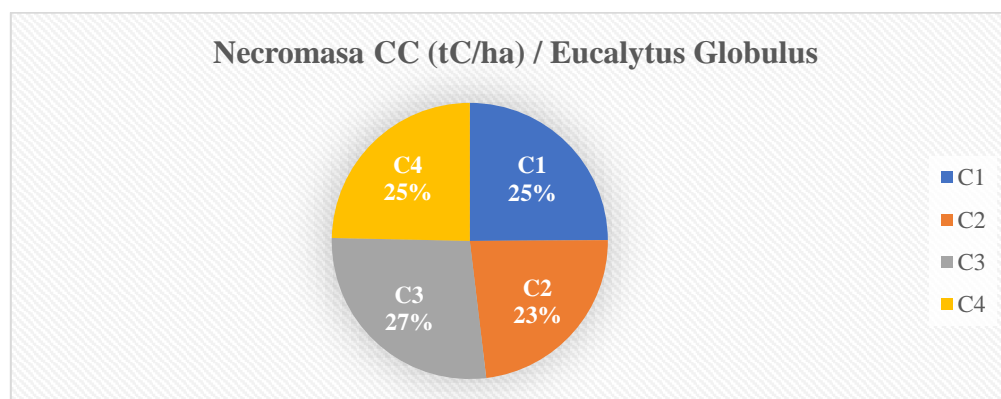


Ilustración 4-2: Esquema de la necromasa analizada en el laboratorio GIDAC

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

En el análisis de necromasa para la plantación de *Eucalytus Globulus* se puede observar que en

el C3 se encuentra en mayor concentración de carbono orgánico, con un porcentaje estimado del 27 %, cabe mencionar que para analizar la necromasa se consideró las hojas, tallos, raicillas, y raíces por cada parcela de cada conglomerado.

Tabla 4-3: Porcentajes de arcilla, limo y arena del *Eucalytus Globulus*

Bouyoucos		% arcilla	% limo	% arena
	C1	5,6073	8,2630	86,1297
	C2	6,0584	7,1649	86,7767
	C3	5,8899	8,9535	85,1566
	C4	5,3914	8,0232	86,5855

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

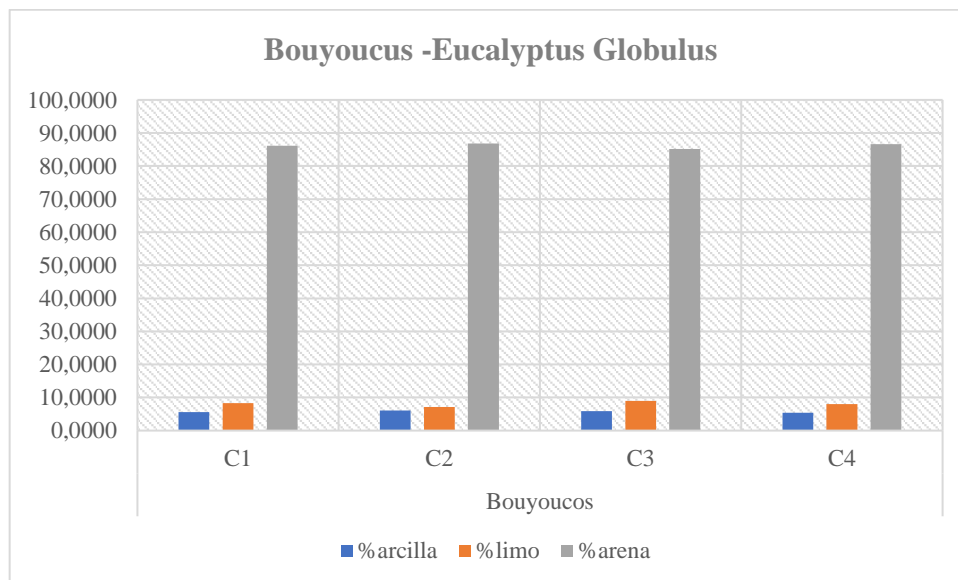


Ilustración 4-3: Esquema de Bouyoucos analizado en el laboratorio GIDAC

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

Para el análisis de textura por Bouyoucos se pudo observar que en el suelo de *Eucalytus Globulus* presenta un alto contenido de arena con un valor estimado del 87 %, mientras que para limo y arcilla cuenta con valores bajos entre 8 % y 5 %.

