



**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN EL SUELO EN UNA PLANTACIÓN DE PINO (*Pinnus radiata* D. Don) IMPLEMENTADA EN EL PÁRAMO EN LA COMUNIDAD DE TOTORAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**VINUEZA CADENA LUIS MARCELO**

**TESIS**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2015**

**EL TRIBUNAL DE TESIS, CERTIFICA:** que el trabajo de investigación titulado “DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN EL SUELO EN UNA PLANTACIÓN DE PINO (*Pinnus radiata* D. Don) IMPLEMENTADA EN EL PÁRAMO EN LA COMUNIDAD DE TOTORAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO” de responsabilidad del señor Luis Marcelo Vinueza Cadena, ha sido prolijamente revisado, quedando autorizada su presentación.

**TRIBUNAL DE TESIS**

Ing. Franklin José Arcos Torres

-----

**DIRECTOR**

Ing. Norma Ximena Lara Vásconez

-----

**MIEMBRO**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2015**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis abuelos y padres Graciela Cadena y Arsenio Vinueza por su ejemplo y paciencia invaluable que han formado la base de mi vida y a mis tías Moni, Olguita y Yaya por su paciencia y cariño desinteresado.

Muchas gracias...

*Luis Marcelo Vinueza Cadena.*

## **AGRADECIMIENTO**

·  
Mi sincero agradecimiento a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, a la Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal y sus docentes por el sin número de conocimientos y experiencias impartidas a lo largo de la carrera.

Agradezco muy especialmente a la Dra. Carmen Vallejo S por su valioso ejemplo y confianza depositados en mí persona y a mi amigo y hermano incondicional Ing. Juan Haro V.

A la Universidad Nacional de Chimborazo a través del proyecto “Caracterización Biogeográfica de las subcuencas hídricas para la adaptación al cambio climático considerando el paisaje cultural andino de la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo” en especial al Ing. Marco Rodríguez Ll y al Ing. Franklin Cargua C por su apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	ii
LISTA DE GRAFICOS	v
LISTA DE IMÁGENES	vi
LISTA DE ANEXOS	vii

<b>CAPITULO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Nº DE PÁG</b>
I.	TITULO	1
II.	INTRODUCCIÓN	1
A.	JUSTIFICACIÓN	3
II.	REVISION BIBLIOGRÁFICA	6
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	22
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
VI.	CONCLUSIONES	75
VII.	RECOMENDACIONES	77
VIII.	RESUMEN	78
IX.	SUMARY	79
X.	BIBLIOGRAFÍA	80
XI.	ANEXOS	89

## LISTA DE CUADROS

	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>N° DE PÁG</b>
Cuadro 1.	Pedregosidad del suelo	30
Cuadro 2.	Clase de uso de la tierra de acuerdo a la pedregosidad	31
Cuadro 3.	Diseño de bloques completos al azar (DBCA)	33
Cuadro 4.	Promedios por parcela cada uno de los bloques o parcelas	33
Cuadro 5.	Análisis de varianza para profundidad	34
Cuadro 6.	Análisis de varianza entre los conglomerados.	34
Cuadro 7.	Correlación Pearson entre las variables de los conglomerados a tres profundidades.	35
Cuadro 8.	Identificación del lugar de salida.	36
Cuadro 9.	Información del medio de transporte, tiempo y distancia hacia los conglomerados.	36
Cuadro 10.	Ubicación del punto donde termina el viaje de vehículo y empieza la caminata hacia los conglomerados.	37
Cuadro 11.	Información del día y la hora de llegada hasta los puntos de inicio en cada conglomerado.	37
Cuadro 12.	Identificación de los conglomerados.	38
Cuadro 13.	Datos generales sobre la vegetación.	42
Cuadro 14.	Identificación de las parcelas.	43
Cuadro 15.	Identificación de los propietarios de las parcelas.	44
Cuadro 16.	La función de la plantación C1, páramo C2 y su estructura vertical.	44
Cuadro 17.	Perturbaciones naturales detectadas.	45
Cuadro 18.	Perturbaciones debido a actividades antrópicas.	46
Cuadro 19.	Origen y sucesión y manejo de la plantación.	47
Cuadro 20.	Pendiente y topografía de cada una de las parcelas.	48
Cuadro 21.	Características físicas del suelo.	49

Cuadro 22.	Cobertura de copas C1 Plantación de <i>Pinnus radiata</i> D Don).	50
Cuadro 23.	Descripción y codificación del conglomerado C1 Implementado en la plantación de <i>Pinnus radiata</i> D. Don y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos muestreo a las diferencias profundidades en la parcel 1.	51
Cuadro 24.	Descripción y codificación del conglomerado C1 implementado en la plantacion de <i>Pinnus radiata</i> D.Don y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos de muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 2.	52
Cuadro 25.	Descripción y codificación del conglomerado C1 implementado en la plantación de <i>Pinnus radiata</i> D.Don y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos de muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 3.	53
Cuadro 26.	Descripción y codificación del conglomerado C2 implentado en la páramo y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos de muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 1.	54
Cuadro 27.	Descripción y codificación del conglomerado C2 implementado en el páramo y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos de muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 2.	55
Cuadro 28.	Descripción y codificación del conglomerado C2 implementado en la páramo y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 3.	56
Cuadro 29.	Promedios por parcela a cada una de las profundidades en el conglomerado C1 (Plantación de pino) en Ton/Ha.	57
Cuadro 30.	El análisis de varianza para la variable profundidad en C1.	57
Cuadro 31.	Prueba de Tukey alfa al 5 % para C1.	58

Cuadro 32.	Promedios por parcela a cada una de las profundidades en el conglomerado C2 ( Páramo libre de cobertura forestal) en Ton/Ha.	59
Cuadro 33.	El análisis de varianza para la variable profundidad en C2.	60
Cuadro 34.	Prueba de Tukey alfa al 5%, para C2.	60
Cuadro 35.	Análisis de varianza de las dos localidades o conglomerados.	62
Cuadro 36.	La prueba de Tukey al 5% para los conglomerados C1 plantación <i>Pinnus radiata</i> D.Don y C2, páramo libre de cobertura forestal.	62

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>N° DE PÁG</b>
Gráfico 1.	Contenido de carbono orgánico en el suelo COS de la plantación de pino a 10, 20 y 30 cm de profundidad.	58
Gráfico 2.	Contenido de carbono orgánico en el suelo COS del páramo libre de cobertura forestal a 10, 60 y 30 cm de profundidad.	61
Gráfico 3.	Diferencia del contenido de carbono orgánico en el suelo entre los dos conglomerados.	63
Gráfico 4.	Correlación: materia orgánica y carbono orgánico a 10 cm.	65
Gráfico 5.	Correlación: materia orgánica y carbono orgánico a 20 cm.	66
Gráfico 6.	Correlación: materia orgánica y carbono orgánico a 30 cm.	68
Gráfico 7.	Correlación entre la densidad aparente y el carbono orgánico a 10 cm.	70
Gráfico 8.	Correlación entre la densidad aparente y el carbono orgánico a 20 cm.	72
Gráfico 9.	Correlación entre la densidad aparente y el carbono orgánico a 30 cm.	73

**LISTA DE IMÁGENES**

	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>N° DE PÁG</b>
Imagen 1.	Sierra Central del Ecuador, cantón Alausí, parroquia Achupallas, zona de estudio Totoras-Cobshe Alto.	39
Imagen 2.	Zona de estudio de la parroquia y ruta de acceso hacia los conglomerados, plantación de pino y páramo.	40
Imagen 3.	Ubicación de la comunidad y de cada una de las parcelas dentro de cada conglomerado, delimitación del área del conglomerado CI plantación de pino (59.86 Ha).	41

## LISTA DE ANEXOS

	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Nº PÁG</b>
ANEXO 1.	Diseño conglomerado y ubicación de las parcelas en forma de L.	89
ANEXO 2.	Diseño de las parcelas de 60 por 60 m y 20 por 20 m.	89
ANEXO 3.	Diseño y ubicación de los puntos de monitoreo para la caracterización física del suelo.	90
ANEXO 4.	Diseño de las subparcelas y ubicación de los puntos de muestreo para determinar Da y COS.	90
ANEXO 5.	Inicio de las mediciones.	91
ANEXO 6.	Identificación de las parcelas en C1, <i>Pinnus radiata</i> D. Don.	91
ANEXO 7.	Identificación de las parcelas en C2, páramo.	92
ANEXO 8.	Perturbaciones naturales C1, <i>Pinnus radiata</i> D. Don.	92
ANEXO 9.	Perturbaciones naturales C2, Páramo.	93
ANEXO 10.	Perturbaciones antrópicas C1, <i>Pinnus radiata</i> D. Don.	93
ANEXO 11.	Perturbaciones antrópicas C2, páramo.	93
ANEXO 12.	Vista panorámica del área de estudio.	94
ANEXO 13.	Materiales y equipos utilizados en el campo y en el laboratorio.	94
ANEXO 14.	Medición y trazado de las parcelas.	95
ANEXO 15.	Elaboración de las calicatas.	95
ANEXO 16.	Muestreo de suelo.	96
ANEXO 17.	Características físicas del suelo.	96
ANEXO 18.	Fase de laboratorio	97
ANEXO 19.	Determinación de la densidad aparente del suelo.	97
ANEXO 20.	Secado de las muestras en la estufa.	98
ANEXO 21.	Determinación del contenido de la materia orgánica en el suelo.	98
ANEXO 22.	Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C1 correspondientes al estrato plantación forestal de <i>Pinnus radiata</i> D. Don, parcela 1.	99

- ANEXO 23. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C1 correspondientes al estrato plantación forestal de *Pinnus radiata* D. Don, parcela 2. 100
- ANEXO 24. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C1 correspondientes al estrato plantación forestal de *Pinnus radiata* D. Don, parcela 3. 101
- ANEXO 25. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C2 correspondientes al estrato páramo sin cobertura forestal, parcela 1. 102
- ANEXO 26. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C2 correspondientes al estrato páramo sin cobertura forestal, parcela 2. 103
- ANEXO 27. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C2 correspondientes al estrato páramo sin cobertura forestal, parcela 3. 104

# **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN EL SUELO EN UNA PLANTACIÓN DE PINO (*Pinus radiata* D. Don.) IMPLEMENTADA EN EL PÁRAMO EN LA COMUNIDAD DE TOTORAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

## **INTRODUCCIÓN**

El suelo es donde se desarrollan diversos procesos fundamentales para la nutrición y el crecimiento de las plantas, la materia orgánica presente en él están distribuidas por toda la tierra y contiene gran variedad de materiales y el carbono debido a la acción de los microorganismos del suelo es recirculado a la atmosfera en forma de CO<sub>2</sub>, el nitrógeno es transformado en amonio, nitrato y otros elementos necesarios para el desarrollo de las plantas superiores.

La materia orgánica tiene una capacidad de retener hasta el 90% de su peso en agua, con la consecuente formación iones metálicos y óxidos hidratados y la interacción con minerales de arcilla y partículas para absorber y liberar nutrientes para las plantas. Esto hace que se agrupen los agregados que forman el suelo mejorando su estructura.

La compensación de carbono es una medida encaminada a compensar la liberación de gases de efecto invernadero (GEI) almacenando o evitando las emisiones de una cantidad determinada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera para compensar las emisiones de terceros en otros lugares. Además las compensaciones negociables con un valor monetario también llamado crédito de carbono o crédito de carbono, teniendo en cuenta que un crédito equivale a una tonelada métrica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y deben demostrar que el proyecto haya conducido a la reducción o eliminación de emisiones de GEI en adición a las que hubieran ocurrido en su ausencia (REED Y EHRHART 2007).

Uno de los ecosistemas que debido al cambio climático podrían verse afectos gravemente son los de páramos que son áreas con gran diversidad, y son considerados muy frágiles, ya que albergan gran cantidad de especies endémicas con una limitada variabilidad genética razón por la cual son muy proclives a su extinción.

Los páramos distribuyen en un amplio rango longitudinal y latitudinal (desde costa Rica hasta el norte de Bolivia), condición que permite estudiar y comparar los cambios inducidos por el clima a lo largo de su gradiente de distribución. La falta de planificación e información de la dinámica del carbono y la influencia de las plantaciones forestales implementadas en paramo agudizan el problema los dichos ecosistemas (SIERRA R, 1999. PAULI ET AL, 2003).

Otra característica común del páramo es la temperatura muy fría con una media a 3500 m está alrededor de 7° C (BUYTAERT, 2004) y la precipitación anual es alta en relación con zonas más bajas, pero también muy variable de 700 a 3000 mm (LUTEYN, 1992).

En el Ecuador, específicamente en la región andina se ha venido impulsando la actividad forestal por diferentes entidades estatales y privadas, estableciendo plantaciones las mismas que, debido a la falta de planificación, capacitación, monitoreo y manejo, han influido para que los rendimientos volumétricos y calidad de la madera no sean considerables de tal modo que los ingresos esperados sean bajos (SIERRA R, 1999. PAULI ET AL, 2003).

En la actualidad, debido a que las actividades agrícolas y ganaderas no son tan rentables, gran número de propietarios de tierras están resueltos a establecer plantaciones forestales para diferentes fines y una alternativa que se plantean es la generación de ingresos por la venta de las Reducciones Certificadas de Emisiones (CER) que son los créditos o bonos de carbono distribuidos por el Consejo Ejecutivo del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para las reducciones de emisiones obtenidos por los proyectos del MDL las cuales son verificadas por una entidad operacional designada en virtud de las normas del Protocolo de Kioto. El Mecanismo de Desarrollo Limpio es un procedimiento contemplado en el Protocolo de Kioto en donde países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de GEI dentro de países en desarrollo, y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones aplicables a cumplir con su compromiso de reducción propio (IPCC, 2001).

## A. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación cuantifica el stock de carbono orgánico en el suelo con plantación forestal de pino (*Pinus radiata* D. Don.) mediante el uso de técnicas apropiadas para la caracterización de la zona de estudio y poder contar con información fiable, ya que la determinación del contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) es fundamental para cualquier caracterización de un sitio y conocer el servicio ambiental que pueden generar los ecosistemas forestales ubicados en el páramo de la serranía ecuatoriana, específicamente en la parroquia Achupallas en la comunidad de Totoras, para de esta manera contribuir a la generación de nuevas políticas incrementando y mejorando las distintas acciones enfocadas al manejo adecuado, planificado y sostenible de los recursos forestales presentes en los páramos y a su vez poder cuantificar el stock y la disponibilidad de carbono orgánico en el suelo (COS) de una plantación de *Pinus radiata* D. Don, en relación al páramo libre de intervención forestal en una zona aledaña y conocer de mejor manera la influencia de la forestación con pino en el suelo de los páramos de esta zona en concreto, además esta investigación pretende proyectar los conocimientos obtenidos a las nuevas generaciones para próximas investigaciones. Según los autores US EPA 1991, ÁLVAREZ-MANILLA ET AL. 2002, la caracterización de un sitio, implica actividades de muestreo y análisis que tienen como finalidad determinar la extensión y naturaleza del ecosistema, así mismo, provee las bases para adquirir la información técnica necesaria para desarrollar, proyectar, analizar y seleccionar las técnicas de remediación apropiadas.

El suelo es un recurso natural de gran importancia, que desempeña funciones en la superficie de la tierra como reactor natural y hábitat de organismos, así como soporte de infraestructura y fuente de materiales no renovables (SPOSITO 1984, UNESUR 2004).

El principal objetivo de este estudio fue generar una base de datos que nos permitan evaluar el estado del recurso suelo en un ecosistema forestal implementado en el páramo enfocado en el stock de carbono orgánico. Los conglomerados, las parcelas, los puntos de muestreo a instalarse así como el análisis de laboratorio se los realizó utilizando principalmente la metodología publicada por el Proyecto “Evaluación Nacional Forestal ENF” del Ministerio del

Ambiente del Ecuador bajo la cooperación del Programa “Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático” (FAO 2006.)

Para de esta manera poder realizar un análisis del porcentaje de carbono orgánico en el suelo (COS) en la plantación forestal de pino (*Pinus radiata* D.Don.) en relación al páramo libre de plantación forestal aledaño.

El muestreo de suelo y la información obtenida serán necesarios para el reporte de carbono orgánico en el suelo.

Esta investigación fue llevada a cabo con el apoyo del proyecto “Caracterización Biogeográfica de las Subcuencas Hídricas para la Adaptación del Cambio Climático considerando el Paisaje Cultural Andino y el desarrollo socioeconómico de la Parroquia Achupallas Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo” y su equipo técnico forestal que desarrollan sus actividades de investigación en la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), teniendo en cuenta programas nacionales de gestión de los recursos forestales, dado el interés de participar en las negociaciones internacionales de mitigación del cambio climático donde la propuesta metodológica del inventario nacional forestal (INF) es muy compatible con los objetivos planteados a nivel internacional como “La Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques”(REDD+), en el marco de la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. REDD+ que ha sido identificada como una de las opciones de mitigación al cambio climático de mayor impacto en un corto plazo (IPCC. 2006).

La provincia de Chimborazo, cuenta con una gran cantidad de tierra de actitud forestal (altitud, pendiente y suelo) en manos de las comunidades indígenas que fueron otorgadas como producto de una distribución desigual en el proceso de la reforma agraria iniciada en el país desde 1964 (MAGAP. 2008, MAE. 2008).

La presente investigación se llevó a cabo en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Sangay que es un área protegida que comprende ecosistemas que van desde la región amazónica hasta la sierra ecuatoriana. Fue creado bajo Acuerdo el Ministerial No. 190 del 16 de junio de 1975 como Reserva Ecológica Sangay. Posteriormente, el 26 de Julio de 1979 fue categorizado como Parque Nacional. Su extensión es de 502 067 hectáreas y su altura varía

desde los 90 hasta los 5 319 metros sobre el nivel del mar y su territorio se divide entre las provincias de Morona Santiago, Tungurahua, Chimborazo y Cañar. El parque constituye una de las áreas protegidas con mayor diversidad biológica del Ecuador. Posee alrededor de 3 000 especies de flora y en lo que se refiere a fauna, cuenta con 400 especies de aves, 107 especies de mamíferos, 20 especies de anfibios, 11 especies de reptiles y 8 especies de peces. Bajo estudios recientes se ha identificado también 35 especies de mariposa en el páramo, en 1983 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) declaró al Parque Nacional Sangay como Patrimonio Natural de la Humanidad, debido a su gran importancia biológica, ecológica y cultural. (MAE. 2008)

Por las razones citadas, para esta investigación, se plantearon los siguientes objetivos:

1. Caracterización del área de estudio y diseño de la ruta hacia los conglomerados generando mapas de ubicación de la plantación de pino (*Pinus radiata* D. Don), en el sector de Totoras.
2. Determinación del contenido de carbono orgánico en el suelo de una plantación forestal y a tres profundidades utilizando el método de análisis LOST IGNICION.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### A. EL CARBONO

El carbono se encuentra formando parte de la mayoría de los elementos que conforman la naturaleza así: en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos y en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, obtenidos como resultado de sus procesos metabólicos, realizados durante su crecimiento y que son liberados cuando estos mueren. Este elemento es el más importante en la vida de los organismos vivos, ya que representan aproximadamente el 50% del peso seco (SMITH, 1994).

Según NASA, 2008, el carbono se presenta en la naturaleza en cinco formas alotrópicas que son el diamante, el grafito, los ulerenos, los nanatubos y las nanoespumas.

El aumento en el CO<sub>2</sub> atmosférico habría sido más rápido de no ser por la función de amortiguador que desempeña el océano. Un 40% del CO<sub>2</sub> liberado por la actividad industrial y humana se disuelve en los océanos en forma de carbonato y bicarbonato. Así mismo, puede haberse producido cierta inmovilización de la biomasa terrestre (SCHLESINGER, 1990)

Los suelos contienen más carbono que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera (SWIFT, 2001). El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica (JACKSON, 1964).

#### 1. Carbono Orgánico en el suelo (COS)

El carbono orgánico en los suelos (COS) es un componente muy importante del ciclo global del carbono, ocupando un 69,8 % del carbono orgánico de la biosfera La microbiología del suelo se ve afectada por dos ciclos: un ciclo lento, en el que la producción de carbono se mide en cientos de miles de años e implica el desgaste de las rocas y la disolución de carbonatos en la tierra y en los océanos y el ciclo de producción rápida de carbono, que se mide en años o décadas y constituyen una parte fundamental en el aspecto biológico de la naturaleza(FAO, 2001).

Los principales componentes de almacenamiento de carbono en el uso de la tierra son el carbono orgánico del suelo (COS) y en la biomasa arriba del suelo. Se ha estimado que el carbono (C) en la biomasa de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 y 230 y entre 25 y 190 toneladas por hectárea (t ha<sup>-1</sup>), respectivamente (BROWN ET AL. 1997).

En forma general el mayor porcentaje de carbono orgánico proviene de las plantas, formado por sus residuos en la superficie del suelo y de la descomposición de las raíces (KILLHAM (1994).

La cantidad total de Carbono orgánico almacenada en los suelos ha sido estimada por diversos métodos y su valor es cercano a 1.500 Petagramos de carbono a 1 m de profundidad (1 Petgramo de Carbono (Pg C) = mil millones de toneladas de carbono)(SCHLESINGER, 1991, GIFFORD, 1994, SWIFT, 2001, y FAO, 2001).

El carbono orgánico del suelo (COS) se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (JACKSON, 1964).

En condiciones naturales, el carbono orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (SWIFT, 2001, Y AGUILERA, 2000).

El carbono del suelo abarca el carbono orgánico, el carbono inorgánico y el carbón vegetal. El bicarbonato, un tipo de carbono inorgánico, está presente en los suelos calcáreos pero es insignificante en los suelos neutros y ácidos. El principal tipo de carbono en el suelo se encuentra en diversas etapas de humificación, y los plazos de recambio llegan hasta cientos (o incluso miles) de años. En las turbas, los plazos de recambio pueden alcanzar los miles de años.

En los suelos minerales, el cambio en el carbono orgánico del suelo es relativamente pequeño y ocurre principalmente en los primeros 30 cm de la capa de suelo (IPCC, 1997).

La concentración de carbono orgánico en los suelos generalmente disminuye con la profundidad y a mayor proporción de reservorios relativamente estables menor la

concentración total de carbono. La respuesta más fuerte de la reserva de carbono en el suelo a los cambios en la cobertura terrestre ocurre en los primeros 20 y 30 cm de profundidad. Sin embargo, los datos empíricos sólo suelen permitir detectar cambios en la capa de 0 a 5 cm de profundidad. (IPCC, 1997)

Las unidades de medida utilizadas en los stocks de carbono se expresan en términos de peso de carbono por unidad de área megagramo de carbono por hectárea (Mg C ha ) y los valores de los flujos siempre incluyen la variable tiempo megagrammo de carbono por año (Mg C ha año ). Por ejemplo, 150 Mg C ha año se lee “Ciento cincuenta megagramos de carbono por hectárea al año”. Es importante entender la relación entre las diferentes unidades usadas en los resultados de los estudios del ciclo de carbono, tales como:

- 1 Megagramo (Mg) = 1,000 Kilogramos (kg) = 1 Tonelada (t)
- 1 Petagramo (Pg) = 1,000,000,000 Mg = 1 Gigatonelada (Gt)
- 1 Hectárea (ha) = 10,000 m<sup>2</sup>

El cambio en el contenido de carbono del suelo debido a un cambio en el uso de la tierra no suele superar los 20 Megagramos (Mg) de carbono por ha excepto en condiciones de humedales (IPCC, 1997).

#### **a. Fracciones de carbono orgánico en el suelo**

Se conoce como materia orgánica del suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (ROSELL, 1999)

Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (AGUILERA, 2000).

El carbono orgánico en el suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica en el suelo (MOS), por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro. Al respecto cabe señalar que los métodos analíticos determinan COS, (calcinación húmeda o seca) y que la MOS se estima a partir del COS multiplicado por factores empíricos como el de van Benmelen equivalente 1,724 que resulta (  $1/0.58 = 1.724$ ) de

la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de carbono (JACKSON, 1964).

Los suelos de los páramos del Ecuador se han desarrollado esencialmente sobre los depósitos piroclásticos resultantes de las erupciones de los volcanes. Se trata en general de suelos andisoles o vitrosiles, pero su morfología y propiedades varían considerablemente según los principales factores, como la edad, naturaleza, la composición química de los materiales y las condiciones climáticas. Presentan globalmente altas capacidades de retención de agua (del 60 al 200 %) y a menudo importantes acumulaciones de materia orgánica. (QUANTIN & ZEBROWSKI, 1997 &). Estos suelos son generalmente clasificados como Andosoles (FAO 1998),

## **b. Ciclo del carbono**

El ciclo de carbono en los vegetales, comienza con la fijación del anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno en forma simultánea que pasa a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta, y el anhídrido carbónico así formado se libera a través de sus hojas o de su raíz.