4.1.2. *Pinus Radiata*

Tabla 4-4: Parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC

CON	ph - húm	ph - seco	CE – húm	CE - seco	% Hum	DA	DR	Po	%M. O	%COS	COS MG/Ha	TEXTURA	Color
C1	6,36	6,92	31,37	67,32	7,1465	1,1256	18,7133	93,8094	2,0050	1,1630	24,1963	Franco arcilloso limoso	Very Dark Grayish Brown
C2	6,60	6,43	51,98	63,42	13,1016	1,0918	27,2400	95,6987	2,1220	1,2308	23,8260	Franco arcillo limoso	Dark Gray
C3	6,53	6,53	39,49	61,43	6,1856	1,1633	22,0046	94,4753	2,1289	1,2348	27,1250	Franco arcillo limoso	Very Dark Gray
C4	6,39	6,27	35,42	50,69	7,2278	1,3288	18,7286	92,2224	1,4939	0,8665	21,1935	Areno francoso	Dark Gray
C5	6,45	6,57	38,99	58,41	5,8823	1,2670	21,3849	93,7519	1,4454	0,8384	19,1190	Franco limoso	Dark Gray
Ds	0,10	0,24	7,72	6,25	2,96	0,10	3,49	1,26	0,34	0,20	3,06		
Erro r	0,04	0,11	3,45	2,80	1,32	0,04	1,56	0,56	0,15	0,09	1,37		

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

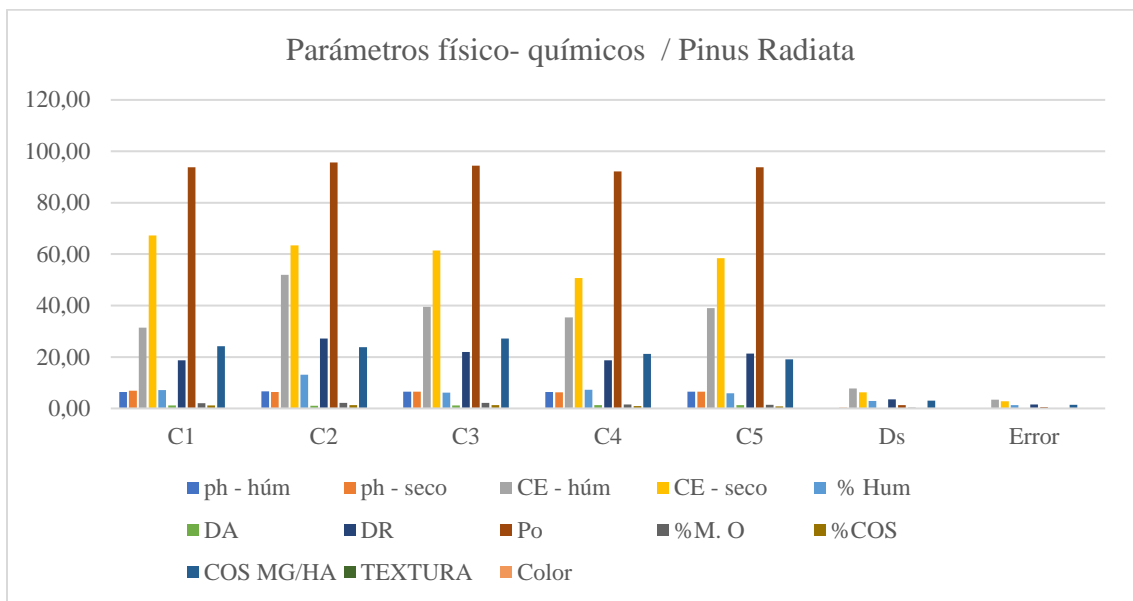


Ilustración 4-4: Esquema de los parámetros físico-químicos analizados en el laboratorio GIDAC

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

En base a los resultados obtenidos para el parámetro de pH tanto en húmedo como en seco se obtiene valores que se mantiene en un pH 6 es decir este suelo es neutro, considerado un pH adecuado para el crecimiento de vegetación. Para el parámetro de CE en húmedo se obtiene valores ligeros comprendidos entre 31,37 y 38,99 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la CE en seco aumenta sus valores casi al doble del dato inicial. Para el parámetro de humedad tenemos que se encuentran alrededor de un 7 %, esta plantación posee un bajo nivel de humedad a comparación de los otros ecosistemas, se conoce que los suelos de cultivos y pastizales están alrededor del 14 % de humedad (Rosero, 2019, pp. 1-93).

Para la densidad real se hace relación con la MO y el espacio poroso, es decir si aumenta nuestra MO y el espacio poroso disminuye la Da o viceversa, por lo general la Da varía entre 1 y 1,2 g/ml en textura fina, mientras que en suelos arenosos es mayor, lo podemos corroborar con los resultados obtenidos entre 1 y 1,2 g/ml. El %C va a depender también de la %MO entre menor sea la concentración de materia orgánica menor será la concentración de carbono en los suelos, para estos resultados se obtuvo datos cercanos a uno tomando una denominación muy baja de COS en el suelo de Pinus Radiata (Martinez , 2014, pp. 1-67).

Tabla 4-5: Concentración de necromasa en el suelo de *Pinus Radiata*

NECROMASA		CC (tC/ha)
	C1	600,4904
	C2	549,2736
	C3	975,9281
	C4	662,8679
	C5	672,0340

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

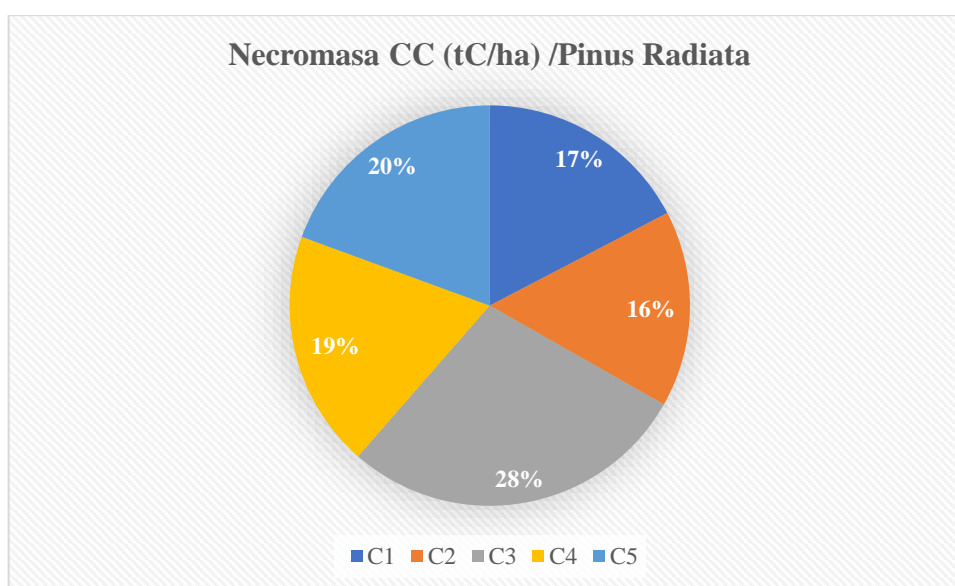


Ilustración 4-5: Esquema de la necromasa analizada en el laboratorio GIDAC

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

En el análisis de necromasa para la plantación de *Pinus Radiata* se puede observar que en el C3 se encuentra en mayor concentración de carbono orgánico, con un porcentaje estimado del 28 %, cabe mencionar que para analizar la necromasa se consideró las hojas, tallos, raicillas, y raíces por cada parcela de cada conglomerado.

Tabla 4-6: Porcentajes de arcilla, limo y arena del *Pinus Radiata*

		% arcilla	% limo	% arena
Bouyoucos	C1	2,3544	8,9003	88,7453
	C2	8,1915	4,9250	86,8835
	C3	2,5943	7,1162	90,2895
	C4	0,6666	6,3060	93,0274
	C5	0,2133	5,8982	93,8885

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

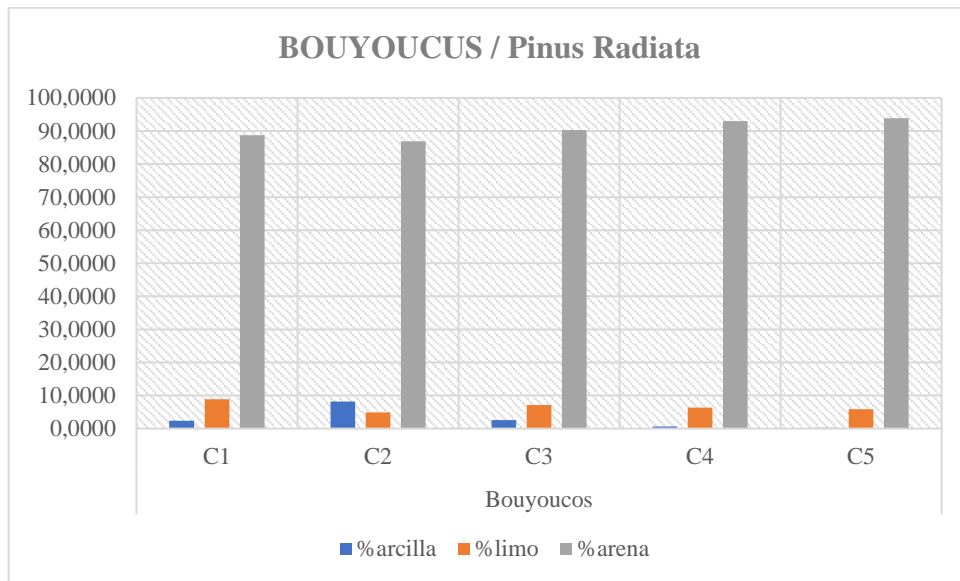


Ilustración 4-6: Esquema de Bouyoucos analizado en el laboratorio GIDAC

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

Para el análisis de textura por Bouyoucos se pudo observar que en el suelo de *Pinus Radiata* presenta un alto contenido de arena con un valor estimado del 93 %, mientras que para limo si tiene presencia en los cinco conglomerados con un valor estimado de 7%, mientras que la arcilla solo se encuentra en los primeros 3 conglomerados con valores muy bajos cerca del 2%.