Otra parte es consumida por los animales que también respiran y liberan anhídrido carbónico. Las plantas y animales al morir son descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera.

Es la sucesión de transformaciones que sufre el carbono a lo largo del tiempo. Es un ciclo biogeoquímico de gran importancia para la regulación del clima de la Tierra, y en él se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida. El ciclo comprende dos ciclos que se suceden a distintas velocidades; Ciclo biológico: comprende los intercambios de carbono (C) entre los seres vivos y la atmósfera, es decir, la fotosíntesis, que es un proceso mediante el cual el carbono queda retenido en las plantas y por lo general el carbono representa el 50% de la biomasa de un árbol, si a eso se le suma la cantidad de árboles que pueden crecer

en una hectárea (Ha) de bosque , eso representa la cantidad de carbono acumulado en esa superficie. Cuando el árbol muere la madera es descompuesta por bacterias, hongos e invertebrados, reciclando su carbono como biomasa, materia orgánica muerta (cadáveres y excrementos de estos organismos) y nuevamente los gases de dióxido de carbono y metano ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ ) son liberados a la atmósfera o en el agua (FAO, 2000).

### **c. Principios del ciclo microbiano del carbono**

Todos los microorganismos cumplen un papel fundamental para la conversión de compuestos de carbono reducidos a sus formas elementales. Los microorganismos son los agentes encargados del volcado de los desechos en la naturaleza. Sin ellos, la descomposición sería increíblemente lenta. En su búsqueda de energía los microorganismos se alimentan de compuestos orgánicos reducidos, cuyo resultado es la fuerza motriz que subyace en el ciclo del carbono y este último es la fuerza que impulsa en casi todas las reacciones de los ciclos de los nutrientes, en las que intervienen elementos orgánicos como el azufre, el nitrógeno y el fósforo. En general, la vida microbiana está limitada por el carbono (ALEXANDER, 1973). La fauna del suelo cumple un papel importante, ya que junto con los microorganismos transforman los restos orgánicos manteniendo la estructura del suelo (ADL 2003).

### **d. La Materia orgánica en el suelo**

El Carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (JACKSON, 1964).

Los suelos de de textura arcillosos retienen más materia orgánica en el suelo que suelos arenosos, pese a haber sido sometidos al mismo aporte de materia orgánica (JENKINSON, 1988) La textura se define como el porcentaje en peso del suelo mineral que queda comprendido en varias fracciones de tamaño de partículas (DE LA ROSA, 2008). El color es un atributo utilizado a diferentes niveles de la Taxonomía de Suelos (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993 & MUNSELL 2009).

En la materia orgánica del suelo (MOS) se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de

carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (AGUILERA. 2000).

La densidad aparente está relacionada con el peso específico de las partículas orgánicas de los suelos (HUERTA-CANTERA. 2010).

Al existir un incremento de la MOS aumenta también el espacio poroso y disminuye la densidad aparente y viceversa, la variación de densidad aparente está asociada con las prácticas de manejo. (SALAMANCA J. A, 2005 & WOLF Y SNYDER. 2003).

Existe una gran variación entre diferentes tipos de suelos y los horizontes en el factor de conversión COS a MOS, así que es preferible informar el valor de COS sin transformar (ALLISON, 1965). La materia orgánica del suelo tiene una composición heterogénea muy compleja y está por lo general mezclada o asociada con los constituyentes minerales del suelo (BALESDENT ET AL.,2000).

Cada una de estas fracciones se obtiene por solubilización en medios ácidos o alcalinos. Sin embargo, este tipo de fraccionamiento se encuentra limitado por la presencia de componentes no húmicos extraídos junto con la fracción húmica y que no pueden ser separados efectivamente mediante esta metodología (HAYES Y CLAPP, 2001).

Las sustancias húmicas son el principal componente de la MOS y representan, por lo menos el 50% de ésta (SIMPSON *ET AL.*, 2007).

Las sustancias húmicas son el material orgánico más abundante del medioambiente terrestre (HAYES Y CLAPP, 2001).

Dentro de la fracción húmica, las huminas son el componente más abundante. Las huminas incluyen una amplia gama de compuestos químicos insolubles en medio acuoso y contienen además compuestos no húmicos como largas cadenas de hidrocarburos, ésteres, ácidos y estructuras polares, que pueden ser de origen microbiano como polisacáridos y glomalina, íntimamente asociados a los minerales del suelo (HAYES Y CLAPP, 2001).

Las huminas representan más del 50% del COS en suelos minerales y más del 70 % del COS en sedimentos litificados (KONONOVA, 1966 & HEDGES *ET AL.*, 1995). En un estudio de un

suelo de Irlanda manejado con pradera y trigo en labranza convencional encontraron cinco clases de los principales compuestos de las huminas, llamadas: péptidos, especies alifáticas, carbohidratos, peptidoglican y lignina (SIMPSON *ET AL.* 2007).

#### **e. Descomposición del carbono.**

Este proceso de desintegración engloba a su vez dos subprocesos simultáneos: por un lado la fragmentación de partículas de un tamaño mayor en otras cada vez menores, hasta que los componentes estructurales (incluidos los celulares) no son ya reconocibles y por otro lado el catabolismo de los compuestos orgánicos

Los microorganismos actúan de vínculo de unión entre los procesos de producción primaria y secundaria, propician la reintroducción de compuestos inorgánicos en el sistema y producen biomasa microbiana susceptible de servir como alimento a organismos detritívoros. (ORDÓÑEZ, 1999).

## **2. Carbono en los ecosistemas forestales**

Las plantas mediante la fotosíntesis incorporan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico a los procesos metabólicos. Todos los componentes del árbol como: follaje, ramas, raíces, y fuste, están compuestos por el CO<sub>2</sub>. La demanda de CO<sub>2</sub> aumenta a medida que cada estructura del árbol crece. (ORDÓÑEZ 1999).

El secuestro de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo (TAIZ & ZEIGER, 1998).

## **B. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS)**

Para la determinación de la materia orgánica hay varios métodos, si es un suelo con alto contenido de arena se aplica la calcinación a temperatura promedio de 500 – 600 grados centígrados, aplicando este método puede obtenerse resultados de manera rápida. El método de pérdida por ignición para la determinación del contenido orgánico es más aplicable a aquellos materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales carbonáceos como lignito, carbón, etc. Este método sirve para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en tales materiales y proporciona una estimación válida del contenido orgánico (STEUPBLING, GODOY, ALBERDI. 2001).

El método de la "Combustión húmeda" se recomienda cuando se desea determinar el material orgánico (del tipo humus) fácilmente oxidable para suministrar información relacionada con la adecuabilidad de un suelo para cultivo.

La aplicación del método de ignición o calcinación para la determinación de la materia orgánica implica una destrucción climatizada de toda la materia orgánica existente en el suelo. Un peso determinado se coloca en el crisol cerámico que luego se lo calienta un promedio de 6 a 8 horas entre 350 y 400 °C (NELSON Y SOMMERS, 1996)

A continuación la muestra se enfría en un desecador y se pesa. El Contenido de materia orgánica se calcula como la diferencia entre los dos pesos inicial y final de la muestra dividido por el peso de la muestra inicial multiplicado por 100%. Todos los pesos deben variar es decir que no deben contener humedad antes de calcular el contenido de materia orgánica (SOMMERS, 1996).

La temperatura por el método de calcinación debe mantenerse por debajo de los 440°C de temperatura para evitar la destrucción de los carbohidratos inorgánicos que pueden estar presentes en la muestra. El riesgo de aplicar esta técnica de determinación de carbono orgánico es que en algunos minerales de arcilla pierdan agua estructural o grupos hidroxilo debido a las temperaturas usadas para la combustión de las muestras, la pérdida de agua estructural llevara a

la sobreestimación del contenido de materia orgánica en los resultados. Uno de los medios para evitar ese problema es a través del pre tratamiento de la muestra a través de la eliminación de la materia mineral usando HCl y ácido HF (NELSON Y SOMMERS, 1996).

### **C. BENEFICIO DE LOS PROYECTOS DE CAPTURA DE CARBONO.**

El almacenamiento de carbono, es un servicio ambiental que valoriza la incorporación de especies arbóreas en sistemas agroforestales, y se suma así a posibles beneficios para el productor que adopta estos sistemas alternativos, beneficios hídricos en relación con el incremento productivo de pastizal y bosque, y beneficios al nivel de fijación de carbono por medio de “bonos verdes” o “de carbono” o su equivalente en impuestos, etc (IPPC, 2000).

Para proyectos de captura de carbono, es importante contar con la cuantificación de carbono con base en información diferenciada por especie y componentes del árbol, ya que es un dato biológico que refleja y determina un porcentaje representativo de la cantidad de carbono secuestrada (GAYOSO J. 2002).

Según BISHOP Y LANDELL-MILLS, 2003, los mecanismos de pago por Servicios Ambientales dan un nuevo valor al uso de los recursos forestales, mismos que se transforman constantemente de acuerdo a las necesidades de cada país.

Estos son una alternativa de ingreso para la población rural y un medio para la protección de los bosques y selvas.

El análisis de sensibilidad del costo marginal del carbono sobre los precios de los productos, precio de la tierra y costo de formulación y tramitación de los proyectos de carbono, mostró que, aun cuando hay cambios menores en el orden de importancia de las variables, existe una fuerte correlación con el precio de la madera aserrada. Esto significa que cualquier variación en el precio de este producto generará un cambio en la rentabilidad del proyecto y de manera consiguiente sobre los costos marginales del carbono (GAYOSO 2002).

## **1. El mercado de bonos de carbono**

El nombre de “bonos de carbono” se ha dado como un nombre genérico a un conjunto de instrumentos que pueden generarse por diversas actividades de reducción de emisiones.

Todas las operaciones de compra-venta en el comercio de bonos de carbono están regidas por un contrato entre el comprador y el vendedor.

Los pagos de servicios ambientales no solo tienen que ver con la mejora de la calidad del suelo, sino también tienen que notarse beneficios en cuanto a otros factores importantes, como la cantidad y calidad de agua etc.,..(RUDEL ET AL.2005).

### **a. Activos de carbono y sus compensaciones**

Hay dos tipos de emisiones. Estos son “permisos para contaminar”, que forman los créditos dentro de un mercado de bonos ecológicos y “créditos de carbono”, que en realidad representan una reducción actual o futura de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

Como el régimen de Kioto es un mercado de “bonos ecológicos”, hay un límite a la cantidad de CO<sub>2</sub> que una empresa participante puede emitir. En caso de que superen esa cantidad tienen que comprar más permisos o créditos a través del mercado y al revés, si no se utilizan todos pueden vender sus derechos de emisión de nuevo en el mercado.

No hay un valor “oficial” sobre el precio de una tonelada de CO<sub>2</sub> reducida o no emitida. Aunque algunas agencias multilaterales han establecido ciertos precios para los proyectos de reducción de emisiones financiados por ellas mismas (por ejemplo, hasta 2005, el Banco Mundial emplea un precio de \$5 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente no emitida), el precio de la tonelada está sujeto a oferta y demanda de bonos de carbono en el mercado. (<http://www.carbon350.co.uk/carbon-assets-and-offsets/?lang=es>)

Dado que existen diferentes esquemas para el comercio de los bonos y diferentes sitios del mundo donde se pueden comprar y vender, pueden existir precios diferentes por cada tonelada de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo: Chicago Climate Exchange (datos a Junio de 2005): en operación desde

Diciembre del 2003; el precio ha fluctuado desde \$0.90 hasta los \$2.10 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> (INE, 2010).

## **D. PLANTACIONES FORESTALES**

Conceptualmente, se puede resumir que plantaciones forestales es el resultado de plantar árboles forestales para fines comerciales en zonas desprovistas de los mismos mediante un plan de forestación o reforestación con un adecuado manejo silvicultural y una producción de madera en pie después de 15 o 20 años (FRA 2005).

### **1. Áreas de plantaciones forestales en Ecuador**

De los datos estadísticos disponibles hasta el 2003, se estima que el país tenía una superficie de aprox. 10`877.000 hectáreas de bosques naturales, es decir, el 42.43% de la superficie total correspondiendo a plantaciones forestales 160.000 hectáreas, es decir el 0,62% de la superficie total del país. Se estima que de las 160.000 ha de plantaciones forestales, en la Región Sierra se encuentran 80.000 ha; en la Región Costa, 60.000 ha; y en la Amazonía alrededor de 20.000 ha, aunque en esta región predomina el cultivo de árboles en sistemas agroforestales. Las principales especies maderables que se cultivan en la Sierra, son *Pinusspp.* Y *Eucalyptusspp.* Y en la Región Costa y Amazonía, la Teca-*Tectonagrandis*(FAO - FRA 2005).

Las plantaciones forestales presentan una evapotranspiración mayor y una escorrentía reducida en comparación con vegetación baja compuesta por pasturas naturales (CORNISH 1989).

El efecto de las plantaciones forestales de pino puede ser nocivo para la regeneración de especies nativas como para las mismas plántulas de pino (EVANS, J. 1992). Muy poco sotobosque puede crecer bajo las plantaciones de coníferas debido a la gran producción de hojarasca que queda casi sin descomposición sobre el suelo y esto ahoga la vegetación del sotobosque (VAN DER HAMMEN, 1997).

### **2. Plantaciones forestales en el Ecuador**

Ecuador tiene una superficie terrestre de 28`356.000 ha (aprox. 256.370 km<sup>2</sup>) de las cuales, se estima que 14.4 millones de hectáreas (130.002 km<sup>2</sup>.) de tierra son de uso preferentemente forestal, es decir, más del 50% del territorio nacional; correspondiendo a las plantaciones

forestales, alrededor de 164.000 has. Que representan el 1.14% de la superficie forestal del Ecuador (CORPEI., EXPOECUADOR 2007, 2012).

Las ventajas comparativas de nuestro País, como la ubicación geográfica del país, la presencia de la Cordillera de los Andes y la influencia de corrientes marinas determinan que el Ecuador disponga de gran variedad de climas y formaciones vegetales. En algunas zonas disponen de 12 horas de luz al día, durante todo el año, lo que incide en una mayor velocidad de crecimiento de especies forestales valiosas tanto nativas como exóticas, que requiere el mercado nacional e internacional (CORPEI., EXPOECUADOR 2007, 2012).

Los recursos económicos que producen beneficios directos son: los productos forestales no madereros como esencias de uso medicinal y cosmetológico, miel, hongos, etc. Las plantaciones forestales han sido una fuente de leña importante para muchas comunidades (KENNY-JORDAN ET AL, 1999). El turismo y el ecoturismo son beneficios económicos indirectos del bosque, que en la actualidad han cobrado un gran auge. Los beneficios ambientales de orden nacional o regional son aquellos beneficios indirectos que producen los bosques como consecuencia de los efectos de protección sobre el suelo, sobre la mejor economía del agua y sobre la protección de cuencas hidrográficas. Los beneficios ecológicos esenciales son de carácter global. En este sentido se puede mencionar la función del bosque en la conservación de la biodiversidad por ser uno de los ecosistemas más complejos, motivo por el cual es prioridad mundial conservarlos como banco de genes *in situ*. (CORPEI., EXPOECUADOR 2007, 2012).

El otro beneficio de carácter esencial es la función del bosque como sumidero de carbono, disminuyendo el efecto invernadero que genera este gas en la atmósfera. Esta suma de externalidades positivas debe ser dimensionada y evaluada para generar una correcta decisión política de los organismos y poderes nacionales, regionales y mundiales. Se dice que las evaluaciones de los recursos naturales son costosas y requieren una justificación objetiva, que suele abarcar la función económica y ecológica de los recursos, el uso potencial de la información y los usuarios potenciales de la misma (KLEIN, 2000).

## **E. LOS PARAMOS ECUATORIANOS**

La utilización de los páramos en el Ecuador, especialmente en las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar y Cañar se remonta a tiempos preincaicos (RAMÓN 2002, SUÁREZ 2002).

Los páramos son ecosistemas zonales ubicados por encima del límite superior de los bosques cerrados y por debajo del límite superior de vida en las montañas tropicales del centro y sur de América (LUTEYN, 1999). Las reservas de carbono orgánico en páramos inalterados y con presencia de mucha humedad se alcanzan valores de hasta 250 Ton/Ha y valores más bajos en los páramos más secos y alterados (BATJES 1996, ESWARAN ET AL. 1993).

La conservación del ecosistema paramo en el Ecuador, al igual que en los otros países, puede resumirse diciendo que existe un mosaico de diferentes estados desde bien conservado hasta muy degradado. Un estudio demostró para el Ecuador los páramos del norte, del sur y del oriente es mejor que el de los páramos centrales y occidentales, han estimado que la mitad de todos los páramos de pajonal tiene un bajo estado de conservación y apenas una décima parte está en buen estado de conservación. La explicación básica para la aparición de este patrón parece estar en que las provincias de la Sierra central y particularmente en la cordillera occidental, han sido más accesibles y han tenido históricamente más habitantes y que las otras zonas especialmente las orientales, presentan una topografía y un clima poco propicios para los asentamientos y las actividades de los seres humanos (COPPUS ET AL. 2001).

La conversión de pajonales a plantaciones forestales permite un secuestro de carbono en la biomasa de los árboles, pero el efecto sobre el carbono del suelo varía de un sistema a otro (GUO Y GIFFORD 2002). La acumulación de acículas de pino frena el crecimiento de otras especies en el sotobosque (IDEAM 2002).

Los suelos andinos en su mayor parte se formaron a partir de cenizas volcánicas, constituyéndose en verdaderas reservas de carbono. Los Andosoles son unidades que poseen la más alta reserva promedio de carbono. Además, la gran altitud y las bajas temperaturas influyen para que la descomposición sea lenta, razón por la cual los suelos de los páramos fácilmente llegan a este promedio. Solo los perfiles muy jóvenes contienen poco carbono (SOMBROEK

ET AL, 1993). La capacidad de regulación hídrica del páramo es muy grande de acuerdo a científicos y agricultores (HOFSTEDE, 1995; MEDINA & VÁSCONEZ, 1999- 2001)

Existe una relación positiva entre el carbono orgánico en el suelo (COS) y la estabilidad estructural de los agregados y el caso es inverso en suelos intervenidos (ROTHON, F.E., 2000).

## **F. PARCELAS PERMANENTES DE MUESTREO**

Las parcelas permanentes son uno de los pilares principales en manejo e investigación forestal. Las predicciones de crecimiento y producción, basadas en datos de parcelas permanentes tienen implicaciones directas para la toma de decisiones de los inversionistas en manejo de bosque o plantaciones forestales. Las parcelas permanentes permiten, a los forestales e investigadores forestales, observar diversas variables económicas y ecológicas relevantes y coleccionar evidencia objetiva en términos de información base. Dicha información es por lo general usada para construir, mejorar o actualizar modelos o procesos estadísticos que son empleados para entender mejor y predecir el desarrollo del bosque o rodal (C. KLEINN, D. MORALES, 2002).

Los resultados también son útiles en la identificación de indicadores para el manejo sostenible del bosque. Por lo general, el diseño de las parcelas permanentes debe ser planificado con cuidado, con el objetivo de que éstas produzcan información útil y se proteja la inversión realizada. Muchos forestales en la actualidad no tienen presente que hace más de cien años, éste fue uno de los temas principales de discusión que dio origen a la Unión Internacional de Organizaciones para la Investigación Forestal (IUFRO), por sus siglas en inglés, con el fin de que la información forestal tuviera una homogenización y una estandarización (C. KLEINN, D. MORALES, 2002).

### **1. Muestreo**

El muestreo es una actividad que contempla el levantamiento de datos, tanto dentro como fuera de los bosques, ya que el manejo de estos recursos debe considerarse dentro del plan nacional de ordenamiento territorial, lo cual implica el conocimiento de los recursos en todas las áreas productivas del país; por otro lado, esta consideración también permite realizar un diagnóstico para evaluar la recuperación de ecosistemas forestales degradados (ENF- HONDURAS, 2005).

La Evaluación Nacional Forestal en Ecuador se aplicará bajo un diseño de muestreo de doble estratificación, el cual consiste en dos fases. Durante la primera fase se seleccionará una muestra relativamente grande de forma sistemática en todo el país. Esta muestra servirá para estimar el tamaño o peso de los estratos en relación a la población y la muestra. En la segunda fase se seleccionará una muestra más pequeña para cada estrato (ENF- MAE 2012).

## **2. Unidad de muestreo**

Es el lugar físico o parcela, establecida convenientemente en el área de estudio y donde se miden las variables previamente definidas. Esta debe ser representativa del sector las cuales deben estar distribuidas en el área de interés de acuerdo al diseño establecido. Las unidades de muestreo siempre deben quedar delimitadas y georeferenciadas en el terreno y ubicadas en un plano para su posterior evaluación de ser necesario (DAUBER, 1995).

## **3. Establecimiento de parcelas permanentes de muestreo (PPM)**

Antes de entrar en detalle sobre los métodos de establecimiento de la(s) parcela(s) de acuerdo con el tamaño y la forma inicial seleccionados es necesario describir algunos pasos fundamentales que se deben tener en cuenta durante el trabajo de campo: el trazado del perímetro, la corrección por pendiente, la revisión de ángulos rectos y ciertas dificultades que se pueden presentar en el trazado de la(s) parcela(s). (VALLEJO-JOYAS M.I., ET AL. 2005)

La utilización de parcelas permanentes de muestreo en los estudios de la vegetación busca promover la conservación de la diversidad de los diferentes tipos de vegetación y el uso sostenible de los recursos naturales, para lo cual es fundamental conocer cómo cambian estos complejos ecosistemas en el tiempo y en el espacio (CAMPBELL, P., J. ET AL. 2002).

Sin embargo, además del inventario inicial de la vegetación obtenido en las parcelas es necesario cuantificar los cambios que ocurren a largo plazo para identificar los vacíos de conocimiento y las estrategias que se deben seguir para cubrirlos. Esto se puede lograr por medio del monitoreo de aspectos como la composición, la estructura, el crecimiento, la mortalidad y la supervivencia de las especies, de uno o varios sitios determinados (COMISKEY ET AL. 1999).

La tendencia actual de establecer parcelas permanentes de gran tamaño (CONDIT 1995),

### **G. PARROQUIA ACHUPALLAS**

La parroquia Achupallas se encuentra localizada en el cantón Alausí en la provincia de Chimborazo con una población de 12.861 habitantes, de los cuales el 50,2% son hombres y 49,8% son mujeres, sus principal actividad económica la agricultura, cultivando productos como: papas, habas, mellocos, cebada, trigo, entre otros. En la ganadería el principal ingreso es a través del ganado lanar y otras especies como: llamingos, vicuñas, borregos, ganado bravo, entre otros. También se destaca por la fabricación de quesos, preparación y confección de ropa en telares tradicionales. (<http://www.google.com/parroquiaachupallas/stoner>, 2009).

La presente investigación se llevó a cabo en la comunidad de Totoras y parte de la comunidad de Copshe Alto para realizar la comparación de la fijación de carbono orgánico en el suelo (COS).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

#### 1. Localización

El presente trabajo se llevó a cabo en una plantación de Pino (*Pinus radiata* D Don), implementada en el ecosistema de paramo ubicada en la comunidad de Totoras, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

##### a. Superficie

La plantación de pino (*Pinus radiata* D Don), tiene una superficie de 59.86 Ha

#### 2. Ubicación geográfica

a. **Altitud:** 3800 – 4000 msnm

b. **Latitud:** 755189,49 UTM

c. **Longitud:** 9753024,05 UTM

#### 3. Características climáticas

a. **Temperatura promedio anual:** 8 - 14 °C

b. **Precipitación promedio anual:** 1000 – 1200 mm.

c. **Humedad relativa:** 50 - 70 %

#### 4. Clasificación ecológica

Según INFOPLAN (Sistema de información para el desarrollo local en el Ecuador) el área de estudio se la clasifica como “páramo” ya que está dentro de los rangos latitudinales que van desde los 3400 a 4500 msnm.

#### 5. Topografía

En lugar donde se llevó a cabo la investigación se encuentra situado en un área con una topografía irregular, con pendientes que van del 15 al 35%.

## **B. MATERIALES**

### **1. Materiales para campo**

Manual de campo ENF, mapas con la ubicación, libreta de campo, material para oficina, cuadro para corrección de pendientes, cuadro con clasificación de uso de la tierra, cartas topográficas escala 1:50000, guía de munsell para suelos, cinta métrica, brújula (360°), binoculares, pala, botas de campo, cilindros de 91,93 cm<sup>3</sup> para toma de muestras de suelo, fundas plásticas de cierre hermético, sacos de yute, mochilas para los instrumentos de medición, mandil, equipo de camping, lápices y lapiceros, reloj, vasos de precipitación, crisoles, pinzas, guantes de manejo y para temperatura, espátula.