4.1.3. Bosque Primario

Tabla 4-7: Parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC

CON	ph húm.	ph seco	CE húm.	CE seco	% Hum	DA (mg/ha)	DR	Po	%M. O	%COS	COS MG/Ha	TEXTURA	Color
C1	6,31	5,94	57,58	95,02	24,2924	0,9525	3,2445	70,6350	16,7438	9,7122	178,8974	Arena francosa	Olive
C2	6,35	5,63	54,37	62,61	45,4628	0,9494	3,2154	70,4602	15,0981	8,7576	156,9687	Franco arcillo limoso	Very dark gray
C3	6,51	5,52	57,20	62,67	44,1798	0,9529	3,1899	70,1196	18,4937	10,7272	183,9819	Franco limoso	Dark olive gray
DS	0,11	0,22	1,76	18,70	11,87	0,00	0,03	0,26	1,70	0,98	14,36		
Error	0,06	0,13	1,01	10,79	6,85	0,00	0,02	0,15	0,98	0,57	8,29		

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

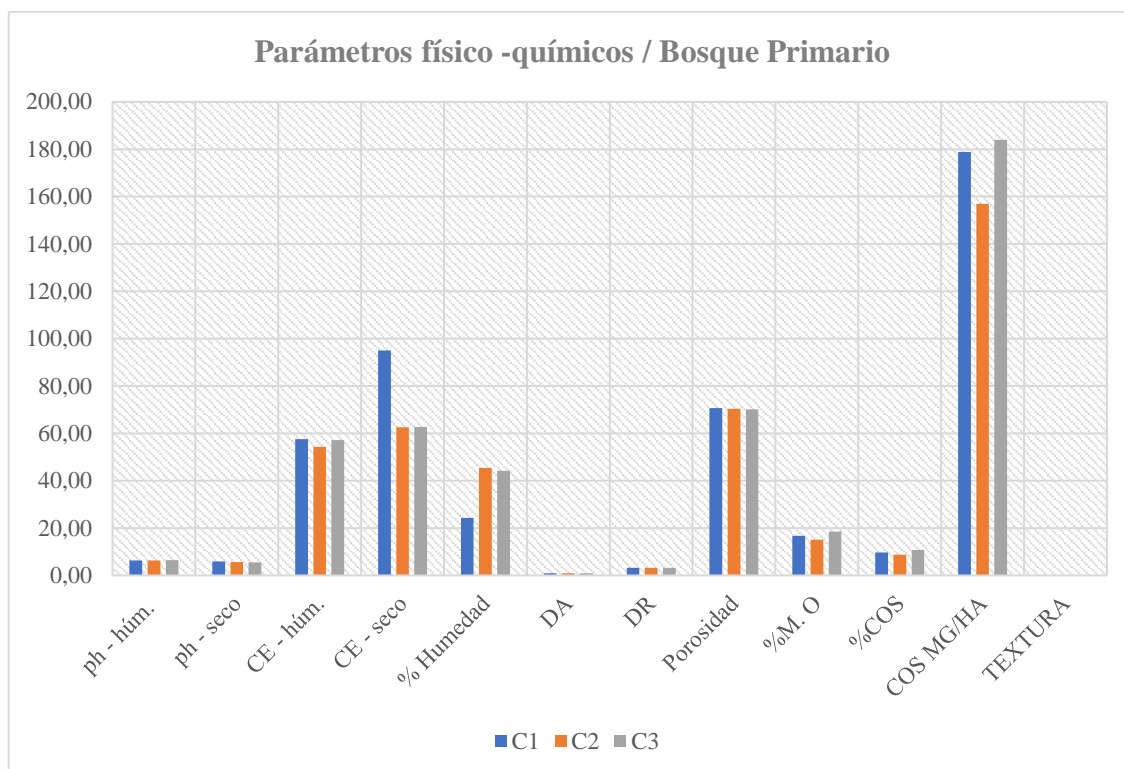


Ilustración 4-7: Esquema de Bouyoucos analizado en el laboratorio GIDAC

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

En base a los resultados obtenidos para el parámetro de pH tanto en húmedo valores de 6 mientras que en el pH seco disminuyó a un pH 5, es decir este suelo es neutro, considerado un pH adecuado para el crecimiento de vegetación. Para el parámetro de CE en húmedo como en seco se obtienen niveles altos de CE. Para el parámetro de humedad tenemos que se encuentran en un 45% teniendo estos suelos una alta capacidad de retener agua, se conoce que los suelos de cultivos y pastizales están alrededor del 14 % de humedad, entrando en estos suelos según el rango establecido (Rosero, 2019, pp. 1-93).