### **1. Equipos**

GPS (geoposicionador), cámara fotográfica digital (mayor a 10 mega píxeles), calculadora de mano, balanza analítica, estufa, mufla, teléfono celular, ordenador, vehículo 4\*4.

## **C. METODOLOGÍA**

La metodología aplicada en esta investigación fue la oficial del Ministerio del Ambiente (MAE-2012). Manual de Campo publicado por el proyecto Evaluación Nacional Forestal ENF y el programa Nacional Conjunto ONU-REDD+ del Ministerio del Ambiente del Ecuador, bajo la cooperación del programa “Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático” FAO Finlandia y el componente ONU REDD FAO.

Para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación se procedió a realizar los siguientes pasos:

### **1. Caracterización del área de estudio y diseño de la ruta hacia el conglomerado generando mapas de ubicación de la plantación de pino (*Pinnus radiata* D. Don), en el sector de Totoras.**

Para las mediciones de campo en el área de estudio se utilizó un conglomerado de parcelas en forma de L.

Para el levantamiento de información en campo se midieron 3 parcelas por conglomerado.

Las parcelas fueron de forma cuadrada de 60 x 60 m. La distancia entre parcelas en el conglomerado fue de 250 metros. Dentro de las parcelas se realizó las mediciones y observaciones. Para mejorar la eficiencia en las mediciones, las parcelas tuvieron un diseño anidado con sub-parcelas de 20\*20.

**a. Composición de los equipos para campo fue la siguiente:**

El equipo técnico de campo fue conformado por 3 personas:

Un técnico forestal con destreza en GIS e identificación de especies; un asistente de campo, y un guía local.

A continuación se describe las responsabilidades que fueron asignadas a cada miembro del equipo:

**1) Técnico forestal.**

El líder del equipo fue el responsable de organizar todas las fases del trabajo de campo dentro y fuera de los conglomerados, desde la planificación de acceso a las unidades de muestreo hasta la aceptación e ingreso final de la información a la base de datos. Fue el responsable de contactar y mantener buenas relaciones con la comunidad y los informantes específicamente:

Analizó la ubicación de las parcelas para organizar el acceso y se obtuvo la información sobre los propietarios, gobiernos locales, preparó el trabajo de campo organizando manuales, libreta de campo, mapas, equipos y materiales etc..., también realizó el manejo adecuado de GPS y el diseño de una ruta de acercamiento a los conglomerados, generando mapas de ubicación y las entrevistas necesarias para el ingreso.

Organizó la logística del equipo (transporte, alimentación, etc...) y se contactó con el guía local, además organizó a los miembros del equipo, definiendo bien sus funciones para el trazado, levantamiento y medición de las parcelas. Y brindó apoyo para la organización y supervisión las encuestas a los propietarios.

Una vez relajadas todas esas actividades, constató que la libreta sea llevada adecuadamente y que verificó los datos recogidos sean fiables; es el que se encarga de llenar la libreta de campo para el posterior ingreso correcto de datos al sistema.

Una de sus funciones principales fue la de aclarar todas las dudas sobre los registros a los asistentes de campo y tomó las decisiones pertinentes para que la información de cada parcela esté completamente clara y aceptada.

Una vez concluidas las actividades de reconocimiento, observación, medición, muestreo y toma de datos en el campo, el técnico forestal fue es el responsable de organizar las muestras de suelo tomadas en el campo y además realizó el trabajo de laboratorio.

## **2) Asistente de campo**

La función del asistente de campo fue principalmente brindar apoyo al técnico forestal en el desarrollo de sus tareas de tomar las mediciones realizar observaciones necesarias para el registro de información en la libreta se aseguró que los materiales y equipos estén siempre completos y operativos durante el trazado de las parcelas, colocación de valijas o estacas para la orientación en la parcela, realizó también levantamientos de información y mediciones.

## **3) Guía local**

Su principal función fue la de mediador con los miembros de la comunidad ya que informó sobre el acceso al área de muestreo y el objetivo de la investigación además colaboró en el levantamiento de información sobre tenencia de la tierra y proporcionó información sobre los usos y gestión del bosque.

### **b. Procedimientos para el levantamiento de información en campo**

En cada conglomerado y parcelas el proceso de levantamiento de información se realizó en tres etapas: planificación, levantamiento y almacenamiento de datos e información. El líder de equipo realizó una programación de toda la planificación y el levantamiento de campo.

## **1) Análisis de ubicación, acceso y tenencia de la tierra**

El equipo de campo contó con las coordenadas exactas de los puntos de inicio de cada parcela, tanto en el sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), como en las coordenadas geográficas (latitud-longitud). Además de esta información, el líder del equipo consideró las siguientes acciones de mejoramiento de la información de las UTM:

El líder del equipo realizó consultas para obtener información geográfica adicional que apoye el análisis de acceso de cada conglomerado, posteriormente al análisis de acceso, se realizó la planificación del levantamiento y dependiendo de las condiciones de acceso de cada unidad de muestreo, el líder organizó el transporte, alimentación y campamentos.

## **2) Ingreso de coordenadas al geoposicionador**

Antes de iniciar el trabajo de campo se procedió a grabar en el geoposicionador (GPS) las coordenadas de los puntos de inicio de cada parcela de la unidad de muestreo, las mismas que se encontrarán en el GPS.

### **c. Mediciones y observaciones en las parcelas.**

#### **1) Acceso a la parcela**

Para la ubicación de las parcelas se utilizó el GPS y los mapas elaborados con la información de SIG y utilizamos las recomendaciones de acceso e información recabada durante la planificación, también se apoyó de otros recursos como fotografías aéreas e imágenes de satélite.

Antes de salir se revisó que el GPS esté correctamente configurado y que las coordenadas son las correctas, utilizando las instrucciones sobre ajustes del GPS y se mantuvo el GPS encendido desde las áreas fuera de bosque, para facilitar una mayor precisión y rapidez de lecturas del GPS una vez que entre a coberturas boscosas y con el apoyo del mapa en campo se revisó y ubicó cerca del punto indicado donde es posible realizar el levantamiento de información.

## **2) Establecimiento del punto de inicio para medición de la parcela**

Una vez tomada la decisión del punto de inicio de la parcela, se obtuvo una nueva coordenada con el GPS, que se llama coordenada de campo, siempre sobre el eje o carril central de la faja 1 de la parcela, indicando la distancia del inicio en las casillas correspondientes.

## **3) Levantamiento de datos en la parcela**

Se realizó el trazado de las parcelas para la observación y medición de los diferentes elementos.

Antes de iniciar se revisó detenidamente el diseño y distribución de las parcela sobre el diseño de muestreo.

## **4) Trazado o instalación de las parcelas**

Para el trazado de las parcelas se tomó en consideración los siguientes lineamientos:

Se instalaron tres parcelas de conformidad al diseño del muestreo. Estas tres parcelas formaron una “L”. Se inició con la instalación de la parcela lateral derecha de la L; y de ahí continuamos hacia la izquierda y luego a la parcela superior.

Las parcelas cuadradas se trazaron utilizando el método del carril, faja o trocha central.

Parcelas de 60 x 60 m estuvo compuesta de 3 subparcelas de 20 por 20.

El procedimiento para el trazado de la parcela fue el siguiente:

El punto de GPS proporcionado por la UT correspondió al carril central de la primera faja.

A partir de este punto se midió los extremos hacia los lados de la faja, utilizando la brújula con un azimut de  $90^\circ$

Se realizó el mismo procedimiento con un azimut de  $270^\circ$  y posteriormente con un azimut de  $0^\circ$  (Norte franco) medimos 30 m horizontales, marcamos el punto y dejando la cinta en el suelo.

## 5) Medición de la cobertura de copas

Se procedió con la modificación del densiómetro debido a que este instrumento fue creado para medir la oscuridad de copas pero sirve perfectamente para este propósito (KORHONEN ET AL. 2006), dicha modificación consistió en reducir el ángulo de medición de los originales 60 grados, donde el observador debió utilizar únicamente los 4 (de 24) cuadros localizados más cerca del observador. Estos 4 cuadros permitieron ver la luz reflejada desde el cénit en dirección al ojo del observador. Si menos del 25% de los 4 cuadros tiene sombra se interpretó como una cobertura rala o abierta; si se observa que entre el 25 y 50% de los 4 cuadros tienen sombra, se consideró una cobertura interrumpida o semiabierta; cuando se observa una sombra entre 50 y 75% se interpretó como semicerrada; y cuando se observó que más del 75% de los 4 cuadros tiene sombra se interpretó como una cobertura densa o cerrada.

La medición con el densiómetro se realizó de forma sistemática en cada faja sobre el carril central (cada 20 m). La primera se hizo a los 10 m. es decir al centro de la parcela de 20 x 20 m. Luego se realizó una medición a los 30 y 50 m.

En cada faja se realizaron 3 mediciones, por lo que en total por parcela se realizaron 9 mediciones

## **2. Determinación el contenido de carbono orgánico en el suelo de un plantación forestal a tres profundidades utilizando el método de análisis (LOST IGNICION).**

Para las observaciones y muestreo de suelo, se evaluaron 5 calicatas en los extremos y centro de la parcela anidada de 20 x 20 m (Anexo 4 y 5). Para conocer los cambios en el contenido de carbono, en los cinco puntos de muestreo se extrajeron muestras de suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad (Anexo 16), donde son más notorios dichos cambios (IPCC 2006).

Para ingresar el código para cada parcela se procedió de la siguiente manera:

Se etiquetó las muestras de la siguiente manera Ej. (C1 P2 p5 30).

Donde C1 corresponde al conglomerado 1, P2 a la parcela 2, p1 es el punto 1 de muestreo, y el numero 30 indica a la profundidad a la que ha sido tomada la muestra.

Este código se mantuvo durante todas las fases de la presente investigación (campo y laboratorio, análisis de datos, redacción y presentación del informe)

**a. Muestreo de suelo.**

Las características físicas y muestras de suelo para análisis de laboratorio se tomaron dentro de la sub-parcela de 20 x 20 m.

En la sub parcela se establecieron cinco puntos de muestreo, distribuidos uno en el centro y en cada extremo de los cuatro vértices.

En el punto central de la sub-parcela se observó el color, textura, estructura y pedregosidad del suelo (FAO 2006). Adicionalmente, se observó la fisiografía y la accesibilidad a la parcela.

Para conocer los cambios en el contenido de carbono, en los cinco puntos de muestreo se extrajeron muestras de suelo hasta los 30 cm de profundidad, donde son más notorios dichos cambios (IPCC 2006). Además, a mayor profundidad existen estudios que establecen una tendencia exponencial de disminución del carbono. Las muestras se extrajeron a tres profundidades: entre 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm, para lo cual fue necesario construir pequeñas calicatas de 40 por 40 cm. A cada profundidad se tomaron una muestra compuestas de 3 cilindros extraídos de los cinco puntos de muestreo en cada parcela que sirvió para el cálculo de carbono orgánico y densidad aparente.

De manera detallada el procedimiento fue el siguiente:

Se removió la hojarasca hasta que se pueda observar el suelo limpio en los cinco puntos de muestreo.

Utilizando una pala se realizó pequeñas calicatas hasta una profundidad de 30 cm.

Luego colocamos las muestras de suelo en una funda plástica cerrándola herméticamente y etiquetada con el código correspondiente.

Este mismo procedimiento se siguió para tomar todas las muestras a 10, 20 y 30 cm de profundidad, esto permitió medir los cambios en el contenido de carbono con relación a la profundidad del suelo.

Las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio luego de terminada cada jornada de medición en campo (Anexo 6 y 7)

El procedimiento para evaluar las características físicas del suelo fue el siguiente:

El color del suelo se identificó usando la tabla de Munsell (MUNSELL 2009).

Para reconocer la textura se utilizó una muestra colectada de una de las calicatas y usando el método de la sensibilidad del tacto, se procedió a evaluar la ocurrencia relativa de arcilla, limo y arena.

La estructura y la pedregosidad se valoró con base a los porcentajes de piedras mayores a 10 mm encontradas en el suelo y se determinó presencia o no de fragmentos rocosos gruesos en la superficie que afecten al desarrollo de la plantas.

**Cuadro 1. Pedregosidad del suelo**

<b>Descripción</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Presencia de rocas en el suelo</b>
Sin	S	No posee fragmentos gruesos
Muy pocas	M	< 10 % de fragmentos gruesos, y no interfieren con el laboreo
Poca	P	10 a 25 % de fragmentos gruesos, existe interferencia con el laboreo,
Frecuente	F	25 a 50 % de fragmentos gruesos, existe dificultad para el laboreo, es posible la producción de heno y pasto
Abundantes	A	50 a 75 % de fragmentos gruesos, no es posible el uso de maquinaria agrícola, solo se puede utilizar máquinas livianas y herramientas manuales

Fuente: FAO, 2001.

Una vez definidas las categorías de pedregosidad se hace una relación con la clase de uso de tierra que se indica en el cuadro siguiente:

**Cuadro 2 Clase de uso de la tierra de acuerdo a la pedregosidad.**

<b>Clase de uso de suelo</b>	<b>Pedregosidad</b>
I	Menor a 10 %
II	Menor a 25 %
III	Menor a 25 %
IV	Menor a 25 %
V	Menor a 50 %
VI	Menor a 25 %
VII	Menor a 50 %
VIII	Cualquiera

Fuente: MAGAP-EE 2008.

Se determinó la clase de usos de suelo de acuerdo a la pedregosidad presente en el mismo que de acuerdo al cuadro 2 presentado anteriormente donde se detalla la categoría I pedregosidad menor a 10 %, a la clase II, III, IV y VI pertenecen a la categoría de pedregosidad menor a 25 %, la clase V y VII, corresponde las pedregosidad menor a 50 % y la clase VIII que se la califica como cualquiera, ya que a estas pertenecen cualquier categoría de pedregosidad superior a los porcentajes anteriores (MAGAP 2008).

#### **b. Manejo y envío de muestras al laboratorio**

Una vez terminado el proceso de recolección de muestras se procedió a llevar las muestras rotuladas a laboratorio para ser analizadas y posteriormente realizamos los cálculos para determinar la densidad aparente y cantidad de carbono almacenado en el suelo a las diferentes profundidades.

### c. Determinación del contenido de carbono orgánico en el suelo COS.

Para determinar el contenido de carbono orgánico por unidad de volumen de suelo, se lo realizó por el método de pérdida por ignición, para lo cual es necesario conocer la densidad aparente del suelo. Para esto se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido”.

Utilizamos un cilindro de volumen conocido (91,93 cm<sup>3</sup>) luego secamos la muestra en la estufa a 105° C por 24 horas hasta obtener un peso constante, después pesamos de la muestra seca (Ps) y calculamos la densidad aparente.

Posteriormente se colocó 5 g de muestra seca en la mufla a una temperatura de 450 °C durante 15 minutos, luego pesamos la muestra y calculamos contenido de carbono orgánico (COS)

Fórmula para determinar la Densidad Aparente:

DA (gr/cm<sup>3</sup>) = Peso del suelo seco /Volumen del cilindro

Los contenidos de carbono se calcularon de la siguiente manera:

Carbono en suelo (Ton/Ha) = (% C / 100)\* DA \* (E= \*A)

Dónde: %C = Porcentaje de carbono; DA = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>); E = Espesor de la capa de muestreo (cm); A = Área considerada (1 ha).

### d. Ingreso de datos de campo y tabulación

Se organizó la información recopilada en la libreta de campo tanto en el laboratorio como en el campo, datos que incluyen los tomados en GPS y fotografías. Se realizó las correcciones pertinentes para contar con datos depurados y listos para realizar la tabulación y procesamiento de la información y generación del presente informe.

### e. Diseño experimental realizado

Se aplicó el diseño de bloques completos al azar (DBCA) y el análisis de varianza ANOVA, el material experimental es dividido en grupos correspondientes a dos conglomerados 1 plantación de pino (*Pinnus radiata* D. Don.) y 2 páramo libre de cobertura forestal, con 3

grupos de tratamientos (T) que corresponden a las tres profundidades de muestreo (10, 20 y 30 cm), siendo que las unidades experimentales (UE) dentro de cada conglomerado son lo más homogéneas posible y las diferencias entre las UE son dadas por estar en diferentes grupos o conglomerados.

**Cuadro 3. Diseño de bloques completos al azar (DBCA).**

Conglomerados Grupos	Parcelas/bloques	Puntos					Tratamientos (cm)		
							T1	T2	T3
Plantación de pino (A)	A1	1	2	3	4	5	10	20	30
	A2	1	2	3	4	5	10	20	30
	A3	1	2	3	4	5	10	20	30
Páramo (B)	B1	1	2	3	4	5	10	20	30
	B2	1	2	3	4	5	10	20	30
	B3	1	2	3	4	5	10	20	30

Se calculó los promedios por parcela a cada una de las profundidades en los dos conglomerados C1 Plantación de *Pinnus radiata* D. Dony C2 páramo libre de plantación.

**Cuadro 4. Promedios por parcela cada uno de los bloques o parcelas**

C1 (Plantación de pino) y C2 (Paramo libre de cobertura forestal)			
Profundidad (cm)	Carbono Orgánico (Tn/Ha)		
	P1	P2	P3
10	X	X	X
20	X	X	X
30	X	X	X

Los conjuntos son llamados bloques (3 por cada uno de los conglomerados). P1, P2 y P3, dentro de cada bloque las UE son asignadas aleatoriamente, cada tratamiento ocurre exactamente una vez en un bloque.

## 1) Análisis de varianza

**Cuadro 5. Análisis de varianza para profundidad.**

<b>F. Varianza</b>	<b>gl</b>
Repetición	2
Profundidad	2
Error	4
Total	8
CV %	

Se realizó el análisis de varianza para profundidad de muestreo (10, 20 y 30), para la determinación de carbono orgánico en el suelo (COS), en el conglomerado C1 y en el C2.

El análisis de varianza calculado se determinó con 2 gl para el número de repeticiones, 2 gl para profundidad de muestreo, 4 gl para el error, con un total de 8 gl.

Se realizó la prueba de Tukey al 5% para profundidad de muestreo en el conglomerado C1 Plantación de *Pinnus radiata* D. Don, y en C2 páramo sin cobertura forestal.

**Cuadro 6. Análisis de varianza entre los conglomerados.**

<b>F. Varianza</b>	<b>Gl</b>
Localidad o conglomerado	1
Localidad (R-1)	4
Profundidad	2
Localidad * profundidad	2
Error	8
Total	17

Se realizó el análisis de varianza entre las dos localidades o conglomerados C1 plantación de *Pinnus radiata* D. Don y C2 Paramo libre de cobertura forestal.

El análisis de varianza calculado se determinó con 2 gl para localidad o conglomerado, 4 gl punto de muestreo localidad (R-1), 2 gl para localidad \* profundidad, con un total de 17 gl

Se evaluó el promedio de contenido de carbono (T/Ha) entre conglomerados o localidades a las diferentes profundidades a 10. 20 y 30 cm y expresó en porcentaje.

Se realizó la prueba de Tukey al 5% entre conglomerados.

## 2) Análisis de correlación

**Cuadro 7. Correlación Pearson entre las variables de los conglomerados a tres profundidades.**

Variables	10 cm		20 cm		30 cm	
	R	R <sup>2</sup> (%)	R	R <sup>2</sup> (%)	R	R <sup>2</sup> (%)
COS – MOS	R	R <sup>2</sup> (%)	R	R <sup>2</sup> (%)	R	R <sup>2</sup> (%)
COS – Da	R	R <sup>2</sup> (%)	R	R <sup>2</sup> (%)	R	R <sup>2</sup> (%)

Se realizó el diagrama de dispersión lineal (BIVAR), para determinar la correlación de Pearson entre el contenido de carbono orgánico (COS Ton/ Ha) y otras las variables cuantitativas como de porcentaje de materia orgánica en el suelo (MOS) y densidad aparente (Da g/cm<sup>3</sup>), y se determinó el valor de (R) para saber el tipo de correlación existente entre las variables y su nivel de significancia por profundidad de muestreo (10, 20 y 30cm), entre el conglomerado C1(Plantación de *Pinnus radiata* D. Don), y el conglomerado C2 (Páramo libre de cobertura forestal)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA Y GENERACIÓN DE MAPAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio C1 o plantación de pino (*Pinus radiata* D. Don) nos ha de proporcionado información confiable en lo que tiene que ver con el estado biofísico, ambiental y socio-económico de los recursos, tanto de la plantación como de las áreas fuera de ella.

#### 1. Acceso a los conglomerados

**Cuadro 8. Identificación del lugar de salida.**

Conglomerado	Provincia	Cantón	Parroquia
C1	06	01	03
C2	06	01	03

El cuadro 8, muestra la información del lugar de salida y la codificación definida por el INEC para todas las provincias, cantones y parroquias del Ecuador el código 06 para la provincia de Chimborazo, 01 corresponde al cantón Riobamba y 03 a la parroquia Maldonado que fue la ubicación de salida hacia la zona de estudio donde se llevó a cabo la fase de campo.

#### 2. Información del medio de transporte

**Cuadro 9. Información del medio de transporte, tiempo y distancia hacia los conglomerados.**

Conglomerado	Medio de transporte	Tiempo	Distancia (Km)
C1	Terrestre – jepp 4*4	1:40	98
C2	Terrestre – jepp 4*4	1:40	98

El cuadro 9, detalla el medio de transporte utilizado para llegar a la zona de estudio fue un jepp vitara 4 por 4, la distancia recorrida es de 98 km y el tiempo de viaje hasta el lugar es de aproximadamente 1 hora y 40 minutos de tardanza en llegar al lugar donde se establecieron los conglomerados.

### 3. Descripción del punto inicio de la caminata al punto de monitoreo.

En el cuadro siguiente se muestra el número de conglomerados con sus respectivos códigos las coordenadas donde termina el viaje en el vehículo y empieza la caminata a la donde se establecerán las pacerlas, fotografías codificadas del de la información de campo georefenciada para términos de verificación.

**Cuadro 10. Ubicación del punto donde termina el viaje de vehículo y empieza la caminata hacia los conglomerados.**

UTM X	UTM Y	Altitud	Anexo-foto
754900,13	9753567,10	3888,53	005

El cuadro 10, muestra el número de conglomerados con sus respectivos códigos las coordenadas UTM (Universal TransverseMercator), donde termina el viaje en el vehículo y empieza la caminata a la donde se establecerán las pacerlas, fotografías codificadas (Anexo 1) de la información de campo georefenciada para términos de verificación.

### 4. Información de acceso los conglomerados

**Cuadro 11. Información del día y la hora de llegada hasta los puntos de inicio en cada conglomerado.**

Conglomerado	Fecha	Hora de inicio	Hora de llegada
C1	31 -05-2014	10:10	12:20
C2	05 -07-2014	9: 45	11:45

El cuadro 11, muestra la información de la fecha y hora de salida y llegada al conglomerado C1 Plantación de pino (*Pinnus radiata* D. Don), donde se dio inicio a la fase de campo de ésta investigación, fue el 31 de Mayo del 2014, partiendo desde la ciudad de Riobamba a las 10:10 AM, registrándose la llegada a las 12:20 PM. En el caso de C2 que corresponde la zona de páramo se realizó la primera salida de campo el 5 de Julio del 2014 partiendo desde la ciudad de Riobamba a las 9:45 AM y se registró la llegada las 11:45 AM.

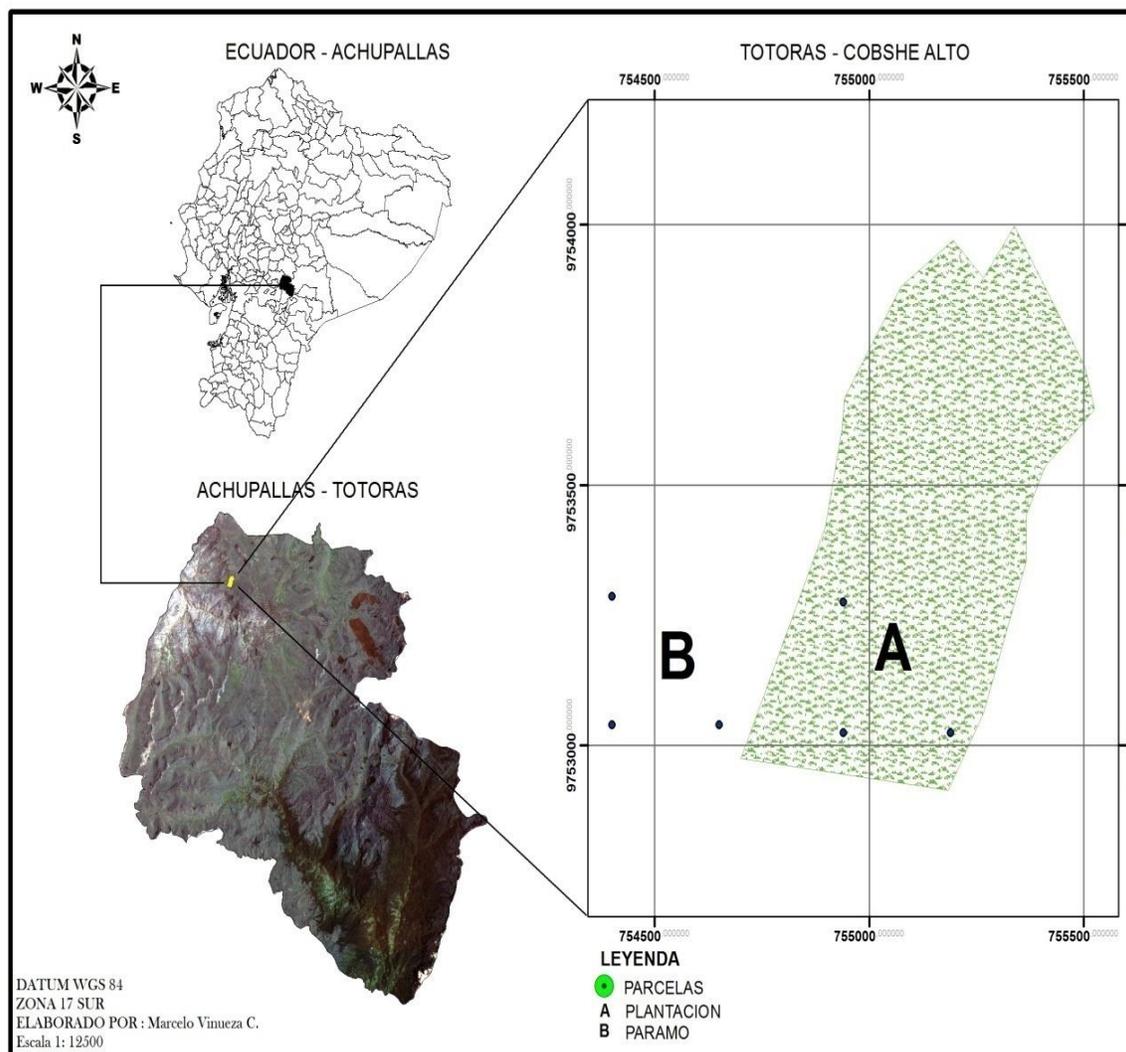
## 5. Ubicación de los Conglomerados

En el cuadro siguiente se detalla la ubicación del conglomerado, los códigos correspondientes a la Zona MAE, Provincia, Cantón, Parroquia, Comunidad, Zona UTM y clase de uso de tierra (MAE-ENF 2012).

**Cuadro 12. Identificación de los conglomerados.**

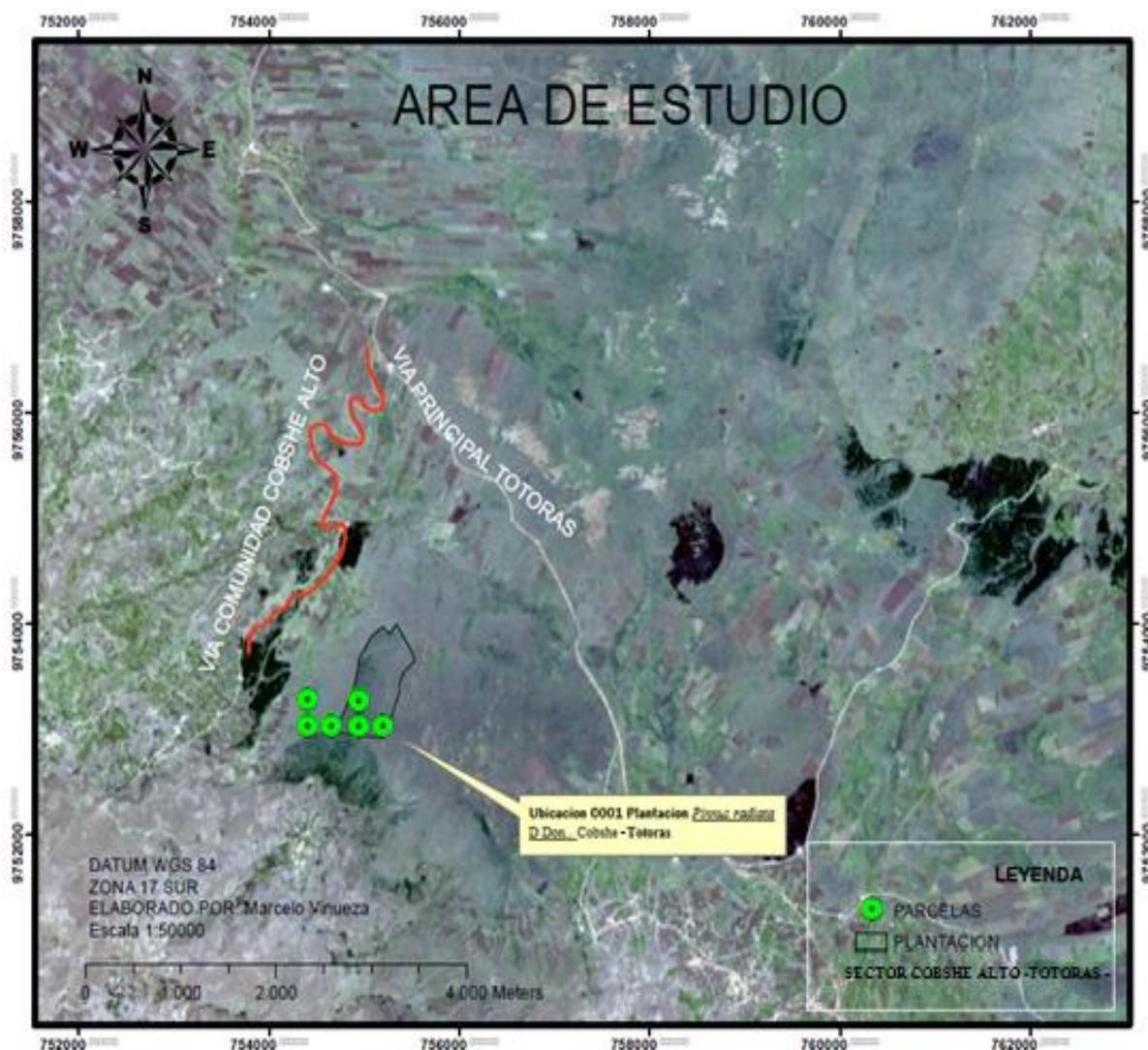
<b>Conglomerado</b>	<b>CUT</b>	<b>Descripción</b>	<b>Zona</b>	<b>Provin</b>	<b>Canton</b>	<b>Parroq</b>	<b>Lugar</b>	<b>UTM</b>
C1	10	P. Forestal	2	06	02	51	Totoras	17 S
C2	20	Páramo	2	06	02	51	Totoras	17 S

El cuadro 12, muestra la codificación definida por el INEC utilizada en la presente investigación la cual fue tomada del Manual de Campo publicado por el proyecto Evaluación Nacional Forestal ENF y el programa Nacional ONU-REDD+ del Ministerio del Ambiente del Ecuador, que clasifica a la clase de uso de tierra (CUT) con el código 10 al Conglomerado C1 que corresponde a Plantación forestal y 20 al conglomerado C2 páramo; Zona MAE 2 para los dos conglomerados y se usa el código 06 de la provincia de Chimborazo, código 02 para el cantón Alausí, código 51 que corresponde a la parroquia Achupallas donde se ubica la comunidad Totoras y finalmente se detalla la zona UTM 17 del hemisferio sur Ecuador como se puede observar en la imagen 1, 2 y 3 a continuación



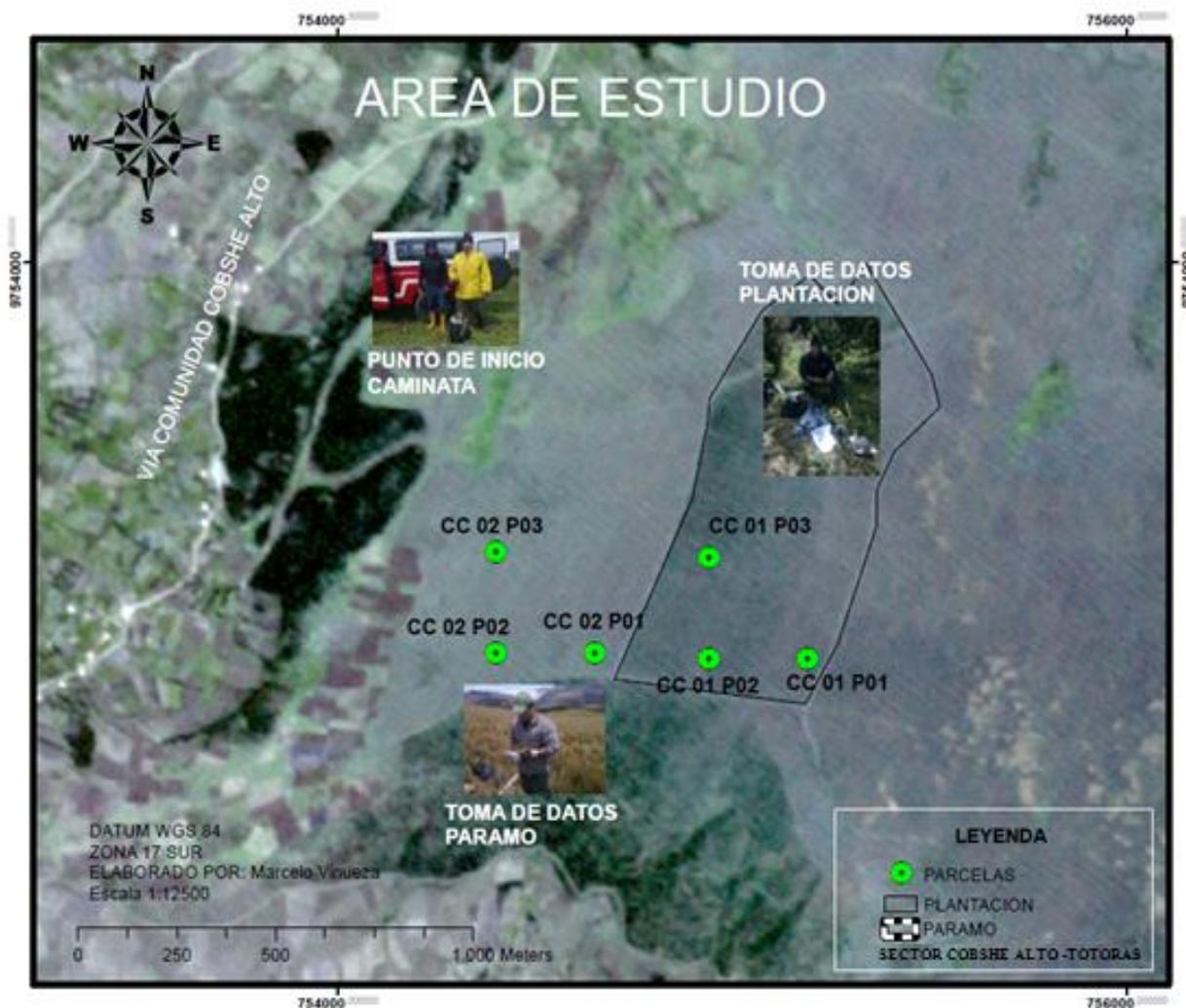
**Imagen 1. Sierra central del Ecuador cantón Alausí, parroquia Achupallas, zona de estudio Totoras- Cobshe Alto.**

En la imagen 1, se puede observar la ubicación general de la Parroquia Achupallas, la localización de la comunidad Totoras, Cobshe Alto ubicada en la zona geográfica 17 sur del Ecuador continental a una escala 1:12500 además se detalla el área (A) de la plantación de pino (*Pinus radiata* D. Don.) con 59.86 Ha, donde se ha implementado el conglomerado C1, también se muestra la ubicación de la zona de paramo libre de alteración donde se ha implementado el segundo conglomerado C2. Las dos clases de uso de suelo componen el área de estudio donde se realizó esta investigación.



**Imagen 2. Zona de estudio dentro de la parroquia y ruta de acceso hacia los conglomerados plantación de pino y páramo.**

En la imagen 2, se puede tener una vista de la ubicación de los conglomerados establecidos y cada una de sus 3 parcelas, también se puede observar la vía de cuarto orden que comunica a Cobshe Alto y Bajo y la de tercer orden a Totoras que se comunica a su vez con la vía de segundo orden a Ozogoché, la distancia de recorrido hasta el área de estudio es de una hora y treinta minutos aproximadamente recorriendo una distancia de 98 km desde la ciudad de Riobamba tomando la vía de primer orden Socavón cabecera cantonal de Guamote.



**Imagen 3. Ubicación de la comunidad y de cada una de las parcelas dentro de cada conglomerado, delimitación del área del conglomerado C1 plantación de pino (59.86 Ha).**

En la imagen 3, se observa el punto inicio de la caminata hacia los conglomerados ubicado a 3888 msnm, también se observa el área que comprende la plantación forestal de pino y la ubicación de los conglomerados con sus respectivas parcelas que tienen la misma orientación con respecto a la pendiente de la zona, la parcela 1 del conglomerado implementado en paramo (CC 02 P01) se encuentra a 3897msnm y la parcela 1 del conglomerado (CC 01P01) implementado en la plantación de pino se encuentra a 3937 msnm lo que nos da una diferencia de altitud entre conglomerados de aproximadamente 40 msnm.

## 6. Información de la vegetación existente en los conglomerados.

**Cuadro 13. Datos generales sobre la vegetación.**

Conglomerado	Uso de suelo	Sp. dominantes	Área (Ha)	Edad	Densidad	Otras especies
C1	Plantación	<i>Pinnus radiata</i> D. Don.	59.86	15 años	3*3	<i>Calamagrostis effusa</i>
C2	Pajonal	<i>Calamagrostis seffusa</i>	Páramo	No determinado	No aplica	<i>Chuquiraga jussieui</i> <i>Gentianellasericeum</i> , <i>Calamagrostis effusa</i>

En el cuadro 13, se detalla el tipo de vegetación existente en el C1 que corresponde casi exclusivamente a pino plantado de la especie *Pinnus radiata* D. Don, en una extensión de plantación de 59,86 Ha, con una edad de 15 años y una densidad de 3 por 3 metros entre árboles, también se pudo observar vegetación menor correspondiente a la familia *Poaceae* especies como *Calamagrostis effusa* mientras que en el conglomerado C2 ubicado en el páramo se observaron casi exclusivamente especies herbáceas como *Chuquirahua jaussieui*, *Gentianellas ericeum*, *Calamagrostis effusa*, no se observaron especies arbustivas o arbóreas de ninguna clase en esta área.

## 7. Datos de la parcela

Se detallan las parcelas con sus puntos georeferenciados precisos y el Anexo fotográfico 6 y 7 para términos de verificación.

**Cuadro 14. Identificación de las parcelas**

Conglomerado	Parcela	CUT	Fecha	UTM X	UTM Y	Altitud	Anexo	m <sup>2</sup>
C1	P1	10	07 -6-2014	755189,49	9753024,05	3937	006	3600
	P2	10	14-6-2014	754939,45	9753024,05	3922		3600
	P3	10	21-6-2014	754939,45	9753274,09	3912		3600
C2	P1	20	05 -7-2014	754650,57	9753038,62	3897	007	3600
	P2	20	20-7I-2014	754400,54	9753038,62	3881		3600
	P3	20	28-7-2014	754400,54	9753286,23	3870		3600

En el Cuadro 14, se detallan los códigos de acuerdo a la clase de uso de tierra (CUT) de cada una de las parcelas dentro de los conglomerados, el código 10 corresponde a plantación forestal de pino y 20 al páramo de acuerdo al manual de ENF, también se detalla la fecha en las que se realizó las salidas de campo para las observaciones, toma de datos y muestreo en cada una de las parcelas en cada conglomerado, además las coordenadas expresadas en el sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) incluida la altitud donde se puede observar que el conglomerado C1 correspondiente a *Pinnus radiata* D. Don se ubica mayor altitud que el conglomerado C1 ubicado en el páramo y finalmente el área de cada una de las parcelas en mts cuadrados.

## 8. Tenencia de la tierra

La información relacionada con la tenencia de la tierra es muy importante para la determinación del uso de suelo y los consecuentes planes de acción futuros en relación a al estado diversidad.

**Cuadro 15. Identificación de los propietarios de las parcelas.**

<b>Conglomerado</b>	<b>Parcela</b>	<b>Área %</b>	<b>Tenencia de la tierra</b>	<b>Tipo de tenencia</b>
C1	P1	100	Comunitario (3)	Con título de propiedad (1)
	P2	100		
	P3	100		
C2	P1	100	Comunitario(3)	Sin título de propiedad (2)
	P2	100		
	P3	100		

En el cuadro 15, se detalla el caso del conglomerado C1 implementado en la plantación de *Pinnus radiata* D. Don y se señala que la tenencia de la tierra es legalmente comunitaria y su código es 3, con título de propiedad código 1, mientras que conglomerado C2 implementado en el páramo también está dentro de los límites comunitarios Cobshe alto - Totoras y no posee ningún título de propiedad por lo que se asigna el código 2 (ENF- MAE 2010).

### **9. Función asignada a los conglomerados y estructura vertical.**

La función de la plantación forestal de pino se la determina de acuerdo al plan de manejo donde se detallará el fin de dicha plantación, así como las funciones que esta debe cumplir

**Cuadro 16. La función de la plantación C1, páramo C2 y su estructura vertical.**

<b>Conglomerado</b>	<b>Parcela</b>	<b>Función</b>	<b>Estructura vertical</b>
C1	P1	Producción de trosas, postes y leña,	Dominante y codominante
	P2	Producción de trosas, postes y leña.	Dominante y codominante
	P3	Producción de trosas, postes y leña.	Dominante y codominante
C2	P1	Conservación, Regulación hídrica	No aplica
	P2	Conservación, Regulación hídrica	No aplica
	P3	Conservación, Regulación hídrica	No aplica

En el cuadro 16, se muestra la información sobre los niveles de dominancia existentes en la plantación de pino esta, presenta características relativamente homogéneas por lo que se observaron dos doseles dominante y codominante; En cuanto a las trozas o postes para el alambrado o construcción y la leña para ser usada como combustible se señala que es función principal de la plantación implementada en este ecosistema, en cuanto a función del páramo donde se estableció C2, a pesar de estar ubicado en la parte baja que es utilizada como zona de tránsito hacia la plantación, aun se la puede considerar como área de conservación y de regulación hídrica como señalan HOFSTEDE, 1995; MEDINA Y VÁSCONEZ, 2001; la gran producción del recurso agua, la capacidad de regulación hídrica del páramo es muy grande de acuerdo científicos y agricultores.

#### 10. Perturbaciones naturales de los conglomerados.

**Cuadro 17. Perturbaciones naturales detectadas.**

<b>Conglomerado</b>	<b>Parcela</b>	<b>Tipo</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Anexo- foto</b>
C1	P1	Danos por el viento	Moderadamente perturbado	008
	P3	Danos por el viento	Moderadamente perturbado	
	P3	Danos por el viento	Moderadamente perturbado	
C2	P1	No perturbado	No aplica	009
	P2	No perturbado	No aplica	
	P3	No perturbado	No aplica	

En el cuadro 17, se detallan las perturbaciones que afectan al ecosistema de manera natural encontradas en las diferentes parcelas, en cada conglomerado y en cada uno de los estratos, en el caso del conglomerado C1, implementado en la plantación de pino (*Pinus radiata* D. Don), donde se destacan leves daños producidos probablemente por el viento (Anexo 8) y no se observó mayores afectaciones provocados por causas naturales, mientras que en conglomerado C2 por tratarse de una zona de paramo, libre de cobertura forestal las perturbaciones naturales no son visibles (Anexo 9).

## 11. Perturbaciones humanas

**Cuadro 18. Perturbaciones debido a actividades antrópicas.**

Conglomerado	Parcela	Tipo	Magnitud	Magnitud del aprovechamiento	Código foto
C1	P1	Ninguna	No perturbada	No determinada.	010
	P2	Extracción de leña.	Moderada	Ligeramente aprovechado	
	P3	Extracción de leña, quema	Moderada	Ligeramente Aprovechado	
C2	P1	Pastoreo	Leve	Leve	011
	P2	Pastoreo	Leve	Leve	
	P3	Pastoreo	Leve	Leve	

En el cuadro 18, se detalla el tipo de perturbaciones provocadas por los seres humanos, en el caso del conglomerado C1 (Plantación, *Pinnus radiata* D. Don) debido a las actividades antrópicas realizadas por parte de los comuneros dentro las parcelas establecidas, se pudo observar que el estado de la plantación conserva un alto grado de homogeneidad debido al aprovechamiento moderado (Anexo 10), pero un tanto desordenado principalmente por la extracción de leña, así como también para la fabricación de postes para alambrado y los consecuentes danos por el pisoteo, por lo que se ha clasificado a la zona como “no perturbada” y “moderadamente perturbada”, mientras que en el conglomerado C2 implementado en paramo libre de cobertura forestal, casi no se ha observado intervención humana alguna, más que el pisoteo casi no visible, debido al traslado de las personas hacia la plantación (Anexo 11), por lo que se la ha clasificado como páramo con perturbación humana “leve”, y precisamente por ello se ha elegido esta zona por poseer dichas características además de ser colindante con el área de estudio plantación forestal lo que nos permitirá realizar las comparaciones para determinar si el contenido de carbono orgánico varía debido al cambio de uso de suelo hacia las actividades de forestación con la especie *Pinnus radiata* D. Don, que es la razón de ser de esta investigación.

## 12. Origen de la plantación.

**Cuadro 19. Origen y sucesión y manejo de la plantación.**

Conglomerado	Parcela	Origen	Sucesión	Existencia y aplicación del plan de manejo
C1	P1	Plantación	No se observa sucesión	Plan de anejo existente pero no aplicado
	P2	Plantación		
	P3	Plantación		
C2	P1	Natural	Existe sucesión Natural	No aplica
	P2	Natural		
	P3	Natural		

El Cuadro 19, muestra el tipo de origen, la sucesión y la existencia de un plan de manejo de la plantación forestal, se detalla también que en ésta zona el conglomerado C1 (Plantación, *Pinnus radiata* D. Don) y por ende las tres parcelas implementadas para este estudio son de origen exótico ya que no se presentan en esa zona de los andes ecuatorianos de forma natural por lo que su origen es interpretado como “plantación forestal” o especie forestal exótica plantada en la zona de paramo hace 15 años y es muy probable que esa sea la razón no se ha observado ningún tipo de sucesión natural. Cabe señalar que el desarrollo de la plantación en esta zona de paramo se observa favorable para esta especie ( *Pinnus radiata* D. Don), pero algunas investigaciones como las de EVANS, J. 1992., indican que su efecto puede ser nocivo ,para la regeneración de especies nativas como para las mismas plántulas de pino y las afectaciones sobre el suelo son diversas como manifiesta VAN DER HAMMEN, 1997 que bajo las plantaciones de coníferas muy poco sotobosque puede crecer y que la gran producción de hojarasca que queda casi sin descomposición sobre el suelo y esto ahoga la vegetación del sotobosque.

En el caso C2 ubicado en la zona de paramo el tipo de vegetación compuesta depajonales o gramíneas (*Se detalla las especies identificadas más adelante*) por lo que su regeneración natural es evidente así como su sensibilidad e importancia también en cuanto a la hidrología como los estudios realizados por CORNISH 1989, que muestran que plantaciones forestales presentan una

evapotranspiración mayor y una escorrentía reducida en comparación con vegetación baja compuestas por pasturas naturales.