Para la densidad real se hace relación con la MO y el espacio poroso, es decir si aumenta nuestra MO y el espacio poroso disminuye la Da o viceversa, por lo general la Da varía entre 1 y 1,2 g/ml en textura fina, mientras que en suelos arenosos es mayor, lo podemos corroborar con los resultados obtenidos que es menor a uno. El %C va a depender también de la %MO entre menor sea la concentración de materia orgánica menor será la concentración de carbono en los suelos, para estos resultados se obtuvo datos >6 tomando una denominación alta de COS en el suelo de Bosque Primario (Martínez, 2014, pp. 1-67).

Tabla 4-8: Concentración de necromasa en el suelo de Bosque Primario

Necromasa		CC (tC/ha)
	C1	460,3016
	C2	385,5657
	C3	454,7519

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

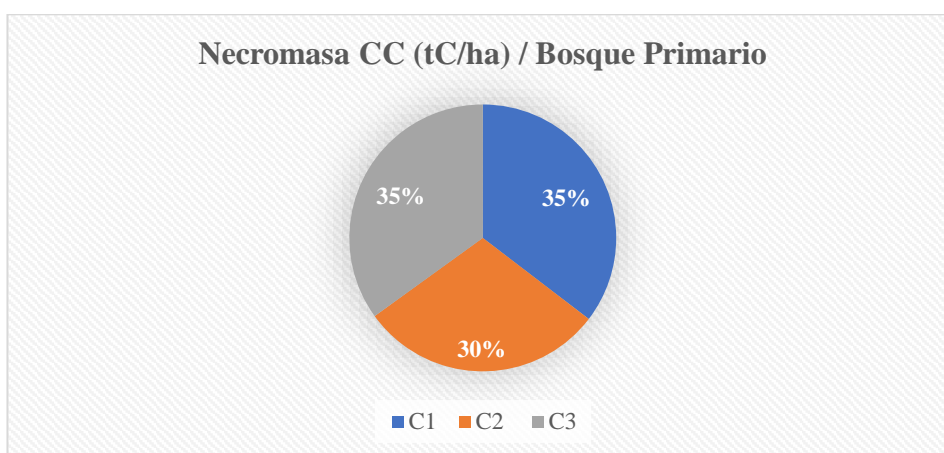


Ilustración 4-8: Esquema de la necromasa analizada en el laboratorio GIDAC

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

En el análisis de necromasa para la plantación de *Bosque Primario* se puede observar que en el C2 se encuentra en mayor concentración de carbono orgánico, con un porcentaje estimado del 30 %, cabe mencionar que para analizar la necromasa se consideró las hojas, tallos, raicillas, y raíces por cada parcela de cada conglomerado.

Tabla 4-9: Porcentajes de arcilla, limo y arena del Bosque Primario

		% arcilla	% limo	% arena
Bouyoucos	C1	6,7007	26,6827	66,6167
	C2	5,3678	27,2305	67,4018
	C3	4,2262	28,4899	67,2839

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

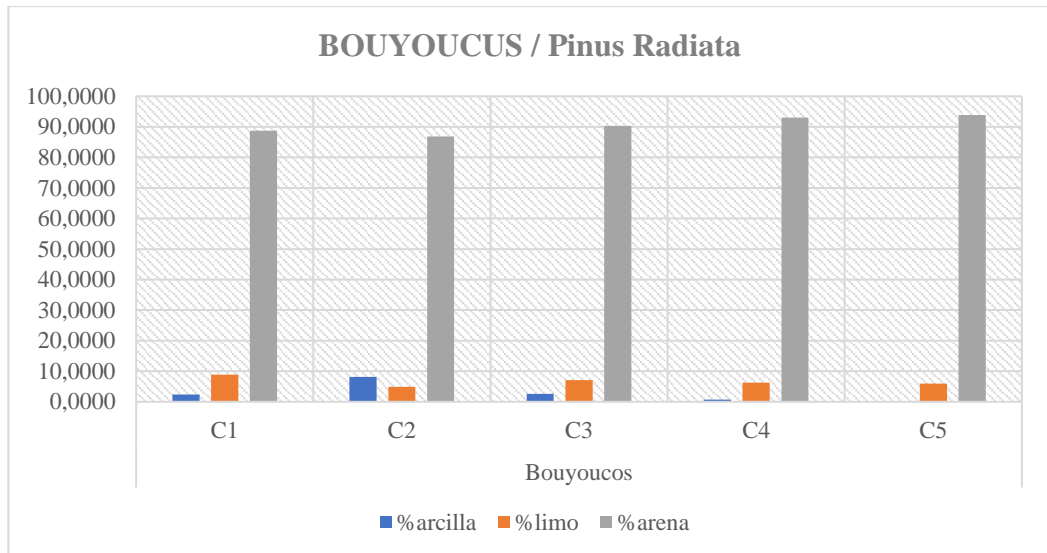


Ilustración 4-9: Esquema de los parámetros físicos-químicos analizados en el laboratorio GIDAC

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

Para el análisis de textura por Bouyoucos se pudo observar que en el suelo del *Bosque Primario* presenta más contenido de arena con un valor estimado del 67 %, mientras que para el limo cuenta con un valor intermedio del 28% y arcilla cuenta con valores bajos entre el 6%.