### 13. Características de medio natural

**Cuadro 20. Pendiente y topografía de la cada una de las parcelas.**

<b>Conglomerado</b>	<b>Parcela</b>	<b>Accesibilidad</b>	<b>Fisiografía</b>	<b>Pendiente (%)</b>
C1	P1	Medianamente difícil	Ladera media	32
	P2	Medianamente difícil	Ladera media	32
	P3	Medianamente difícil	Ladera media	32
C2	P1	Fácil	Ladera media	32
	P2	Fácil	Ladera media	32
	P3	Fácil	Ladera media	32

En el cuadro 20, se detallan las características físicas o topográficas y de accesibilidad al área de estudio, en el conglomerado C1 (Plantación de *Pinnus radiata* D. Don) se pudo determinar que la accesibilidad es un poco más compleja tanto por la pendiente, la distancia con respecto al punto inicio de las mediciones así como la presencia de los árboles que componen la plantación en sí que hacen del tránsito en este conglomerado (C1) un poco más dificultoso que en C2 (Conglomerado en paramo) que se encuentra pendiente abajo, por lo que en este estudio se ha calcificado al conglomerado C1 como de acceso medianamente difícil y el conglomerado C2 como de fácil acceso, los dos conglomerados implementados en ladera media con un 32 % pendiente.

#### 14. Características físicas del suelo del área de estudio C1 y C2.

**Cuadro 21. Características físicas de suelo.**

Conglomerado	Parcela	Profundidad H 1	Color	Textura	Estructura	Pedregosidad
C1	P1	100	7,5 RY- 2,5 IB	FY	Granular	<10%
	P2	100	7,5 RY- 2,5 IB	FY	Granular	<10%
	P3	100	7,5 RY- 2,5 IB	FY	Granular	<10%
C2	P1	90	7,5 RY- 2,5 IB	FY	Granular	<10%
	P2	90	7,5 RY- 2,5 IB	FY	Granular	<10%
	P3	90	7,5 RY- 2,5 IB	FY	Granular	<10%

Fuente: MUSHELI 2009 y MAE-ENF 2010

El cuadro 21, detalla que la profundidad del horizonte 1 donde se ha instalado el conglomerado C1 Plantación de pino (*Pinus radiata* D). Don, alcanza hasta 1 metro de profundidad lo que representa 10 cm más en relación a la profundidad del horizonte 1 del conglomerado C2 implementado en el páramo esto se debe muy probablemente a que en el suelo de las plantaciones existe una mayor acumulación de material orgánico debido al aporte de acículas en todas sus parcelas. Esta dinámica la fauna del suelo cumple un papel importante, ya que junto con los microorganismos transforman los restos orgánicos manteniendo la estructura del suelo (ADL 2003). Todos los componentes del árbol como: follaje, ramas, raíces, y fuste, están compuestos por el CO<sub>2</sub> (ORDÓÑEZ 1999).

En cuanto a las características cromatológicas o de pigmentos del suelo y su relación con determinadas condiciones ambientales de páramo, en la comunidad de Totoras donde se realizó la investigación, el tipo de suelo de los conglomerados C1 y C2 es de composición Paracristalina, por su coloración pardo rojiza, lo que nos da a entender que se trata de Suelos ácidos ricos en materia orgánica Compuesto por ferrihidrita Fe (OH)<sub>3</sub>. Estos suelos son

generalmente clasificados como Andosoles (FAO 1998), Para realizar la descripción del color del suelo se utilizó el sistema de especificación Münsell (MÜNSELL, 2009)

El color es un atributo utilizado a diferentes niveles de la Taxonomía de Suelos (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993).

La Textura en el suelo de los dos conglomerados es franco arcillosa. La textura se define como el porcentaje en peso del suelo mineral que queda comprendido en varias fracciones de tamaño de partículas (DE LA ROSA, 2008).

La estructura es granular y la pedregosidad se valoró con base a los porcentajes de piedras mayores a 10 mm encontradas en el suelo y se observó la presencia o no de fragmentos rocosos gruesos en la superficie que afecten al desarrollo de la plantas (FAO, 2001). En base a eso se determinó que en los dos conglomerados existe un porcentaje menor al 10 % de pedregosidad, por lo que de acuerdo con MAGAP 2008, la categoría de acorde al potencial de uso de suelo es “I”, lo que quiere decir que la cantidad de material rocoso no interfieren con el laboreo, de considerar esta zona como agrícola por lo que es de esperarse un buen desarrollo de especies forestales como *Pinnus radiata* D. Don, pero hay que tener en cuenta que los suelos que son afectados por las diferentes actividades realizadas por el ser humano se ven con el tiempo degradados en cuanto a sus funciones. (FAO,2005)

### 15. Grado de cobertura de copas

La primera medición se hizo a los 10 m. en el centro de cada parcela de 20 x 20 m. Luego se realizó una medición a los 30 y 50 m, (Anexo 3), teniendo como resultado los siguientes porcentajes de cobertura.

**Cuadro 22. Cobertura de copas C1 Plantación de pino (*Pinnus radiata* D Don.).**

Conglomerado	Parcela	Faja 1	Faja 2	Faja 3
C1	P1	50 %	75%	50 %
	P2	75%	50 %	25%
	P3	25%	75%	75%

En el cuadro 22, se detallan los resultados cuantitativos obtenidos de cobertura de copas del conglomerado C1 observándose que en las tres parcelas se presenta una cobertura entre el 50 y el 75 % lo que quiere decir que es semi-cerrada (ENF –MAE, 2010). La determinación en la cobertura se la realizó para conocer el estado de la plantación con respecto a su edad y así poder contar con mayor información teniendo en cuenta lo que señala ENF–MAE. 2010, refiriéndose a que la estimación de la cobertura de copas es importante como indicador ecológico multipropósito, para establecer la calidad de hábitat y el microclima del suelo y condiciones de luz.

**B. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS) DE LA PLANTACIÓN FORESTAL A TRES PROFUNDIDADES.**

**Cuadro 23. Descripción y codificación del conglomerado C1 implementado en la plantación de *Pinnus radiata* D. Don y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 1.**

Conglomerado parcela-punto	Profundidad de muestreo (cm)	Repeticiones (Ton/Ha)		
		R1	R2	R3
C1-P1-p1	10	145,16	142,19	119,39
	20	142,19	147,62	124,63
	30	142,09	143,19	111,78
C1-P1-p2	10	126,18	118,54	118,13
	20	108,13	116,27	117,93
	30	97,18	106,55	117,42
C1-P1-p3	10	122,06	115,73	127,58
	20	115,91	113,47	112,7
	30	110,51	120,97	119,75
C1-P1-p4	10	120,43	117,35	115,94
	20	121,05	122,15	127,56
	30	118,46	113,46	106,76
C1-P1-p5	10	132,89	135,47	126,57
	20	143,03	153,17	140,6
	30	147,19	150,06	120,3

En el cuadro 23, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las repeticiones realizadas en el laboratorio en la parcela 1 del conglomerado C1 corresponden a plantación de pino (*Pinnus radiata* D. Don) con un total de 3 parcelas (P) donde se han implementado 5 puntos de monitoreo en cada una de dichas parcelas es decir 45 en total, con resultados obtenidos a tres profundidades; 10, 20 y 30 cm en cada uno de los puntos.

**Cuadro 24. Descripción y codificación del conglomerado C1 implementado en la plantación de *Pinnus radiata* D. Don y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 2.**

Conglomerado parcela-punto	Profundidad de muestreo (cm)	Repeticiones (Ton/Ha)		
		R1	R2	R3
C1-P2-p1	10	131,51	116,49	114,3
	20	136,95	131,94	149,46
	30	136,76	68,47	71,34
C1-P2-p2	10	113,07	115,83	115,39
	20	115,88	125,2	121,16
	30	110,93	117,6	110,92
C1-P2-p3	10	127,53	119,07	119,78
	20	129,19	121,42	137,67
	30	123,69	123,02	127,69
C1-P2-p4	10	123,65	120,17	122,46
	20	122,27	122,64	122,24
	30	119,9	123,02	126,93
C1-P2-p5	10	124,51	128,57	123,71
	20	119,71	118,09	123,85
	30	109,25	118,62	115,84

En el cuadro 24, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las repeticiones realizadas en el laboratorio en la parcela 2 del conglomerado C1 corresponden a plantación de pino (*Pinnus radiata* D. Don) con un total de 3 parcelas (P) donde se han implementado 5 puntos de monitoreo en cada una de dichas parcelas es decir 45 en total, con resultados obtenidos a tres profundidades; 10, 20 y 30 cm en cada uno de los puntos.

**Cuadro 25. Descripción y codificación del conglomerado C1 implementado en la plantación de *Pinnus radiata* D. Don y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 3.**

Conglomerado parcela-punto	Profundidad de muestreo (cm)	Repeticiones (Ton/Ha)		
		R1	R2	R3
C1-P3-p1	10	121,92	130,03	127,9
	20	131,85	132,52	119,34
	30	120,8	120,86	113,64
C1-P3-p2	10	119,77	120,64	119,71
	20	122,51	123,1	131,37
	30	116,13	115,55	119,07
C1-P3-p3	10	119,1	125,08	123,77
	20	126,6	125,97	129,76
	30	112,41	119,29	101,91
C1-P3-p4	10	119,19	120,15	125,09
	20	124,79	121,96	127,43
	30	117,04	117,33	118,28
C1-P3-p5	10	130,96	133,65	123,98
	20	125,33	131,27	118,91
	30	119,46	133,42	127,37

En el cuadro 25, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las repeticiones realizadas en el laboratorio en la parcela 1 del conglomerado C1 corresponden a plantación de pino (*Pinnus radiata* D. Don) con un total de 3 parcelas (P) donde se han implementado 5 puntos de monitoreo en cada una de dichas parcelas es decir 45 en total, con resultados obtenidos a tres profundidades; 10, 20 y 30 cm en cada uno de los puntos.

**Cuadro 26. Descripción y codificación del conglomerado C2 implementado en el Páramo y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 1.**

Conglomerado parcela-punto	Profundidad de muestreo (cm)	Repeticiones (Ton/Ha)		
		R1	R2	R3
C2-P1-p1	10	103,2	97,15	99,1
	20	106,62	107,73	102,18
	30	96,59	96,5	103,14
C2-P1-p2	10	102,04	100,9	94,85
	20	99,37	105,42	111,72
	30	94,08	90	98,04
C2-P1-p3	10	98,53	99,42	97,11
	20	100,93	99,05	104,86
	30	100,6	91,6	93,6
C2-P1-p4	10	100,64	99,49	97,34
	20	104,2	101,16	103,76
	30	95,91	92,06	96,37
C2-P1-p5	10	100,8	99,61	99,31
	20	104,08	102,8	103,33
	30	95,91	93,59	90,29

En el cuadro 26, se presentan los resultados obtenidos de cada una de las repeticiones realizadas en el laboratorio en la parcela 1 del conglomerado C2 ubicada en el páramo libre de cobertura forestal, con un total de 3 parcelas (P) donde se han implementado 5 puntos de monitoreo en cada una de dichas parcelas es decir 45 en total, con resultados obtenidos a tres profundidades; 10,20 y 30 cm en cada uno de los puntos.

**Cuadro 27. Descripción y codificación del conglomerado C2 implementado en el Páramo y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 2.**

Conglomerado parcela-punto	Profundidad de muestreo(cm)	Repeticiones (Ton/Ha)		
		R1	R2	R3
C2-P2-p1	10	98,5	101,49	111,61
	20	101,4	103,25	106,92
	30	99,79	116,27	100,78
C2-P2-p2	10	100,32	98,31	103,66
	20	111,34	99,21	109,98
	30	118,31	93,99	97,21
C2-P2-p3	10	98,11	102,18	99,39
	20	98,46	106	104,55
	30	99,46	99,27	101,32
C2-P2-p4	10	102,81	103,66	101,73
	20	107,01	101,83	103,84
	30	106,25	96,15	108,99
C2-P2-p5	10	100,51	100,08	102,19
	20	101,71	100,69	103,43
	30	96,9	100,29	99,37

En el cuadro 27, se presentan los resultados obtenidos de cada una de las repeticiones realizadas en el laboratorio en la parcela 2 del conglomerado C2 ubicada en el Páramo con un total de 3 parcelas (P) donde se han implementado 5 puntos de monitoreo en cada una de dichas parcelas es decir 45 en total, con resultados obtenidos a tres profundidades; 10,20 y 30 cm en cada uno de los puntos.

**Cuadro 28. Descripción y codificación del conglomerado C2 implementado en el Páramo y datos obtenidos de las repeticiones realizadas en los puntos muestreo a las diferentes profundidades en la parcela 3.**

Conglomerado parcela-punto	Profundidad de muestreo (cm)	Repeticiones (Ton/Ha)		
		R1	R2	R3
C2-P3-p1	10	100,8	109,51	101,7
	20	105,03	106,62	101,81
	30	101,51	101,82	107,36
C2-P3-p2	10	98,15	100,32	102,41
	20	101,11	102,7	105,14
	30	99,59	93,97	95,94
C2-P3-p3	10	101,7	100,85	98,89
	20	101,89	101,28	104,55
	30	100,92	100,31	99,44
C2-P3-p4	10	109,15	102,01	108,22
	20	100,12	106,44	111,76
	30	98,71	98,06	95,98
C2-P3-p5	10	108,84	100,96	99,75
	20	102,25	104,09	109,79
	30	99,25	95,52	95,93

En el cuadro 28, se presentan los resultados obtenidos de cada una de las repeticiones realizadas en el laboratorio en la parcela 1 del conglomerado C2 ubicada en el páramo con un total de 3 parcelas (P) donde se han implementado 5 puntos de monitoreo en cada una de dichas parcelas es decir 45 en total, con resultados obtenidos a tres profundidades; 10,20 y 30 cm en cada uno de los puntos.

El total de datos obtenidos por conglomerado es de 135 y se realizó la fase de análisis laboratorio a tres repeticiones por cada una de las muestras dando un total de datos individuales (Carbono Ton/Ha) de 270 para su posterior análisis estadístico e interpretación de resultados a continuación.

1. **Análisis e interpretación de resultados del Conglomerado C1, implementado en la plantación de pino (*Pinnus radiata* D. Don.)**

**Cuadro 29. Promedios por parcela a cada una de las profundidades en el conglomerado C1 (Plantación de pino) en Ton/ha.**

<b>C1 (Plantación de pino)</b>			
<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Parcelas: Carbono Orgánico (Tn/Ha)</b>		
	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
10	125,66	122,41	124,06
20	127,09	126,51	126,18
30	121,71	122,67	117,83

El cuadro 29, muestra los promedios en Ton/ha, obtenidos en cada parcelas (P1, P2 y P3) a cada una de las profundidades (10, 20 y 30 cm) correspondientes al conglomerado C2 implementado en la plantación de pino (*Pinnus radiata* D. Don.).

a. **Análisis de varianza en C1 para profundidad de muestreo y determinación del carbono orgánico en el suelo.**

**Cuadro 30. El análisis de varianza para la variable profundidad en C1.**

<b>Fuente de Varianza</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>C. Medio</b>	<b>F.C</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Sig.</b>
<b>REPETICIÓN</b>	2	6,83	14,64	4,88	0,4065	
<b>PROFUNDIDAD</b>	2	51,74	3,41	1,14	0,0355	*
<b>Error</b>	4	12,01	25,87	8,61		
<b>Total</b>	8	70,58	3,00			
<b>CV % 1,40</b>						

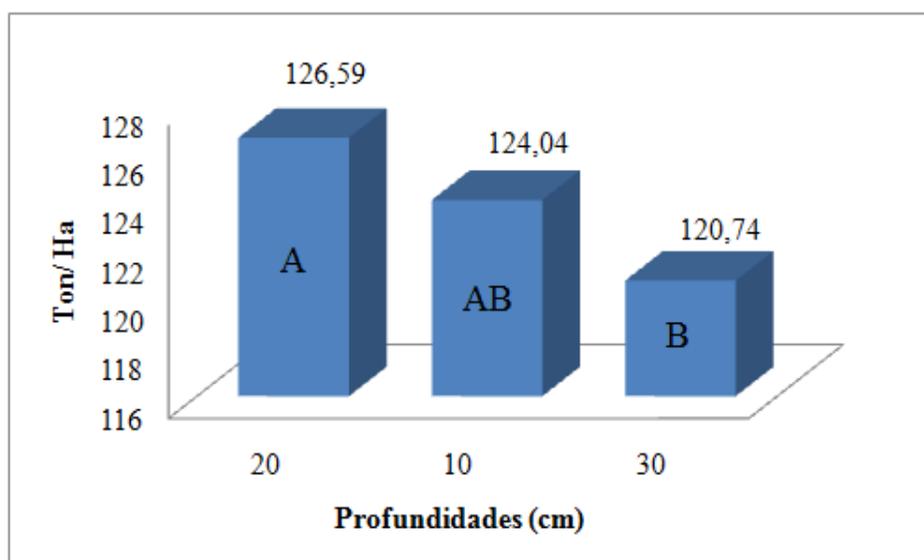
El análisis de varianza para la variable profundidad de muestreo (Cuadro 30) presenta diferencias significativas entre profundidades con un coeficiente de variación de 1,40 %.

**b. Prueba de Tukey alfa al 5% para profundidad de muestreo.**

**Cuadro 31. Prueba de Tukey alfa al 5%, para C1.**

Profundidad	Medias (Ton/ Ha)	Rangos
20	126,59	1,00 A
10	124,04	1,00 AB
30	120,74	1,00 B

La prueba de Tukey al 5% para profundidad de muestreo en el conglomerado C1 Plantación de *Pinnus radiata* D. Don. (Cuadro 31, grafico 1) determinó que el contenido de carbono orgánico en es mayor en A (20 cm de muestreo) con 126, 59 Ton/Ha lo que representa una diferencia del 2,55% con respecto las 124,04 Ton/Ha de carbono orgánico obtenido en la profundidad AB (10 cm de muestreo), y un 5,85% con respecto las 120,74 Ton/Ha obtenidos en B (30 cm de muestreo) de siendo este el más bajo de los tres.



**Grafico 1. Contenido de carbono orgánico en el suelo COS de la plantación de pino a 10, 20 y 30 cm de profundidad.**

En la presente investigación se determinó que el contenido de carbono orgánico en el suelo COS de la plantación de pino es mayor en la profundidad de 20 cm, con 126, 59 Ton/Ha lo que concuerda con lo manifestado por KILLHAM 1994, que en forma general el mayor porcentaje de contenido de carbono orgánico al provenir de las plantas y de la descomposición de las raíces, la mayor concentración de carbono orgánico se presenta en las capas superficiales del suelo. También cabe destacar que como señala GUO Y GIFFORD 2002 la conversión de pajonales a plantaciones forestales permite un secuestro de carbono en la biomasa de los árboles, pero el efecto sobre el carbono del suelo varía de un sistema a otro, debido a la edad de la plantación en el momento en el que se realizó la investigación, en este caso la plantación presenta un estado fustal de 15 años con una densidad de 66.504 árboles en 59,86 ha, todo ello ha influido en la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, ya que como señala IDEAM 2002 ,debido principalmente a la acumulación de acículas, lo que ha frenado el crecimiento de otras especies en el sotobosque como *Cortaderia nítida*, *Calamagrostis intermedia*, *Hypochaerissessiliflora*, *Wernerianubigena*, (LUTEYN, 1999) y otros factores como la temperatura que en promedio es de 8 °C, a 3922 msnm en esta zona.

**2. Análisis e interpretación de resultados del Conglomerado C2 implementado en el páramo libre de cobertura forestal.**

**Cuadro 32. Promedios por parcela a cada una de las profundidades en el conglomerado C2 (Páramo libre de cobertura forestal) en Ton/ha.**

<b>C2 (Páramo libre de cobertura forestal)</b>			
<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Parcelas: Carbono Orgánico (Tn/Ha)</b>		
	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
10	99,30	102,48	102,97
20	103,81	103,97	104,30
30	95,22	100,25	99,12

El cuadro 32, muestra los promedios en Ton/Ha, obtenidos en cada parcelas (P1, P2 y P3) a cada una de las profundidades (10, 20 y 30 cm) correspondientes al conglomerado C2 implementado en el páramo libre de cobertura forestal.

- a. **Análisis de varianza para profundidad de muestreo y determinación de carbono orgánico en el suelo de páramo libre de cobertura forestal.**

**Cuadro 33. El análisis de varianza para la variable profundidad en C2.**

<b>F. Varianza</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>C. Medio</b>	<b>F.C</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Sig.</b>
<b>REPETICIÓN</b>	2	15,01	7,51	4,30	0,1008	
<b>PROFUNDIDAD</b>	2	51,43	25,71	14,73	0,0143	*
<b>Error</b>	4	6,68	1,75			
<b>Total</b>	8	73,42				
<b>CV % 1,30</b>						

El análisis de varianza para la variable profundidad de muestreo dentro del conglomerado C2 Paramo (Cuadro 33) presenta diferencias significativas entre profundidades con un coeficiente de variación de 1,30 %.

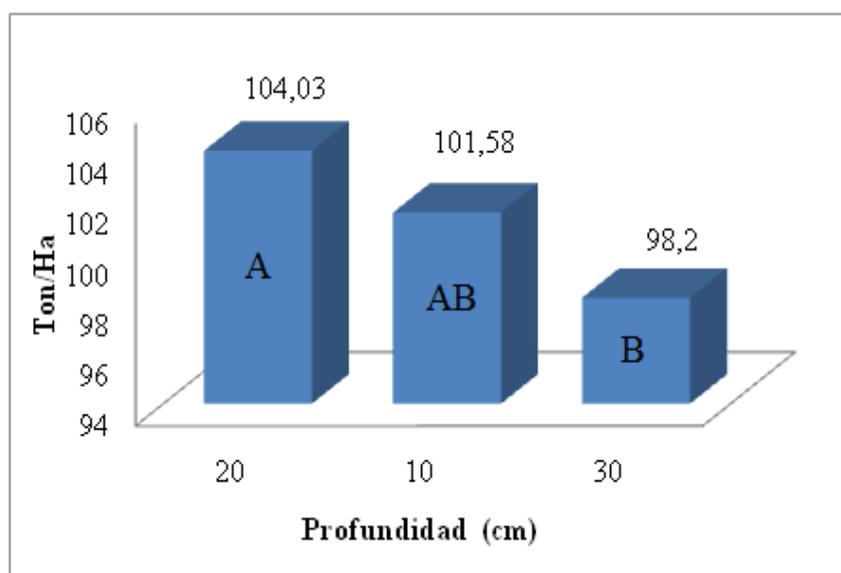
- b. **Prueba de Tukey alfa al 5% para profundidad de muestreo.**

**Cuadro 34. Prueba de Tukey alfa al 5%, para C2.**

<b>Profundidad</b>	<b>Medias (Ton/ Ha)</b>	<b>n</b>	<b>Rangos</b>
20	104,03	3	1,00 A
10	101,58	3	1,00 AB
30	98,20	3	1,00 B

La prueba de Tukey al 5% para profundidad de muestreo, en el conglomerado C2 que corresponde a la zona de páramo, libre de cobertura forestal (Cuadro 34, gráfico 2), presenta a profundidad A (20 cm de muestreo) la media más alta, con 104,03 Ton/Ha, lo que representa una diferencia del 2,45% con respecto a AB (10 cm de muestreo) donde la media es de 101,58 Ton/Ha, y un 5,83% con respecto a B (30 cm de muestreo) con un promedio de fijación de carbono orgánico en el suelo de 98,20 Ton/ Ha, siendo este el más bajo de los tres.

Se observa que existe similitud con los datos obtenidos en el conglomerado C1 en cuanto al contenido de carbono en relación a la profundidad.



**Gráfico 2. Contenido de carbono orgánico en el suelo COS del páramo libre de cobertura forestal a 10, 20 y 30 cm de profundidad.**

En la investigación realizada se determinó que el contenido de carbono orgánico COS en el suelo de la zona de páramo es mayor a una profundidad de 20 cm, con 104,03 Ton/Ha, lo que concuerda con lo manifestado por KILLHAM.. 1994 que a menores profundidades es más alto el contenido de carbono orgánico en el suelo, en este caso se puede atribuir que las reservas de COS son mayores a los 20 cm de profundidad en el suelo de páramo ya que la mayor parte del sistemas radiculares de las plantas que conforman la vegetación principalmente compuesta por especies como; *Chuquirahuajaussieui*, *Gentianellasericeum*, *Calamagrostiseffusase* encuentran a esta profundidad y de acuerdo a la caracterización de la zona se observó cierta influencia humana

principalmente debido al pastoreo y al tránsito de las personas y animales que se dirigen a la plantación de pino donde se estableció C1 (*Pinnus radiata* D. Don), ubicada en la zona más alta, a esto se atribuye que los resultados muestren que de 20 cm de profundidad se encuentra la mayor contracción de carbono orgánico en suelo (COS); IDEAM 2002, se refiere a dicha tendencia de migración del carbono hacia el interior de suelo y también muestra los efectos negativos de la compactación del suelo y como dichos factores dificultan notablemente la interpretación de los almacenamientos totales de carbono.

### 3. Análisis e interpretación de resultados entre conglomerados

#### a. Análisis de varianza de las dos localidades o conglomerados C1 plantación de *Pinnus radiata* D. Don y C2 Paramo libre de cobertura forestal.

**Cuadro 35. Análisis de varianza de las dos localidades o conglomerados**

<b>F. Varianza</b>	<b>gl</b>	<b>SC</b>	<b>C. Medio</b>	<b>F. Correlación</b>	<b>Probabilidad</b>
Localidad	1	1740,02	1740,02	48,07	0.0001**
Localidad (R-1)	4	161,38	40,34	1,11	0,4134 NS
Profundidad	2	219,81	109,90	3,04	1,1044 NS
Localidad (prof)	2	15,86	7,93	0,22	0,879 NS
Error	8	289,65	36,19		
Total	17	2426,63			

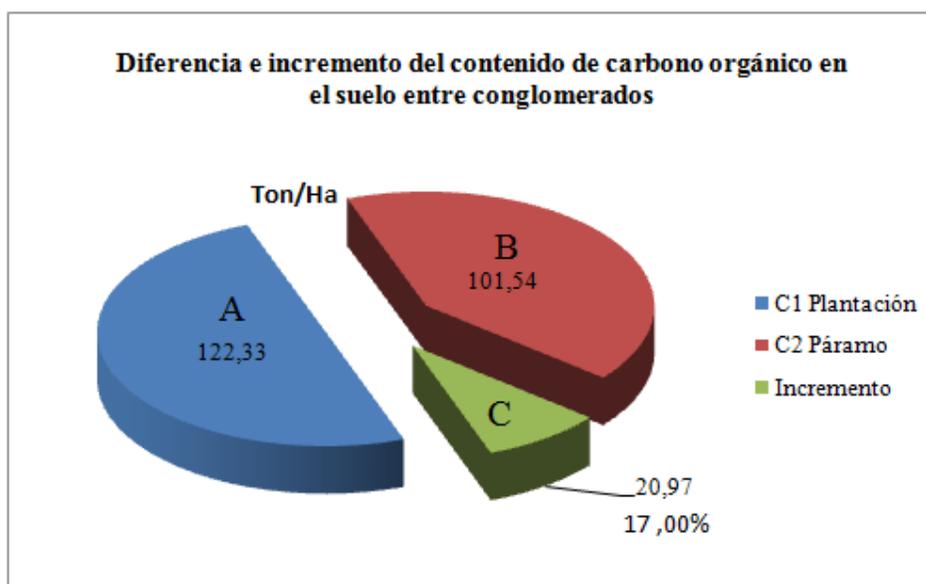
El análisis de varianza presenta diferencias altamente significativas entre el conglomerado C1 plantación de *Pinnus radiata* D. Don y el conglomerado C2 Paramo libre de cobertura forestal, para la variable localidad (entre conglomerados). En tanto que entre profundidades por localidad la variación no es significativa, esto se debe a que en las dos localidades los promedios de Carbono orgánico en el suelo (COS) en Ton/Ha por profundidad presentan igual distribución (mayor a 20 cm menor a 30 cm) aunque en diferentes concentraciones entre conglomerados.

b. Prueba de Tukey alfa al 5% para profundidad de muestreo.

**Cuadro 36. La prueba de Tukey al 5% para los conglomerados C1 plantación *Pinnus radiata* D.Don y C2 Páramo libre de cobertura forestal**

Localidad	Medias (Ton/ Ha)	Rangos
C1 Plantación	122,33	1,93 A
C2 Páramo	101,54	2,13 B
<b>Incremento</b>	<b>20,97</b>	

La prueba de Tukey al 5% para los conglomerados C1 plantación *Pinnus radiata* D.Don y C2 Páramo libre de cobertura forestal (Cuadro 36, Gráfico 3), muestra que A (Conglomerado C1; Plantación de *Pinnus radiata* D. Don), presenta una mayor acumulación de carbono orgánico en el suelo con una media de 122,33 Ton/Ha, mientras que B (Páramo sin cobertura forestal) presenta una media de 101,54 Ton/Ha que representa un incremento de 20,79 Ton/Ha (17 %).



**Gráfico 3. Diferencia del contenido de carbono orgánico en el suelo entre los dos conglomerados**

La investigación realizada determinó que el contenido de carbono orgánico en el suelo COS en el conglomerado C1, es de 122,33 Ton/Ha en relación a las 101,54 Ton/Ha de la zona de paramo libre de intervención forestal, esto quiere decir que ha existido un incremento del 17 % (20,79 Ton/Ha), estos resultados se presentan entre otros factores debido al mayor aporte de materia orgánica al suelo (MOS) en interior de la plantación, que fuera de ella en el conglomerado C2, establecido en la zona aledaña libre de intervención forestal y mayormente conformada por pajonales de vegetación tipo herbácea predominado por especies como *Chuquirahuajaussieui*, *Gentianellasericeum*, *Calamagrostiseffus*, ya que de acuerdo con lo citado por TAIZ Y ZEIGER, 1998, el secuestro de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento de carbono en el suelo, todos los componentes forestales como hojas, raíces, ramas y fuste que aportan la plantaciones forestales al suelo están compuestos por el CO<sub>2</sub> por lo que el incremento de carbono orgánico en el suelo de la plantación de pino en el sector de los páramos de totoras es comprensible y con el tiempo la tendencia podría marcarse aún más ya que como señala ORDÓÑEZ 1999, la demanda de CO<sub>2</sub> aumenta a medida que cada estructura del árbol crece y con ello los residuos orgánicos acumulados en el suelo también. El carbono orgánico en el suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica en el suelo (MOS).

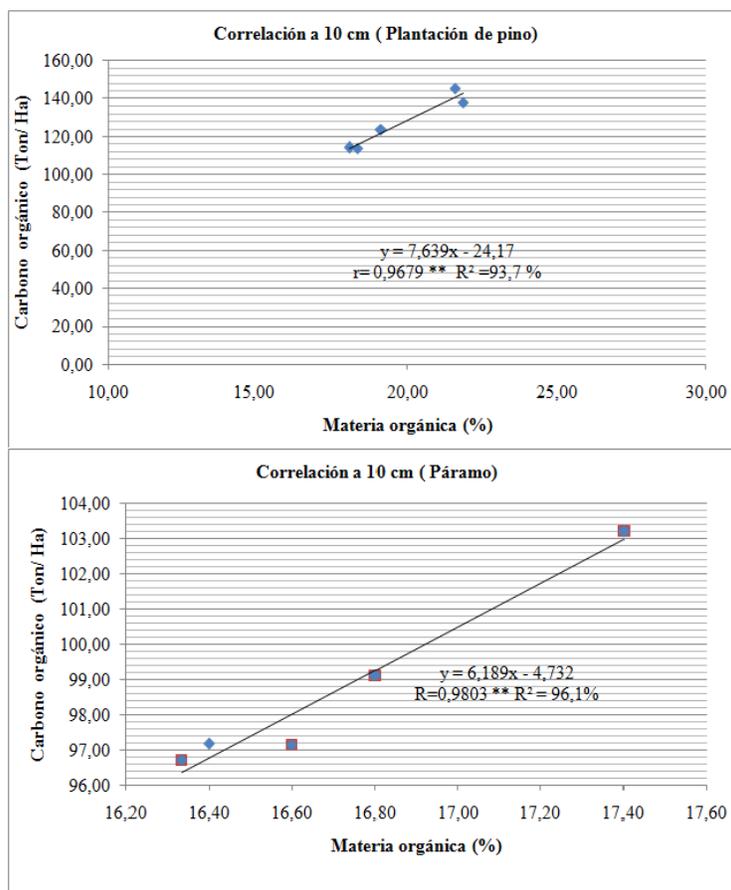
Las investigaciones realizadas por BATJES (1996), ESWARAN ET AL. 1993, manifiestan que las reservas de carbono orgánico en paramos inalterados y con presencia de mucha humedad se alcanzan valores de hasta 250 Ton/Ha y valores más bajos en los páramos más secos y alterados, como es el caso de la zona donde se ha realizado la presente investigación.

#### **4. Análisis de correlación de las variables materia orgánica MOS y carbono orgánico en el suelo COS entre los conglomerados**

El carbono orgánico en el suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica en el suelo (MOS), por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro (JACKSON, 1964).

En el análisis de correlación entre el contenido de materia orgánica (MOS) y carbono orgánico en el suelo (COS) se llevó a cabo tomando en cuenta el factor profundidad en los dos conglomerados.

a. **Correlación materia orgánica y carbono orgánico en el suelo entre conglomerados a 10 cm de profundidad.**

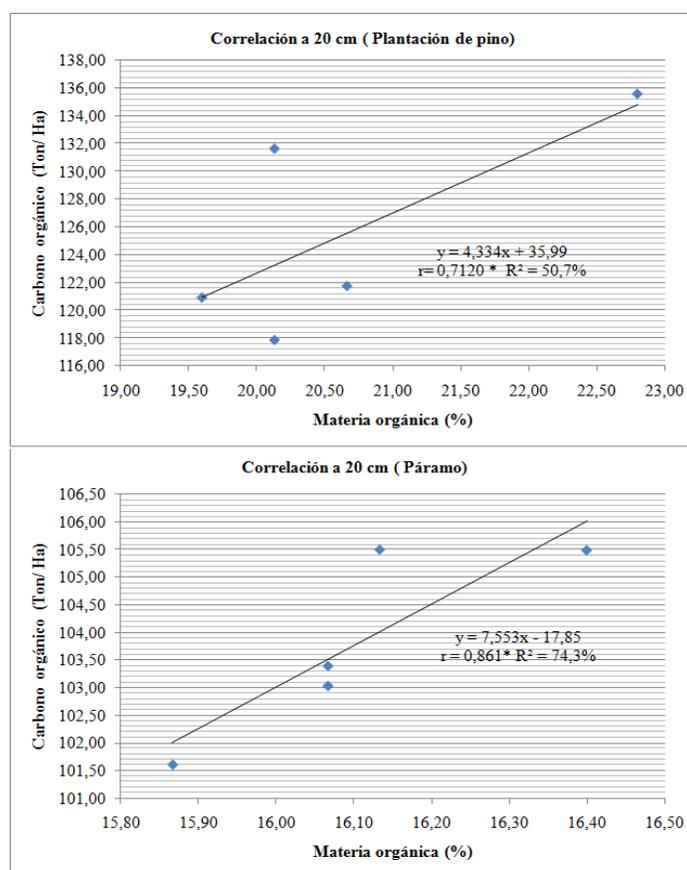


**Gráfico 4. Correlación: materia orgánica y carbono orgánico a 10 cm**

La Gráfica 4, muestra el diagrama de dispersión lineal entre el porcentaje de materia orgánica (%) y el carbono orgánico (Ton/Ha) en el conglomerado C1, plantación de *Pinnusradiata* D. Don, y en el conglomerado C2 implementado en el páramo libre de intervención forestal, a una profundidad de 10 cm, la cual presenta una correlación positiva en ambos casos con un 93,7% para C1 y un 96,1% para C2 mostrando una relación entre estas dos variables altamente significativa con un valor en C1 de  $R = 0,9876$ , y en C2  $R = 0,9803$ , esto se debe a que el carbono ingresa a los suelos a través de la descomposición de los residuos vegetales depositados en la parte superficial del suelo del bosque y sotobosque, el mismo fenómeno sucede en la zona de páramo libre de plantación ya que todos los componentes del árbol como follaje, ramas, raíces, y fuste, demás restos vegetales están compuestos por el  $CO_2$  ya que como manifiesta ORDÓÑEZ

1999, la demanda de CO<sub>2</sub> aumenta a medida que cada estructura del árbol crece, por lo que es entendible que la correlación entre el porcentaje de materia orgánica y el contenido de carbono orgánico en el suelo a esta profundidad sea altamente significativa y tan solo el 6,3 % y el 4% correspondientes a C1 (conglomerado en *Pinnusradiata* D. Don), y C2 (páramo libre de plantación, compuestoprincipalmente de especies como *Chuquirahuajaussieui*, *Gentianellasericeum*, *Calamagrostiseffusa*) respectivamente, se deban a otros factores como la densidad, composición y estabilidad de los agregados en el suelo que tienen también relación con el contenido de carbono orgánico en el suelo (COS), lo que representa un incremento del 2,4 % a favor de una mayor correlación MOS-COS en estrato correspondiente a al paramo libre de intervención forestal.

**b. Correlación materia orgánica y carbono orgánico en el suelo entre conglomerados a 20 cm de profundidad**

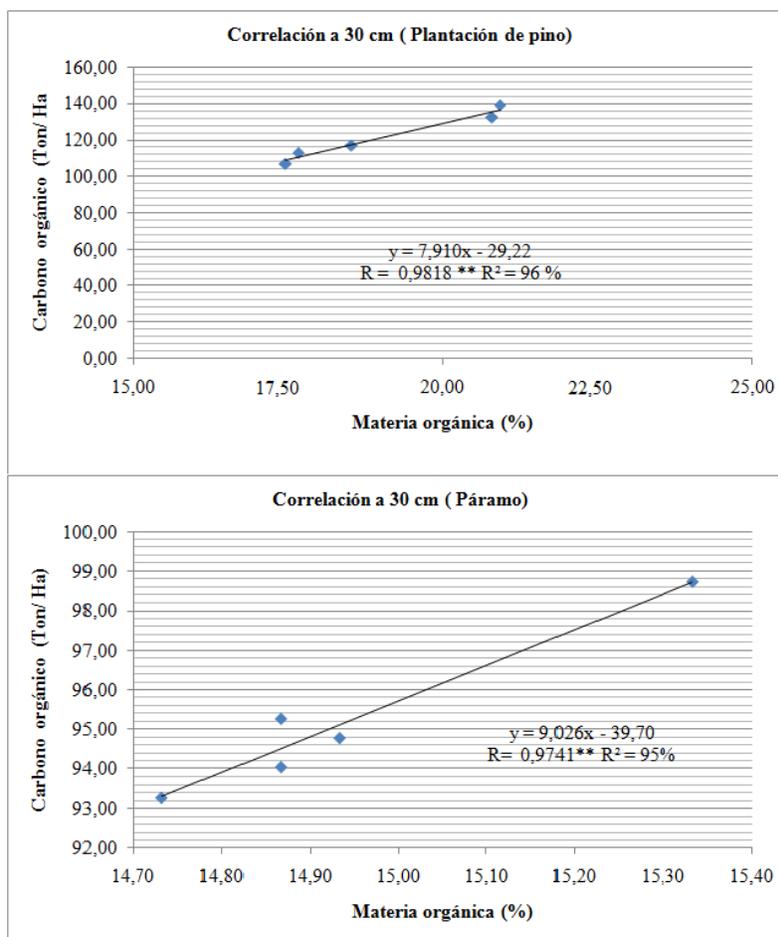


**Grafico 5. Correlación: materia orgánica y carbono orgánico a 20 cm.**

La Gráfica 5, muestra el diagrama de dispersión lineal entre el porcentaje de materia orgánica (%) y el carbono orgánico (Ton/Ha) en el conglomerado C1, plantación de *Pinnusradiata* D. Don, y en el conglomerado C2 implementado en el páramo libre de intervención forestal, a una profundidad de 20 cm, presentando una correlación positiva en ambos casos con un 50,7% para C1 y un 74,3% para C2, es decir una relación significativa entre estas dos variables en los dos conglomerados y con un valor en C1 de  $R = 0,712$ , y en C2 de  $R = 0,861$  es decir una diferencia del 26,3 % a favor de estrato correspondiente al paramo libre de intervención forestal.

Los resultados obtenidos a esta profundidad muestran una correlación de materia orgánica en el suelo COS - carbono orgánico en el suelo (COS) menor en relación a la profundidad de muestreo 10 cm debido a que según ROTHON, F.E., 2000, existe una correlación positiva entre el carbono orgánico en el suelo (COS) y la estabilidad estructural de los agregados en suelos intervenidos, aquello explicaría porque el 49,3 % en C1 y el 25,7 % en C2 están relacionados a otras variables ya que de acuerdo a la caracterización fisiográfica (*Características físicas del suelo del área de estudio C1 y C2*), realizada en la zona de estudio, la composición del suelo es paracristalina, con una textura franco arcillosa, en los dos conglomerados, con una profundidad de horizontes de 90 cm en C2 y hasta 1 metro en C1, esto es importante mencionar puesto que ALLISON, 1965, menciona que existe una gran variación entre diferentes tipos de suelos y los horizontes en el factor de conversión COS a MOS, por lo que es preferible informar el valor de COS sin transformar ya que como demuestra BALESIDENT ET AL., 2000, en sus modelos de dinámica del carbono en el suelo, la materia orgánica tiene una composición muy compleja y heterogénea y está por lo general mezclada o asociada con los constituyentes minerales del suelo.

c. **Correlación materia orgánica y carbono orgánico en el suelo entre conglomerados a 30 cm de profundidad.**



**Grafica 6. Correlación: materia orgánica y carbono orgánico a 30 cm.**

La Gráfica 6, muestra el diagrama de dispersión lineal entre el porcentaje de materia orgánica (%) y el carbono orgánico (Ton/Ha) en el conglomerado C1 correspondiente a plantación de *Pinus radiata* D. Don, y en el conglomerado C2 implementado en el páramo libre de intervención forestal, a una profundidad de 30 cm, donde se presenta una correlación positiva en ambos casos con un 96% para C1 y un 95% para C2, presentándose una relación altamente significativa entre estas dos variables, con un valor en C1 de  $R = 0,9818$  y en C2 de  $R = 0,9741$ ; con una diferencia del 1 % a favor del estrato correspondiente C1 (plantación forestal), por lo que se deduce que el 4% en C1 y el 5% en C2, están correlacionados a otras variables ya que como manifiesta ROTHON, F.E., 2000 & MEDINA, G. & P. MENA 1999 existe una relación

positiva entre COS y la estabilidad estructural de los agregados que controlan la materia orgánica esta profundidad (30 cm) donde la descomposición de materia orgánica es más lenta y por lo que una gran cantidad de COS es almacenada en forma húmica más estable.

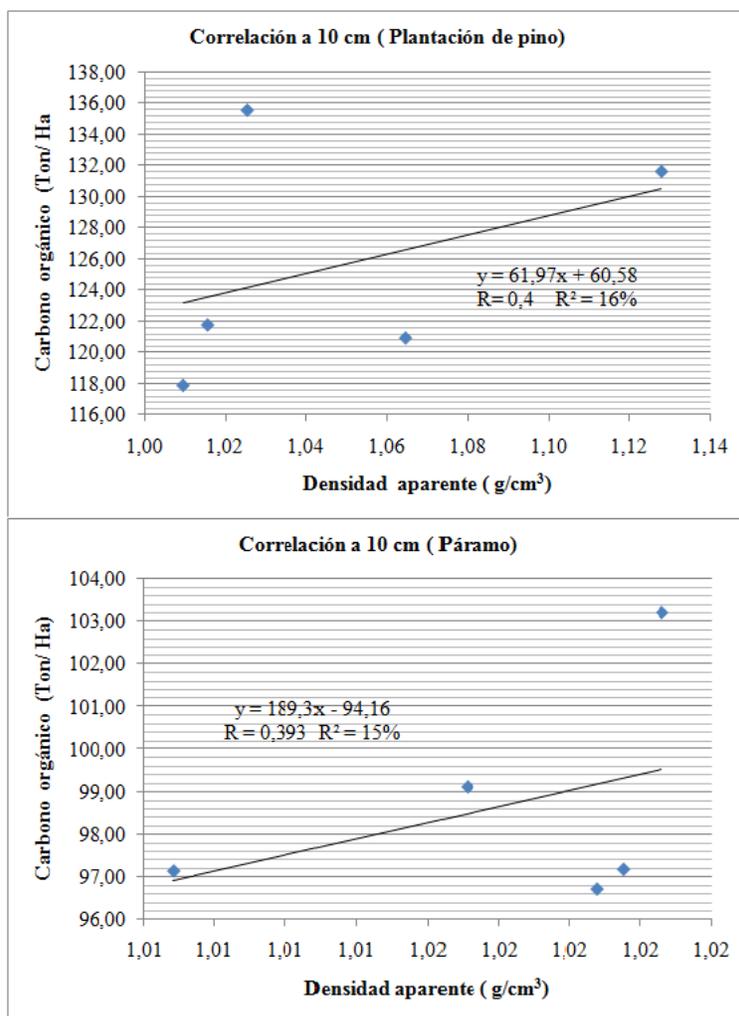
Los resultados altamente significativos en la correlación MOS-COS, se deben también a lo que manifiestan TAIZ, ZEIGERJENKINSON 1988, refiriéndose a que secuestro de COS en los ecosistemas forestales mediante el intercambio con la atmósfera es mayor en suelos de textura franco-arcillosa que en otro tipo de suelo en el que se aporten cantidades de materia orgánica similares.

#### **5. Análisis de correlación de las variables densidad aparente $D_a$ y carbono orgánico en el suelo COS entre los dos conglomerados**

La densidad aparente está relacionada con el peso específico de las partículas orgánicas de los suelos (HUERTA-CANTERA, 2010).

En el análisis de correlación entre densidad aparente y carbono orgánico se lo llevó a cabo teniendo en cuenta la variable profundidad en los dos conglomerados.

a. **Correlación densidad aparente y carbono orgánico en el suelo entre conglomerados a 10 cm de profundidad.**



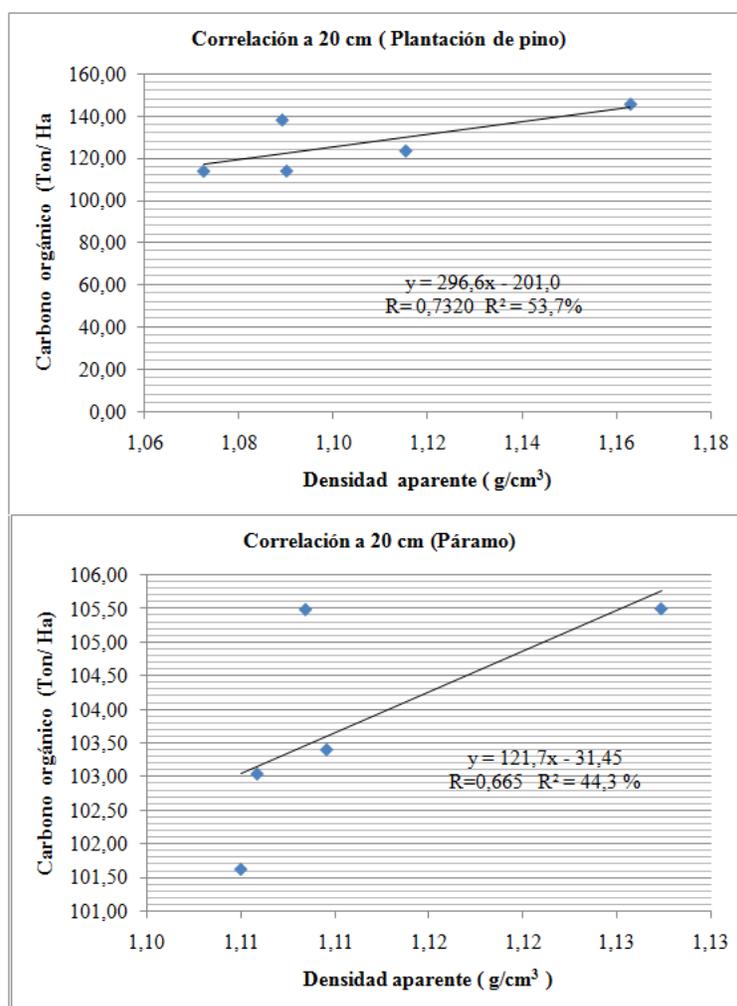
**Gráfica 7. Correlación entre la densidad aparente y el carbono orgánico a 10 cm.**

La Gráfica 7, muestra el diagrama de dispersión lineal entre el contenido de carbono orgánico (Ton/ Ha) y la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) en los conglomerados C1 implementado en la plantación de pino y C2 implementado en el páramo, a una profundidad de muestreo de 10 cm, donde se observó en el caso de C1 una correlación positiva, mostrando una significancia del 16% entre estas dos variables con un valor de  $R = 0,4$ ; Mientras que en C2 el valor de  $R = 0,393$  y una correlación positiva del 15%, lo que quiere decir que en las dos clases de uso de suelo (C1 y C2), el 85 % y el 84 %, respectivamente, están correlacionados a otras variables

como contenido MOS, temperatura, disposición y estabilidad de los agregados en el suelo marcada por su relación y significancia con respecto al contenido de COS.