4.2. Discusión

La evaluación del COS para los 3 ecosistemas forestales llegó a demostrar que para que haya una alta o baja concentración de carbono orgánico influyen algunos parámetros o factores como es la textura, la profundidad la densidad aparente, MO; como se mencionó anteriormente. Como resultado final se demostró que en el Bosque Primario se cuenta con mayor concentración de COS con porcentajes mayores a 6 llegando hasta un porcentaje de 11%, mientras que tanto en las plantaciones de *Eucalyptus Globulus* y *Pinus Radiata* se obtuvo porcentajes entre 0 a 1, tomando una denominación muy baja de concentración de carbono. Los parámetros que más influyen en la concentración de carbono es la estructura, si son suelos con alto contenido de arena van a poseer mayor capacidad de retención que carbono a diferencia de los suelos con textura fina de limo y arcilla que son más probables que concentren menos carbono, esto en los suelos naturales altoandinos (Rosero, 2019, pp. 1-93).

4.3. Estadístico

El estadístico se lo realizó en base a los resultados del %COS que se obtuvieron en el proceso de la investigación, para este análisis se utilizó dos elementos: la variable dependiente que es el porcentaje final de COS analizado y como factor el tipo de bosque se desea demostrar que si afecta el tipo de bosque en la concentración de carbono usando los valores de los promedios por cada conglomerado de cada plantación forestal.

El estadístico a utilizarse fue un ANOVA simple con ayuda del programa Statgraphics View en donde se colocó los datos anteriormente mencionados para su respectivo análisis.

A continuación, se presenta el resumen de análisis de varianzas en base a lo promedios de los porcentajes de COS de cada plantación.

Tabla 4-10: Resumen estadístico para él %COS

<i>BOSQUE</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Mínimo</i>
BE	36	0,740403	0,150467	20,3223%	0,0250779	0,3524
BN	27	9,73234	2,70936	27,8387%	0,521417	6,4362
BP	45	1,06672	0,37949	35,5753%	0,056571	0,5244
Total	108	3,12435	4,06957	130,253%	0,391595	0,3524

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

Tabla 4-11: Resumen estadístico para él % COS

<i>BOSQUE</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
BE	0,9859	0,6335	-0,79541	-0,501237
BN	18,8142	12,378	3,73207	4,28023
BP	2,11	1,5856	2,44661	0,92711
Total	18,8142	18,4618	6,88958	3,70857

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de %COS para cada uno de los 3 niveles de BOSQUE. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles.

Tabla 4-12: Tabla ANOVA para %COS por Bosque

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1574,09	2	787,043	417,40	0,0000
Intra grupos	197,985	105	1,88558		
Total (Corr.)	1772,07	107			

Realizado por: Pérez Alarcón, Gabriela, 2023.

La tabla ANOVA descompone la varianza de %COS en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 417,402, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de %COS entre un nivel de BOSQUE y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Concluyendo que si afecta el tipo de bosque para la concentración de carbono por la influencia que tienen algunos parámetros que ayudan a que el carbono se concentre por más cantidades que en otros suelos.