Según manifiesta SALAMANCA J. A, 2005, a medida que aumenta la materia orgánica contenida en el suelo se tiene una correlación significativa con la densidad aparente, ya que aumenta también el espacio poroso, lo que concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación en suelos de textura franco arcillosa, de estructura granular y pedregocidad menor al 10%, donde la densidad aparente varía entre 1 y 1,2 g/cm<sup>3</sup> como manifiesta PODWOJEWSKI, 2000, por lo que existe un incremento del 1% a favor C1, debido a la acumulación de materia orgánica superficial dentro del suelo de plantación forestal de *Pinus radiata* D. Don en relación a la zona de estudio libre de cobertura forestal compuesta principalmente de especies herbáceas nativas como *Chuquirahuajausseui*, *Gentianella sericeum*, *Calamagrostis effusa*.

b. **Correlación densidad aparente y carbono orgánico en el suelo entre conglomerados a 20 cm de profundidad.**



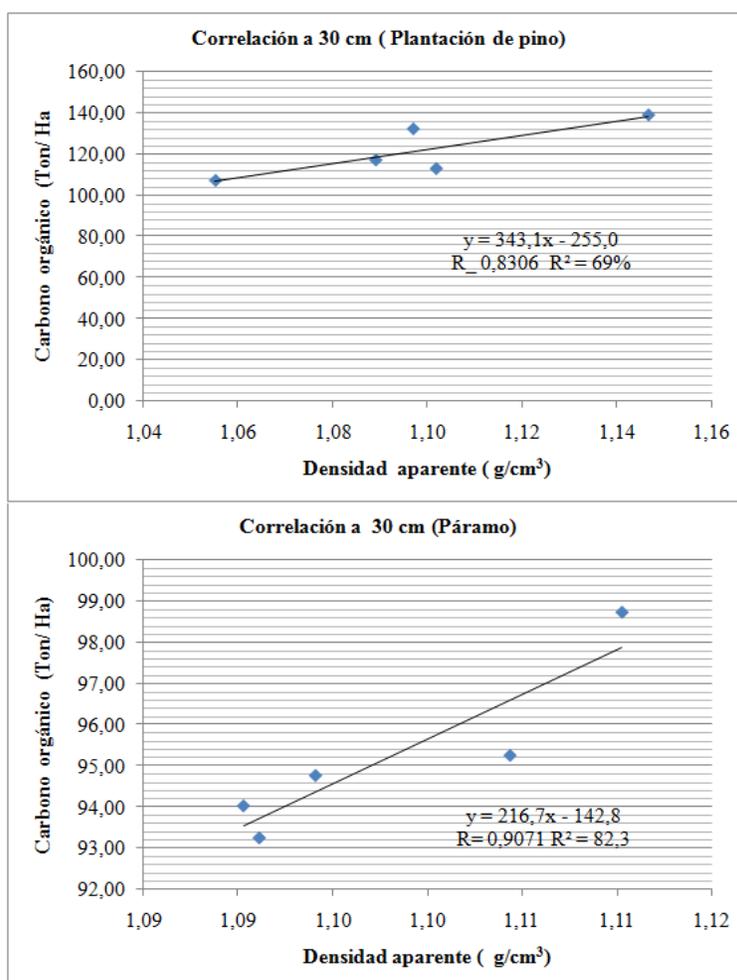
**Gráfica 8. Correlación entre la densidad aparente y el carbono orgánico a 20 cm.**

La Gráfica 8, muestra el diagrama de dispersión lineal entre el contenido de carbono orgánico (Ton/Ha) y la densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) en los conglomerados C1 implementado en la plantación de pino y C2 implementado en el páramo si cobertura forestal, a una profundidad de muestreo de 20 cm, donde se observó en el caso de C1 una correlación positiva con un 53,7% de significancia entre estas dos variables, con un valor de  $R = 0,7320$ ; Mientras que en C2 el valor de  $R =$  es de 0,665 y una correlación positiva del 44,3%, lo que quiere decir que en las dos clases de uso de suelo el 46,3% y el 55,7 %, respectivamente, están correlacionados a otras variables con respecto al contenido de carbono orgánico en el suelo; El conglomerado ubicado en

la plantación de pino tiene un 9,4% más de significancia en la correlación Da-COS, en relación a la zona de páramo, esto debido al cambio de uso de suelo y el incremento de la compactación por actividades forestales antrópicas, como manifiesta WOLF Y SNYDER (2003), que la materia orgánica, textura del suelo, la variación densidad aparente está asociada con las prácticas demanejo.

La densidad aparente determinada está dentro de los rangos obtenidos en otras investigaciones como la de PODWOJEWSKI (2000), donde se señala que esta varía entre 1 y 1,2 g/cm, teniendo muy en cuenta la disposición de los agregados.

**c. Correlación densidad aparente y carbono orgánico en el suelo entre conglomerados a 30 cm de profundidad.**



**Grafica 9. Correlación entre la densidad aparente y el carbono orgánico a 30 cm.**

La Gráfica 9, muestra el diagrama de dispersión lineal entre el contenido de carbono orgánico (Ton/ Ha) y la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) en los conglomerados C1 implementado en la plantación de pino y C2 implementado en el páramo, a una profundidad de muestreo de 30 cm, donde se observa en el caso de C1 y C2, una correlación positiva, mostrando una significancia del 69% entre estas dos variables con un valor de  $R = 0,83064$ ; Mientras que en C2 el valor de  $R = 0,9071$  y una correlación positiva del 82,3%, lo que quiere decir que en las dos clases de uso de suelo (C1 Y C2), el 31 % y el 17,7 %, respectivamente, están correlacionados a otras variables lo que muestra que la correlación Da y COS en las dos clases de uso de suelo es mayor a esta profundidad (30 cm), con una variación del 13,3% entre C1 y C2.

De acuerdo a lo que manifiesta SALAMANCA J. A, 2005, que debido al incremento de la compactación la densidad aparente del suelo aumenta y afectan las condiciones de porosidad y ésta a su vez está relacionada significativamente con el contenido de materia orgánica como se presenta en los resultados obtenidos en esta investigación en la correlación COS- MO a esta profundidad (30 cm)

## CONCLUSIONES

- A. La caracterización fisiográfica realizada en la zona, Totoras – Cobshe Alto, determinó mediante medición, observación y análisis *in-situ*, que el área correspondiente al conglomerado C1, se encuentra en una plantación comunitaria de pino de la especie *Pinus radiata* D. Don, establecida en una zona de ladera media con 32 % de pendiente y presenta un estado fustal de 15 años, con una densidad de plantación de 3 por 3 m, presentó una estructura vertical compuesta de doseles dominante y codominante, con presencia de vegetación en el sotobosque menor en relación al área de páramo libre de cobertura forestal. En cuanto a la intervención humana debido al aprovechamiento comunitario se identificaron perturbaciones antropicas moderadas, principalmente por actividades de extracción de leña, postes, etc..., el tipo de suelo presenta una textura franco arcillosa, estructura granular, con un porcentaje menor al 10 % de pedregosidad y una profundidad del horizonte 1 en C1 (plantación *Pinus radiata* D. Don) de 100 cm y en C2 (Páramo sin cobertura forestal) la profundidad es de 90 cm, esta variación se presenta debido a la acumulación de mayor cantidad de residuos orgánicos dentro de la plantación de pino, por el desprendimiento de acículas y material orgánico lignificado proveniente de los árboles que se deposita sobre la superficie del suelo.

El diseño de mapas mediante imágenes satelitales estableció la ruta hacia los conglomerados y sus parcelas, identificando las vías de acceso a las comunidades Totoras y Cobshe Alto y tiempos de llegada, determinando que el tiempo que se tarda en llegar a la zona de estudio es de una hora y treinta minutos, recorriendo una distancia de 98 km desde la ciudad de Riobamba tomando la vía de primer orden Socavón cabecera cantonal de Guamote.

Las características del ecosistema de páramo dentro de la plantación se observan claramente alteradas a simple vista, aunque definir el tipo de afectación sobre otros factores que no sean el stock carbono orgánico en el suelo, es algo más complejo ya que esta investigación se ha enfocado básicamente en las variaciones en Ton/Ha del COS, en relación al páramo libre de cobertura forestal.

- B. El contenido de carbono orgánico en el suelo en los conglomerados C1 y C2, tienen su mayor reserva de COS a 20 cm de profundidad, con 126,59 Ton/Ha y 104,03 Ton/Ha respectivamente, y la menor concentración COS a 30 cm.

El conglomerado C1 implementado en la plantación de *Pinnus radiata* D. Don, presenta una mayor acumulación de carbono orgánico en el suelo con una media de 122,33 Ton/Ha, mientras que en C2 (Páramo libre de cobertura forestal) presenta una media de 101,54 Ton/Ha lo que representa un incremento de 20,79 Ton/Ha o el 17 % (20,79 Ton/Ha), lo que demuestra que la plantación forestal ha influenciado positivamente en el incremento de COS, debido a la mayor acumulación de material orgánico.

Al realizar la correlación entre COS - MOS y entre COS y densidad aparente ( $D_a$ ), se indica que el carbono acumulado en suelo no tiene una relación inversa o negativa al contenido de materia orgánica, ni con la densidad aparente y tampoco la tiene con respecto a la profundidad del suelo, la presencia de una plantación forestal de *Pinnus radiata* D. Don bajo las características fisiográficas de clima, vegetación, etc., detalladas en este estudio, genera una correlación positiva para el incremento del COS. Determinada la relación positiva entre las variables COS y MOS, en las tres profundidades de muestreo, en los dos conglomerados donde se realizó esta investigación, se observó una correlación altamente significativa entre COS-MOS para las profundidades 10 y 30 cm, y con una correlación significativa a 20 cm de profundidad tanto para C1 como para C2. La correlación, entre la  $D_a$ -COS, con respecto a las tres profundidades 10, 20 y 30 cm, el nivel de significancia en cada uno de los conglomerados no presentan porcentajes tan elevados como sucedió en la correlación COS-MOS, pero presentan una correlación positiva, con un 16 % en C1, mientras que en C2 es del 15% a una profundidad de muestreo de 10 cm, teniendo cuenta que el espacio poroso hace que aumente y disminuya la densidad aparente y viceversa, en relación directa a la cantidad de MOS por lo que la densidad aparente a una profundidad de 20 cm, muestra un 50,7% para C1 y un 74,3% para C2, lo que representa una relación significativa, en los dos conglomerados y a 30 cm de profundidad una relación altamente significativa con un 96% para C1 y un 95% para C2.

## RECOMENDACIONES

- A. Seguir adelante con investigaciones para determinar la influencia entre el turno de aprovechamiento de las plantaciones forestales de pino implementadas en los páramos, su influencia en la disposición de los agregados en el suelo y su posible afectación sobre las características físicas de otros factores dentro del ecosistema.
- B. Comparar los diferentes tipos de manejo realizados en plantaciones forestales de pino establecidas en los páramos y su relación con el stock de carbono en el suelo y evaluar como influencia el tipo de manejo silvicultural realizado a las plantaciones forestales en estado fustal similar establecidas en los páramos y su relación con el stock de carbono orgánico en el suelo y demás factores ambientales.
- C. Evaluar el incremento o disminución del contenido de materia orgánica y carbono en el suelo y su incidencia sobre la capacidad de regulación hídrica del ecosistema de páramo, para tomar decisiones técnicamente acertadas, en cuanto a la forestación y reforestación con especies exóticas en ecosistemas sensibles como los páramos.
- D. Monitorear a largo y mediano plazo, en parcelas permanentes de muestreo establecidas en diferentes clases de uso de suelo y realizar comparaciones cualitativas y cuantitativas para conocer más en profundidad, cual es la influencia del cambio de uso de suelo.
- E. Analizar económicamente la implementación de plantaciones forestales, para de esta forma brindar mayores y mejores alternativas para el desarrollo de las comunidades rurales

## RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en una plantación de forestal de pino (*Pinus radiata* D. Don), establecida en el páramo de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Sangay, en las comunidades Totoras y Cobshe Alto, con el objetivo de determinar el contenido de Carbono Orgánico en el Suelo (COS) a tres profundidades (10, 20 y 30 cm). Realizadas las mediciones, observaciones y análisis *in-situ*, se pudo conocer las diferentes características físicas del área de estudio, estableciendo el modelado de la zona y generando mapas de las rutas de acceso a los conglomerados donde se determinó que el Conglomerado 1 (C1) implementado en la plantación de pino presenta un mayor stock de COS con 122,33 Ton/Ha, mientras que en el Conglomerado 2 (C2) implementado en el páramo libre de cobertura forestal presentó una media de 101,54 Ton/Ha es decir que se ha obtenido un incremento de 20,79 Ton/Ha que representa un 17 %; En cuanto a la profundidad donde se ha presentado el mayor incremento de COS se identificó a los 20 cm, tanto en C1 como en C2 con 126,59 Ton/Ha y 104,03 Ton/Ha respectivamente y menores cantidades a los 30 cm de profundidad en los dos conglomerados. En lo referente a la correlación COS - Densidad Aparente (Da) entre conglomerados a tres profundidades, dichas variables muestran un nivel de significancia en los dos conglomerados no tan elevada como sucedió en la correlación COS - Materia Orgánica en el Suelo (MOS), pero igualmente positiva.



## SUMMARY

The present investigation was carried out in a pine plantation (*Pinnus radiata* D. Don) at the Parque Nacional Sangay buffer zone paramo in the Totoras and Cobshe Alto communities. It aimed to determine the soil organic carbon (SOC) content at three depths (10, 20 and 30 cm). Having measured, observed and analyzed in-situ, the different physical area features were known by establishing the zone modelling and generating access route maps for the study sites. Thus, it was determined that planting pine in the site 1 presented a higher SOC stock with 122,33 t/ha whereas the site 2 implemented in a non-forested paramo showed an average of 101,54 t/ha, that is, there was an increase of 20,79 t/ha - 17%. Both site 1 and 2 had the highest depth increase of SOC, that is to say, at 20 cm with 126,59 t/ha and 104,03 t/ha respectively whereas the lowest increase was observed at 30 cm in both sites. The correlation SOC – bulk density (Bd) between sites at three depths showed a significance level in both sites which was not as high as the correlation SOC – soil organic matter (SOM), yet it was positive.



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. **ADL, S.M. 2003.** The ecology of soil decomposition. CAB International, Wallingford, Reino Unido.
2. **ALLISON, L.E., 1965.** Organic Carbon. In: C. A. Black. Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. Number 9 (Part 2) in the series Agronomy. Madison, Wisconsin USA. Pp: 1367-1378
3. **AGUILERA, S.M., 2000.** Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.
4. **ÁLVAREZ MANTILLA, A., G.E.I. MARTINEZ PEÑA, A. PEREZ, SALAZARY J, C. VASQUEZ PAULINA 2002.** Valle de Querétaro. Secretaria de Comunicación y Transportes Mexico. Caracterización de suelos y control espacial por medio de los sistemas de información geográfica; 56 pp.
5. **ALEXANDER, M. 1973.** No biodegradable and other recalcitrant molecules. Biotechnology and bioengineering. London, United Kingdom.
6. **BALESDENT, J., ARROUAYS, D., GAILLARD J. 2000.** MORGANE: un modèle de simulation des réserves organiques des sols et de la dynamique du carbone des sols. *Submitted to Agronomie.*
7. **BATJES, N.H. 1996.** Total C y N in soils of the world. Eur. J. Soil Sci. 47, 151-163.
8. **BISHOP, J., y N. LANDELL-MILLS. 2003.** Los servicios ambientales de los bosques: información general. In: La venta de servicios ambientales forestales. S. Pagiola, N. Landell-Mills y J. Bishop. SEMARNAT/INE/CONAFOR. México.
9. **BUYTAERT, W., 2004.** The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology. Ph.D. thesis, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven.

10. **BROWN, P; CABARLE, B; LIVERNASH, R. 1997.** Carbon counts: Estimating climate change mitigation in forestry projects. EEUU, World Resources Institute.25 p
11. **CAMPBELL, P., J. COMISKEY, A. ALONSO., F. DALLMEIER, P. NUÑEZ., H. BELTRAN, S. BALDEON, W. NAURAY, R. DE LA COLINA, L. ACURIO & S. UDVARDY. 2002.** Modified Whittaker plots as an assessment and monitoring tool for vegetation in a lowland tropical rainforest. *Environmental Monitoring and Assessment* 76: 19-41. The vegetation communities of the lower Urubamba region, Peru.
12. **CONDIT, R. 1995.** Research in large, long-term tropical forest plots. *Trends in Ecology & Evolution*: Pp 18-22.
13. **COMISKEY, J., F. DALLMEIER & S. MISTRY. 1999.** Protocolo de muestreo de vegetación para la Selva Maya. Pp. 18-27. En: A. Carr& A. C. de Stoll, *Tropical Ecosystem Directorate y Wildlife Conservation Society*, Guatemala.
14. **CORNISH, P.M. 1989.***The effects of radiata pine plantation establishment and management on water yields and water quality - a review*; Technical Paper Forestry Commission of NSW: 49. 53.
15. **CORPEL., EXPOECUADOR 2007, 2012.,***Planeación estratégica de plantaciones forestales en el Ecuador.*, Sub-sector plantaciones forestales en el Ecuador, Enero – Abril 2007,Quito – Ecuador
16. **COPPUS, R., L. ENDARA, M. NONHEBEL, V. MERA, S. LEÓN-YÁNEZ, P. MENA VÁSCONEZ, J. WOLF y R. HOFSTEDE. 2001.** El estado de salud de algunos páramos en el Ecuador: una metodología de campo. Pp 219-240
17. **C KLEINN, D MORALES - CATIE.AC.CR. Jul-Dic 2002.** <sup>1</sup>University of Gottingen, Gottingen, Niedersachsen. Alemania .Consideraciones metodológicas al establecer parcelas permanentes de observación en bosque natural o plantaciones forestales: Artículo: Revista forestal centroamericana. Pp 6-12. Costa Rica.

18. **DAUBER, E. 1995.** Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. Santa Cruz, Bol, Proyecto BOLFOR. s.p.
19. **DE LA ROSA, D. 2008.***Evaluación agro-ecológica de suelos.* Madrid, ES. Ediciones Mundi-Prensa. p. 176-177, 199, 208, 223, 231-252.
20. **EVANS, J. 1992.** *Plantation forestry in the tropics.* Oxford. 403 pp.
21. **ENF 2005.** Evaluación Nacional Forestal Honduras 2005 / Manual de campo. Pg 13.
22. **ENF- MAE 2012.,** Evaluación Nacional Forestal Ecuador / Manual de campo. Pg 3.
23. **ESWARAN, H., VAN DEN BERG, E. and REICH, P. 1993.** Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc.Am. J.* 57: 192-194.
24. **FAO.1998.** World Reference Base for Soil Resources. No. 84 in World Soil Resources Reports. FAO, Rome, 88 pp.
25. **FAO. 2000.** (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO<sub>2</sub>. *WorldSoilResourcesReports88.* Rome. 98 p.
26. **FRA – FAO, 2005.**Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005 – 15 Resultados Claves, Situación Forestal en la Región de América Latina y el Caribe - Santiago de Chile.
27. **FAO 2001.**Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural: Evaluación de los recursos de la tierra y la función de sus indicadores.
28. **FAO, 2001.** Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p.
29. **FAO 2006.** Evaluación de recursos forestales mundiales. FRA 2005. Estudio FAO Montes 147..

30. **GAYOSO J. 2002.** Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. *Revista Forestal Iberoamericana (IUFRO-RIFALC)* Vol. 1.
31. **GIFFORD, R.M., 1994.** The global carbon cycle: A viewpoint on the missing sink. *Aust. J. Plant Physiol.* 21, 1-15.
32. **GUO LB, GIFFORD RM. 2002.** Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8(4):345-360.
33. **HAYES, M.H.B., CLAPP, C.E., 2001.** Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and enviromental influences. *Soil Science*, 166, 723-737.
34. **HEDGES, J.I.; KEIL, R.G., 1995.** Sedimentary organic-matter preservations - an assessment and speculative synthesis. *Mar. Chem.*, 49 (2-3), 81-115.
35. **HOFSTEDE, R. G. M., 1995.** Efects of burning and grazing on a Colombian páramo ecosystem. Ph.D. thesis, Universiteit van Amsterdam
36. **HUERTA-CANTERA H.E. 2010.** Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro. y su relación con el crecimiento bacteriano. Tesis Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 61 p.
37. **IPCC,1997.**Guidance for Green House Gas Inventories – Cuadernillo de Trabajo (Volumen Actualizado en 1996. <http://www.ipcc.ch>
38. **IPCC, 2000** –NebojsaNakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 570.
39. **IPCC, 2001.** Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Informe espacial 2001.
40. **IPCC. 2006.** Directrices del IPCC para inventarios nacionales de GEI. Volumen 4: Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra. IGES, Japon.

41. **IPCC 1996.** Estabilización de los gases atmosféricos de efecto invernadero implicaciones físicas, biológicas y socioeconómicas. Documento técnico II. London, United Kingdom.
42. **INE, 2010.,** INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA; Periférico 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530, Delegación Coyoacán, México D.F.
43. **IDEAM 2002.,** Ministerio del Medio Ambiente y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2002. Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición Hot Spot & Global Climatic Tensor. IDEAM – Colombia.
44. **JACKSON, M.L., 1964.** Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p.
45. **JENKINSON, D.S. 1988.** Soil organic matter and its dynamics. *In:* Wild, A. (Ed.). Russel's soil conditions and plant growth. 11th ed. Longman. New York, USA. p. 564-607.
46. **KENNY-JORDAN, C. B., C. HERZ, M. AÑAZCO Y M. ANDRADE. 1999.** Construyendo Cambios: Desarrollo Forestal Comunitario en los Andes. Rome, FAO.
47. **KILLHAM K. 1994.** *Soil ecology*. 242 pp. Cambridge: Cambridge University
48. **KONONOVA, M.M., 1966.** Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility, 2<sup>nd</sup> ed.; Pergamon Press: Oxford. U.K.
49. **KORHONEN, L. 2006.** Havumetsan. M. Sc. thesis. University of Joensuu, Faculty of Forestry. 71 p.
50. **KLEIN, C. 2000.** Inventario y evaluación de árboles fuera de bosque en grandes espacios En: *Unasylva*. Vol 51, No. 200. Roma.
51. **LUTEYN, J. L., 1992.** Páramos: why study them? *In:* Balslev, H. and Luteyn, J. L. (eds.), Páramo: an Andean ecosystem under human influence. Academic Press London, pp. 1- 4.

52. **LUTEYN, J. L. 1999.**,*Páramos: a checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature* (p. 84).
53. **MAGAP. 2008** (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, EC); PRAT (Programa de Regulación y Administración de Tierras Rurales, EC). *Metodología de valoración de tierras rurales: propuesta*. Quito. p. 93-98, 161.
54. **MEDINA, G. Y VÁSCONEZ, P. M., 2001.** Los páramos en el Ecuador. In: Vásconez, P. M., Medina, G. y Hofstede, R., Los páramos del Ecuador. Proyecto Páramo, Quito, pp. 1–24.
55. **MAE, ENF. 2012** Evaluación Nacional Forestal Ecuador 2012 / Manual de campo. .
56. **MEDINA, G. & P. MENA.,1999.** El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. Serie Páramo 1. GTP/AbyaYala. Quito.
57. **MAE. 2008.**, (Ministerio del Ambiente del Ecuador) Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Fondo Mundial GEF. Adaptación al cambio climático a través de una efectiva gobernabilidad del agua en Ecuador PACC.
58. **MUNSELL 2009.** Color Company Soil Color Charts.
59. **NASA. 2008.** Carboncycle. <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/CarbonCycle/> (20/02/2015)
60. **NELSON, D.W. AND L,E, SOMERS.1996.** Total carbon, organig carbon, and organic matter. In.Methods of Soil Anallusis,Par2,
61. **ORDÓÑEZ, J. 1999.** Captura de carbono en un bosque templado: El caso de San Juan Nuevo. Michoacán, México.
62. **PAULI H; M GOTTFRIED;D HHENWALLNER; K REITER Y G GRABHERR** 2003.Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Instituto de ecología y conservación biológica. Universidad de Viena. disponible en: [www.gloria.ac.at](http://www.gloria.ac.at).