4.4. Comprobación de la hipótesis

En base a los resultados obtenidos y el estadístico realizado se comprueba que los ecosistemas forestales analizados tienen la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico en sus suelos, siendo el de mayor capacidad el Bosque Primario, seguido del Pinus Radiata y finalmente el Eucalytus Globulus, esto debido a diferentes circunstancias como es el tiempo de plantación que llevan estas ecosistemas en los sitios monitoreados, así como el papel que juegan las propiedades tanto físicas como químicas como es el caso de la densidad aparente, la materia orgánica, la porosidad, etc.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Cada uno de los tres ecosistemas poseen diferentes capacidades de almacenar el carbono orgánico del suelo, el ecosistema del *Bosque Primario* llegó a ser más fuerte que el ecosistema de *Euclytus glubulos* y de *Pinus Radiata*, esto se debe a los diferentes componentes que posee cada suelo, así como las respuestas de sus interacciones con los parámetros analizados, es crucial valorizar estos ecosistemas y empezar a elaborar un plan de acción para la conservación de los mismos, ya que en las salidas de monitoria se pudo observar que no son cuidados y que cualquier persona tiene acceso a ellos, incluso se pudo encontrar residuos domésticos en una fuerte cantidad, provocando que con el pasar del tiempo se descompongan y no poseen un buen manejo para su proceso final, considerando que estas plantaciones poseen gran capacidad de ser fuentes y sumideros del carbono orgánico, establecidos por el IPPC.
- Se determinó las áreas de producción forestal con la ayuda de la aplicación del Google Earth dentro de la provincia de Chimborazo ubicándonos para la plantación de *Euclytus glubulus* en el cantón Riobamba parroquia San Juan con una superficie de 10,6 ha. Para la plantación de *Pinus Radiata* en el cantón Guamote parroquia Palmira con una superficie de 142 ha y el *Bosque Primario* en el cantón Chambo en la comunidad de San Pedro de Llucud con una superficie de 57,2 ha.
- Se concluye que la biomasa juega un papel fundamental en la concentración del carbono pues se conoce a la biomasa todo hoja, madera, tallos, raíces, raicillas, mantillo que se va descomponiendo con el pasar de los años y que influye de manera directa en la concentración de carbono pues cada uno de los componentes mencionados, poseen en su estructura carbono y que al momento de realizar procesos como la fotosíntesis o de descomposición, el CO₂ empieza a fijarse en los diferentes organismos y en sus hábitat naturales. • Se evaluó el contenido de stock de carbono de los 3 ecosistemas forestales dándonos como mayor concentración en el *Bosque primario* con un porcentaje de 9,7323% siendo en tC/ha $1852,29 \pm 0,09$, luego se encuentra la plantación de *Pinus Radiata* con un porcentaje de 1,0667% siendo en tC/ha $255,01 \pm 0,09$; y por último lugar se coloca la plantación de *Eucalytus glubulus* con un porcentaje de 0,7404 % siendo en tC/ha $163,02 \pm$

0,03.

- También se pudo concluir que para la concentración de carbono se relaciona con la densidad aparente, la porosidad, la materia orgánica, entre más materia orgánica posee un cuerpo más concentración de carbono para a contener en su interior, mientras que menor la densidad aparente es porque la materia orgánica y la porosidad es mayor y viceversa. La profundidad también influye en la concentración de carbono entre más profunda sea la muestra menos cantidad de carbono se encontrará al momento de realizar las investigaciones.

5.2. Recomendaciones

- Las muestras de suelo se las deben procesar lo más rápido posible para evitar que los análisis sean más precisos y no exista un margen de error como es en el caso de los parámetros de potencial de hidrogeno y de conductividad eléctrica.
- Es importante revisar los equipos a utilizar que se encuentren correctamente calibrado y en un buen estado para evitar que se dañen las muestras al momento de someterlas en el proceso de análisis o que estas se llegaran a contaminar por alguna solución extra.
- Al momento de salir a los monitoreos se recomienda realizar una revisión de todos los materiales que se vayan a ocupar, para evitar que falte alguno, así como etiquetar debidamente las muestras para evitar confusiones al momento de ser llevadas al laboratorio y analizarlas.
- Se considera como perspectiva futura al presente estudio, utilizar la información generada en la elaboración de planes de manejo y conservación ambiental, especialmente en lugares en donde se ha evidenciado mayor capacidad de almacenaje de COS.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, A. "Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica". *Tecnológico de Costa Rica*, Vol. 9, n°22 (2011), pp. 1-96.

BURBANO, H. "El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático". *Revista de Ciencias Agrícolas*, Vol. 34, n° 1(2018), pp. 1-30.

CASTAÑEDA, M.;& MONTES, C. "Carbono almacenado en páramo andino". *Ciencias Agrarias*, Vol. 13, n°1 (2017), pp. 50-62.

EYZAGUIRRE, A. Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Continental, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental. Huancayo, Perú. 2013. pp. 5 -147.

GARCÍA, C. "El carbono orgánico y la funcionalidad del suelo". *Academia de Ciencias de la Región de Murcia*, Vol.1, n°1 (2018), pp.20-93.

GIDAC. *Guía de laboratorio para análisis de muestras de suelo*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2019. pp. 1-50.

GUALPA, M.; et al. "Carbono almacenado en el suelo de dos sistemas de uso de la tierra de la Reserva Huayrapalte". *Ciencias técnicas y aplicadas*, Vol. 5, n°2 (2019), pp. 1-50.

HUAMÁN, M.; et al. "Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos". *Scientia Agropecuaria*, Vol. 12, n°1 (2021), pp. 27-56.

JAURIXJE, M. "Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara". *Bioagro*, Vol. 25, n° 1 (2013), pp. 1-75.

LLANOS, E.; & CARLOS, E. J. Almacenamiento de Carbono en el suelo bajo tres tipos de cobertura vegetal en los páramos andinos en la Cuenca del Río Paute (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado).. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuenca,

Ecuador. 2016. pp. 1-61.

LOYOLA, J. G. Valoración de carbono en la necromasa y suelo del bosque protector Aguarongo, provincia del Azuay, Ecuador (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental, Cuenca, Ecuador. 2017. pp. 1-70.

MARTINEZ, C. Secuestro de CO₂ y almacenamiento de carbono en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke "tornillo" en tres edades diferentes (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). UNAP, Escuela De Formación Profesional De Ingeniería En Ecología De Bosques Tropicales, Perú. 2014, pp. 1-67.

MARTINEZ, V.; LÓPEZ, S. "Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso". *Terra Latinoamericana*, Vol. 19, n° 1, 2001, pp. 1-10.

MONTES, A. *Perfil del suelo*. Madrid-España: Universidad Nacional de Córdoba. 2013. pp. 1-85.

NAVARRO, S., & GINES, N. *El suelo y sus elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. España:Mundi-Prensa, Química Agrícola. 2003. pp. 1-253.

OCAMPO, S. *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Madrid: Universidad Autónoma de Nayarit, 2006 1-32.

PARDOS, J. *Ecosistemas forestales y secuestro de carbon: Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*, España: Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2010. pp. 5-253.

PDOT. *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Riobamba-Ecuador: Municipio de Riobamba, 2019. pp. 4-61.

PINOS, D.; et al. "Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador". *Revista de Ciencias Ambientales*, Vol. 55, n°2 (2021). pp. 1 -123.

RODRÍGUEZ, F. Parámetros productivos del caucho (*Hevea brasiliensis*) y su relación

espacial con las propiedades físicas y químicas del suelo (Trabajo de titulación) (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá, Colombia. 2014. pp. 23-98.

RODRÍGUEZ, F. *Introducción a la contaminación de suelos*. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2017. pp.32-74.

ROSERO, G. Evaluación de carbono orgánico del suelo en el ecosistema de páramo de la microcuenca del río Chimborazo en base a las actividades antrópicas (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. 2019. pp.1-93.

TORRES, V.; & IDALMIS, R. "Biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes pastizales". *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Vol. 36, n° 4 (2002), pp. 36-406.

YAGUACHE, L. "Humedad y almacenamiento de agua en el suelo en cuatro tipos de cobertura vegetal". *Ciencias Agrarias*, Vol. 15, n° 1 (2022), pp. 1-6.

1485-DBRA-UPT-2023



ANEXOS

ANEXO A: PESAJE DE LA NECROMASA



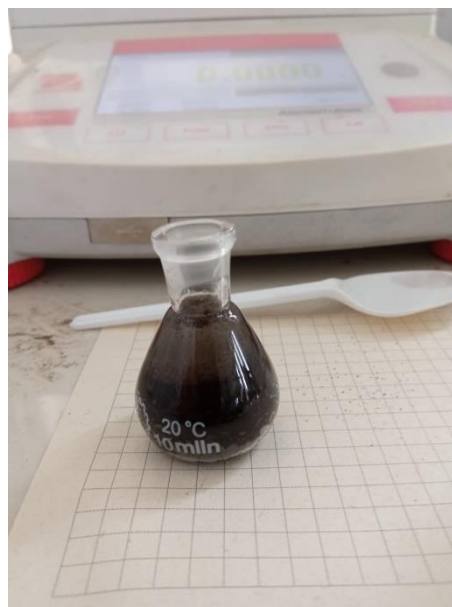
ANEXO B: PESAJE DE LAS MUESTRAS DE SUELO



ANEXO C: PROBETAS - MEDICIÓN BOUYOUCUS



ANEXO D: PICNÓMETROS UTILIZADOS PARA MEDIR LA DENSIDAD REAL



ANEXO E: BATIDORA -MÉTODO DE BOUYOUCUS



ANEXO F: BOSQUE PRIMARIO



ANEXO G: SECADO AL AIRE LIBRE DE LAS MUESTRAS



ANEXO H: SECADO DE MUESTRAS EN LA ESTUFA



ANEXO I: PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA MEDIR PH Y CE



ANEXO J: TAMIZADO DE MUESTRAS



ANEXO K: CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS



ANEXO L: MEDICIÓN DE LOS CILINDROS PARA LA DENSIDAD APARENTE:



ANEXO M: MEDICIÓN DEL CUADRANTE PARA LA NECROMASA



ANEXO N: ORGANISMOS DEL SUELO DEL BOSQUE PRIMARIO



ANEXO O: PREPARACIÓN DE MUESTRAS



ANEXO P: ETIQUETADO DE MUESTRAS



ANEXO Q: MEDICIÓN DE PH



ANEXO R: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS



ANEXO S: PERFORACIÓN DEL SUELO PARA LA TOMA DE MUESTRAS



ANEXO T: PESAJE DE MUESTRAS EN CAMPO





esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Gabriela Elizabeth Pérez Alarcón
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1485-DBRA-UPT-2023