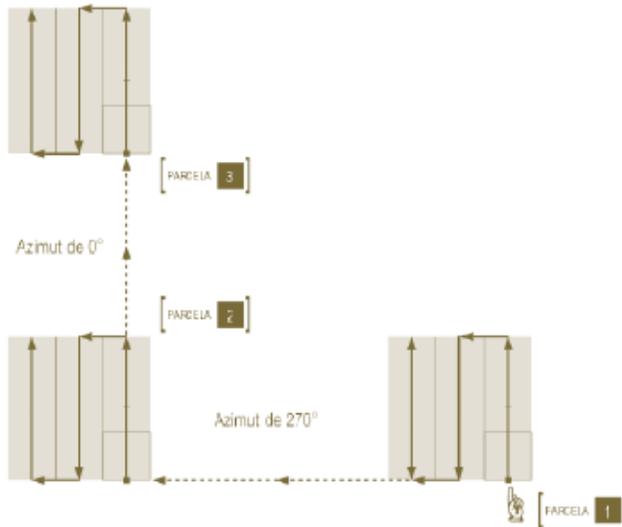
63. **PODWOJEWSKI. 2000.** La degradación de los suelos de los páramos. En: Los Suelos del Páramo. Serie Páramo 5. GTP/ AbyaYala. Quito
64. **QUANTIN Q., ZEBROWSKI C.. 1997.** *Caractérisation et formation de la cangahua en Equateur.* IN : Suelos Volcánicos endurecidos, pp.29-47. Memorias del IIISimposio Internacional sobre Suelos volcánicos endurecidos, Quito, Equateur.
65. **RAMON, G. 2002.** Visiones, usos e intervenciones en los páramos del Ecuador. Serie Páramo (Cultura), pp 43-49.
66. **REED K. y EHRHART C. 2007.** Guía para responsabilizarnos de las Emisiones de Gases Efecto Invernadero de CARE. Taller CARE y El Carbono. Nairobi, Kenya, pp. 5-8.
67. **ROSELL, R.A., 1999.** Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. (Texto completo en CD Rom.) Pucón, Chile.
68. **ROTHON, F.E., 2000.** Influence of Time on Soil Response to No-Till Practices. Soil Sci. Soc. Am. J. 64, 700–709.
69. **RUDEL, T. K., O. T. COOMES, E. MORAN, F. ACHARD, A. ANGELSEN, J. C. XU Y E. LAMBIN. 2005.** Forest transitions: towards a global understanding of land use change. Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions 15(1): 23-31.
70. **SALAMANCA J, A; SADEGHIAN K, S2005.** La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana *Cenicafé* 56(4): 381-397.
71. **SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1999.** Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2do. Edition. USDA, Agriculture Handbook No. 436. Washington, D.C. 869 p.
72. **SIERRA, R. 1999.** Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF. Quito, Ecuador. 107-108 pp.

73. **SMITH, A. 1994.** Introduction to tropical alpine vegetation. In: Tropical.
74. **SWIFT, R. S., 2001.** Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166, 858-871.
75. **SPOSITO. G. 1984**The chemistry of soils. Oxford University Press 277 p.
76. **SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993.** Soil Survey Manual. USDA, Handbook No, 18.Washington, D.C. 437 p.
77. **SCHLESINGER, W.H., 1990.** Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soils. *Nature*, 348, 232-234.
78. **SIMPSON, A.J., SONG, G., SMITH, E., LAM, B., NOVOTNY, E. H., HAYES, M.H.B., 2007.** Unraveling the Structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.*, 41, 876-883.
79. **SUAREZ, L. 2002.** Los páramos como paisajes culturales en el Ecuador. Pp.127-135 En: Mujica, E. (ed.). Paisajes Culturales en los Andes. UNESCO, Lima.
80. **SOMBROEK, W.G., NACHTERGAELE, F.O. & HEBEL, A. 1993.**Amounts, dynamics and sequestrations of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio* 22: 417–426.
81. **SIERRA, R. 1999.** Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y Ecociencia. Quito, Ec. 107-108 pp.
82. **STEUBLING, L, GODOY, R., & ALBERDI, M 2001,** Metodos de ecologia vegetal (Primera edicion ed.). Santiago de Chile. Chile : Editorial Universitaria , S.A.
83. **TAIZ L, ZEIGER E 1998.** Plant Physiology. Sinauer (Ed).
84. **US EPA. 1991** Site characterization for subsurface remediation. Center for environmental rearch information office of research and development. EPA/625/4-91/ 026.259pp.

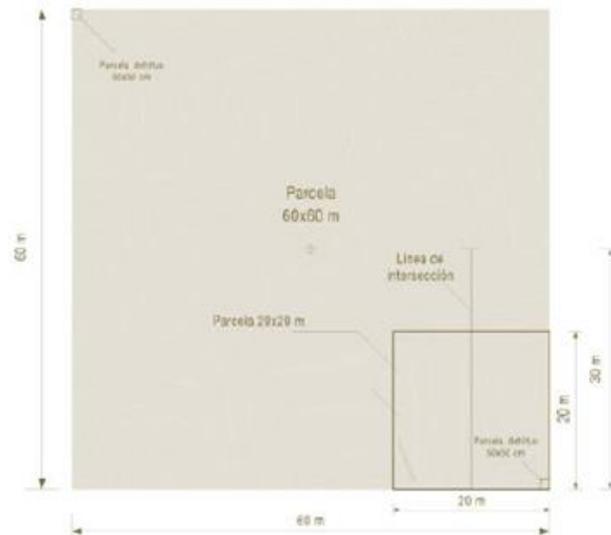
85. **UNESUR. 2004, UNIVESIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL SUR 2004.** Factores naturales de la produccion agropecuaria. Disponible en [http//www.Monografias.com/trabajos15/suelo-erosión/suelo.shtm1#suelo](http://www.Monografias.com/trabajos15/suelo-erosión/suelo.shtm1#suelo).
86. **VAN DER HAMMEN, T. 1997.***Plan ambiental de la Sabana de Bogotá.* Bogotá: CAR.
87. **VALLEJO-JOYAS M.I., LONDOÑO-VEGA A.C. LÓPEZ- CAMACHO R., GALEANO G., ÁLVAREZ-DÁVILA E. Y DEVIA-ÁLVAREZ W. 2005.** Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 310 p.
88. **WOLF, B.; SNYDER, G. 2003.,** Sustainable soils; the place of organic matter in sustainable soils and their productivity. New York, Food Products Press, 2003.352 p
89. **[www.google.com.ec/capturadecarbono.fao.2008](http://www.google.com.ec/capturadecarbono.fao.2008)**
90. **<http://www.google.com/parroquiaachupallas/stoner>, 2009**
91. **<http://www.carbon350.co.uk/carbon-assets-and-offsets/?lang=es>**

## ANEXOS

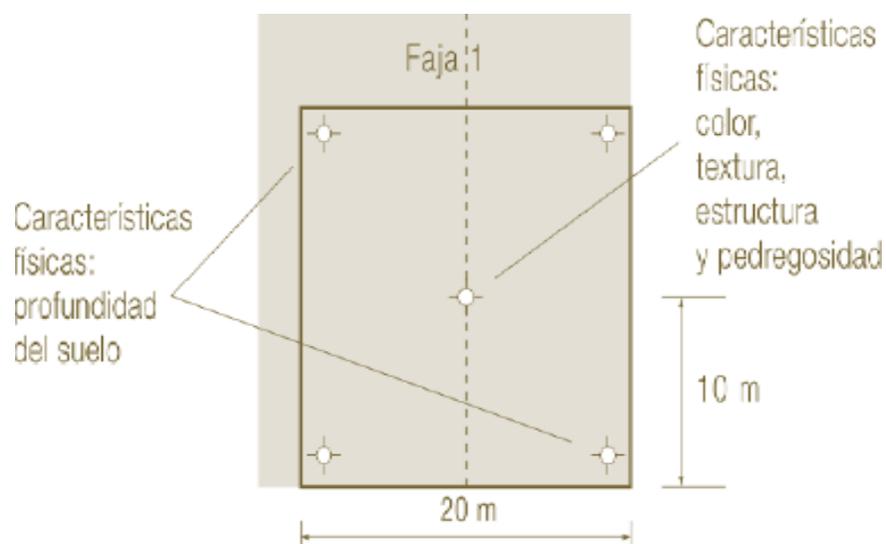
### ANEXO 1. Diseño conglomerado y ubicación de las tres parcelas en forma de L



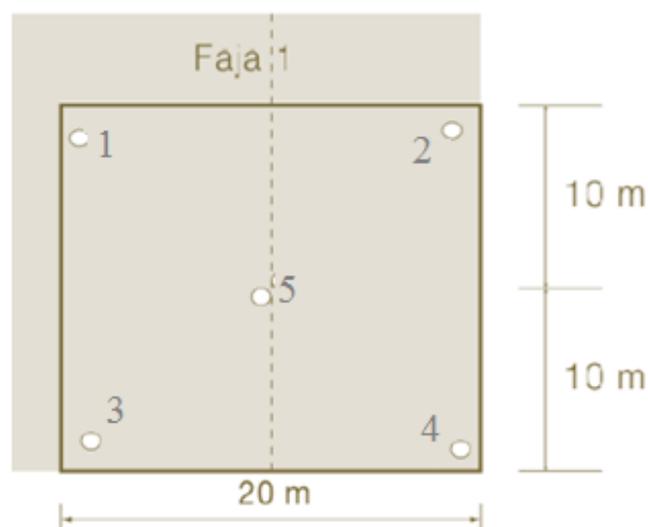
### ANEXO 2. Diseño de las parcelas de 60 por 60 m y 20 por 20 m



**ANEXO 3. Diseño y ubicación de los puntos de monitoreo para la caracterización física del suelo**



**ANEXO 4. Diseño de las subparcelas y ubicación de los puntos de muestreo para determinar Da y COS.**



**ANEXO 5. Inicio de las mediciones.**

Punto donde termina el viaje de vehículo y empieza la caminata hacia los conglomerados.

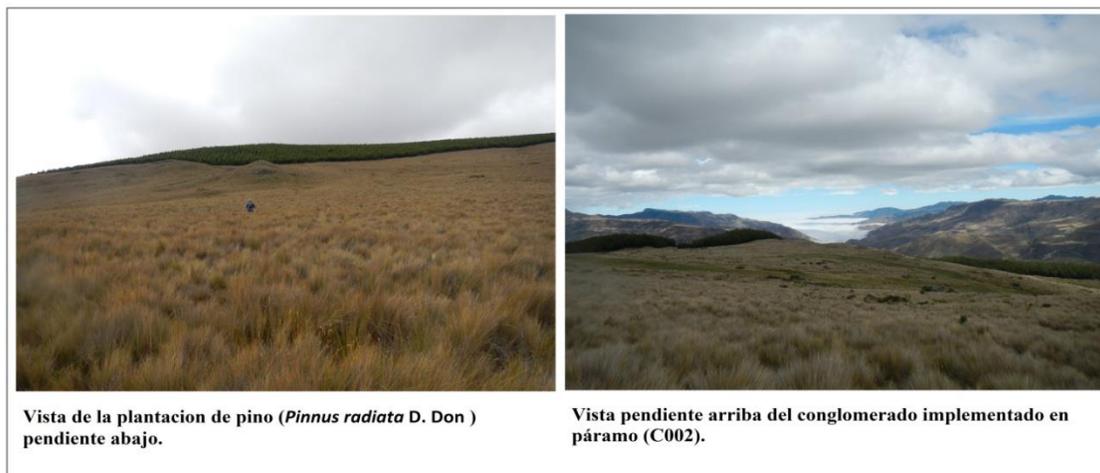
**ANEXO 6. Identificación de las parcelas en C1, *Pinnus radiata* D. Don.**

Identificación de las parcelas en C001 *Pinnus radiata* D. Don.

**ANEXO 7. Identificación de las parcelas en C2, Páramo.****Identificación de las parcelas C002 Páramo.****ANEXO 8. Perturbaciones naturales C1, *Pinus radiata* D. Don.****Perturbaciones naturales detectadas C001 *Pinus radiata* D. Don.**

**ANEXO 9. Perturbaciones naturales C2, Páramo.****ANEXO 10. Perturbaciones antrópicas C1, *Pinnus radiata* D. Don.****ANEXO 11. Perturbaciones antrópicas C2, Páramo sin cobertura forestal.**

## ANEXO 12. Vista panorámica del area de estudio



## ANEXO 13. Materiales y equipos utilizados en el campo y en el laboratorio.



#### ANEXO 14. Medición y trazado de las parcelas



#### ANEXO 15. Elaboración de la calicatas.



**ANEXO 16. Muestreo de suelo.**

Medición, recolección y etiquetado de las muestras de suelo a profundidades de 10, 20 y 30 cm

**ANEXO 17. Características físicas del suelo.**

Muestras recolectadas y evaluación de las características físicas del suelo

**ANEXO 18. Fase de laboratorio**

**Preparación de las muestras para los análisis de laboratorio (LSA)**

**ANEXO 19. Determinación de la densidad aparente de suelo.**

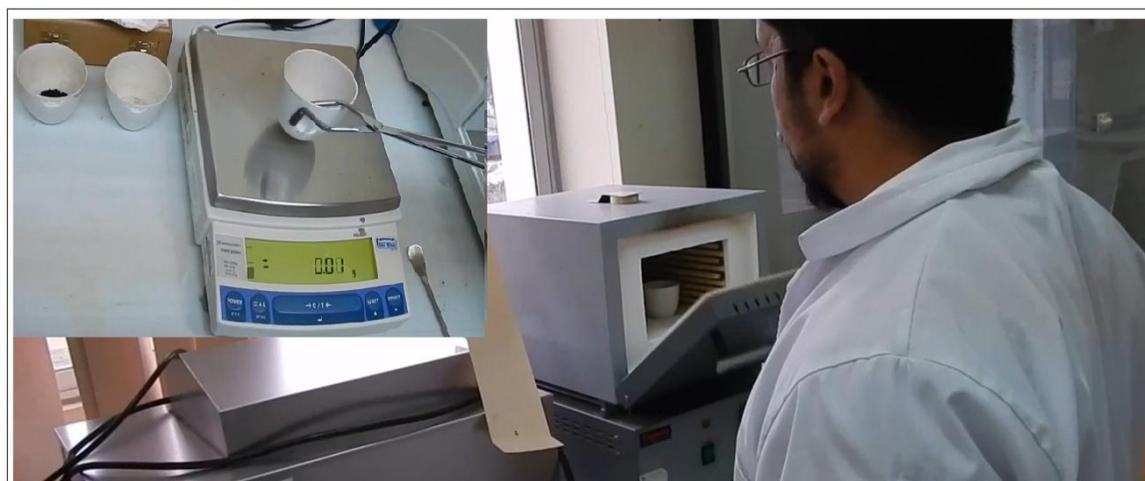
**Calculo de la densidad aparente del suelo utilizando la metodología del cilindro de volumen conocido.**

### ANEXO 20. Secado de las muestras en la estufa.



Pesadas las muestras de suelo (Peso húmedo) y colocadas en la estufa durante 24 horas a 105 °C para la determinación del peso seco y el cálculo de la densidad aparente.

### ANEXO 21. Determinación del contenido de materia orgánica en el suelo



Se colocó en la mufla 5 gramos muestra de suelo seco a 450 °C por el lapso de 20 minutos para posteriormente pesar la muestra y calcular el % de materia orgánica y contenido de carbono orgánico

**ANEXO 22. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C1 correspondientes al estrato plantación forestal de *Pinnus radiata* D. Don, parcela 1.**

DETERMINACION DEL STOCK DE CARBONO ORGANICO EN EL SUELO C1 (Plantacion de pino)															
PARCELA	PUNTO	PROF. MUESTRA (cm)	REPETICION	P. SUELO HUMEDO (g)	P. SUELO SECO EST. 105 °C (g)	V. CILINDRO (cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	D <sub>a</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	P. SUELO SECO (g)	P.SUELO SECO DESP. IGNIC. (g)	PERDIDA DE PESO (g)	M. ORGANICA (%)	CARBONO (%)	Carbono (Tn/ha)	
1	1	10	R1	128.95	92.02	91.93	28.64	1.00	5.0	3.75	1.25	25.00	14.50	145.16	
			R2	127.88	97.13	91.93	24.05	1.06	5.0	3.84	1.16	23.20	13.46	142.19	
			R3	129.43	93.67	91.93	27.63	1.02	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	119.39	
		20	R1	132.91	97.13	91.93	26.92	1.06	5.0	3.84	1.16	23.20	13.46	142.19	
			R2	142.26	103.52	91.93	27.23	1.13	5.0	3.87	1.13	23.60	13.11	147.62	
			R3	136.04	99.76	91.93	26.67	1.09	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	124.63	
		30	R1	136.48	99.64	91.93	26.99	1.08	5.0	3.87	1.13	23.60	13.11	142.09	
			R2	140.92	102.22	91.93	27.46	1.11	5.0	3.89	1.11	22.20	12.88	143.19	
			R3	137.28	100.66	91.93	26.68	1.09	5.0	4.12	0.88	17.60	10.21	111.78	
	2	10	R1	130.19	103.08	91.93	20.82	1.12	5.0	4.03	0.97	19.40	11.25	126.18	
			R2	128.76	97.85	91.93	24.01	1.06	5.0	4.04	0.96	19.20	11.14	118.54	
			R3	127.33	92.68	91.93	27.21	1.01	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	118.13	
		20	R1	139.12	102.01	91.93	26.67	1.11	5.0	4.16	0.84	16.80	9.74	108.13	
			R2	131.74	95.97	91.93	27.15	1.04	5.0	4.04	0.96	19.20	11.14	116.27	
			R3	141.07	102.69	91.93	27.21	1.12	5.0	4.09	0.91	18.20	10.56	117.93	
		30	R1	141.67	93.91	91.93	33.71	1.02	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	97.18	
			R2	131.70	95.95	91.93	27.15	1.04	5.0	4.12	0.88	17.60	10.21	106.55	
			R3	139.83	101.14	91.93	27.67	1.10	5.0	4.08	0.92	18.40	10.67	117.42	
		3	10	R1	128.77	93	91.93	27.78	1.01	5.0	3.96	1.04	20.80	12.06	122.06
				R2	139.63	92.63	91.93	22.57	1.01	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	115.73
				R3	128.39	94.48	91.93	26.41	1.03	5.0	3.93	1.07	21.40	12.41	127.58
	20		R1	135.04	98.76	91.93	26.87	1.07	5.0	4.07	0.93	18.60	10.79	115.91	
			R2	138.15	101.03	91.93	26.87	1.10	5.0	4.11	0.89	17.80	10.32	113.47	
			R3	131.08	96.03	91.93	26.74	1.04	5.0	4.07	0.93	18.60	10.79	112.70	
	30		R1	136.14	99.51	91.93	26.91	1.08	5.0	4.12	0.88	17.60	10.21	110.51	
			R2	140.68	101.98	91.93	27.51	1.11	5.0	4.06	0.94	18.80	10.90	120.97	
			R3	131.66	98.85	91.93	24.92	1.08	5.0	4.04	0.96	19.20	11.14	119.75	
	4		10	R1	127.30	92.65	91.93	27.22	1.01	5.0	3.97	1.03	20.60	11.95	120.43
				R2	128.76	92.99	91.93	27.78	1.01	5.0	4.00	1.00	20.00	11.60	117.35
				R3	129.80	92.8	91.93	28.51	1.01	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	115.94
		20	R1	146.16	107.78	91.93	26.26	1.17	5.0	4.11	0.89	17.80	10.32	121.05	
			R2	135.05	98.77	91.93	26.86	1.07	5.0	4.02	0.98	19.60	11.37	122.15	
			R3	138.20	101.08	91.93	26.86	1.10	5.0	4.00	1.00	20.00	11.60	127.56	
		30	R1	139.72	102.03	91.93	26.98	1.11	5.0	4.08	0.92	18.40	10.67	118.46	
			R2	136.53	99.9	91.93	26.83	1.09	5.0	4.10	0.90	18.00	10.44	113.46	
			R3	140.64	101.93	91.93	27.52	1.11	5.0	4.17	0.83	16.60	9.63	106.76	
		5	10	R1	128.13	103.24	91.93	19.43	1.12	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	132.89
				R2	129.16	102.24	91.93	20.84	1.11	5.0	3.95	1.05	21.00	12.18	135.47
				R3	131.64	105.58	91.93	19.80	1.15	5.0	4.05	0.95	19.00	11.02	126.57
	20		R1	144.68	111.12	91.93	23.20	1.21	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	143.03	
			R2	139.03	106.47	91.93	23.42	1.16	5.0	3.86	1.14	22.80	13.23	153.17	
			R3	134.20	103.16	91.93	23.13	1.12	5.0	3.92	1.08	21.60	12.53	140.60	
	30		R1	140.93	105.08	91.93	25.44	1.14	5.0	3.89	1.11	22.20	12.88	147.19	
			R2	141.16	105.23	91.93	25.45	1.14	5.0	3.87	1.13	22.60	13.11	150.06	
			R3	141.75	105.92	91.93	25.28	1.15	5.0	4.1	0.90	18.00	10.44	120.30	

**ANEXO 23. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C1 correspondientes al estrato plantación forestal de *Pinnus radiata* D. Don, parcela 2.**

PARCELA	PUNTO	PROF. MUESTRA (cm)	REPETICION	P. SUELO HUMEDO (g)	P. SUELO SECO EST. 105 °C (g)	V. CILINDRO (cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	D A P (g/cm <sup>3</sup> )	P. SUELO SECO (g)	P.SUELO SECO DESP. IGNIC. (g)	PERDIDA DE PESO (g)	M. ORGANICA (%)	CARBONO (%)	Carbono (Tn/Ha)	
2	1	10	R1	127.94	97.17	91.93	24.05	1.06	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	123.85	
			R2	127.93	97.1	91.93	24.10	1.06	5.0	4	1.00	20.00	11.60	122.54	
			R3	128.08	103.19	91.93	19.43	1.12	5.0	4.02	0.98	19.60	11.37	127.62	
		20	R1	137.37	105.36	91.93	23.30	1.15	5.0	3.97	1.03	20.60	11.95	136.95	
			R2	139.37	95.92	91.93	31.18	1.04	5.0	3.91	1.09	21.80	12.65	131.94	
			R3	141.36	102.99	91.93	27.14	1.12	5.0	3.85	1.15	23.00	13.34	149.46	
		30	R1	141.69	106.25	91.93	25.01	1.16	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	136.76	
			R2	131.79	98.98	91.93	24.90	1.08	5.0	3.91	1.09	21.80	12.65	136.15	
			R3	139.30	100.61	91.93	27.77	1.09	5.0	3.9	1.10	22.00	12.76	139.66	
		2	10	R1	129.10	93.33	91.93	27.71	1.02	5.0	4.04	0.96	19.20	11.14	113.07
				R2	129.71	92.71	91.93	28.53	1.01	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	115.83
				R3	127.96	93.3	91.93	27.09	1.01	5.0	4.02	0.98	19.60	11.37	115.39
	20		R1	135.03	98.74	91.93	26.88	1.07	5.0	4.07	0.93	18.60	10.79	115.88	
			R2	138.36	101.24	91.93	26.83	1.10	5.0	4.02	0.98	19.60	11.37	125.20	
			R3	139.38	100.01	91.93	28.25	1.09	5.0	4.04	0.96	19.20	11.14	121.16	
	30		R1	137.67	101.04	91.93	26.61	1.10	5.0	4.13	0.87	17.40	10.99	110.93	
			R2	139.99	101.29	91.93	27.64	1.10	5.0	4.08	0.92	18.40	10.67	117.60	
			R3	137.66	101.03	91.93	26.61	1.10	5.0	4.13	0.87	17.40	10.99	110.92	
	3		10	R1	127.94	97.17	91.93	24.05	1.06	5.0	3.96	1.04	20.80	12.06	127.53
				R2	127.94	97.16	91.93	24.06	1.06	5.0	3.96	1.04	20.80	12.06	127.52
				R3	127.52	96.85	91.93	24.05	1.05	5.0	4.02	0.98	19.60	11.37	119.78
		20	R1	136.20	104.46	91.93	23.30	1.14	5.0	4.02	0.98	19.60	11.37	129.19	
			R2	133.00	97.19	91.93	26.92	1.06	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	121.42	
			R3	140.37	102.92	91.93	26.68	1.12	5.0	3.94	1.06	21.20	12.30	137.67	
		30	R1	140.84	101.05	91.93	28.25	1.10	5.0	4.03	0.97	19.40	11.25	123.69	
			R2	134.72	98.47	91.93	26.91	1.07	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	123.02	
			R3	139.64	100.18	91.93	28.26	1.09	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	127.69	
		4	10	R1	127.73	97.01	91.93	24.05	1.06	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	123.65
				R2	128.02	92.45	91.93	27.78	1.01	5.0	3.97	1.03	20.60	11.95	120.17
				R3	127.77	97.04	91.93	24.05	1.06	5.0	4	1.00	20.00	11.60	122.46
	20		R1	135.20	98.87	91.93	26.87	1.08	5.0	4.02	0.98	19.60	11.37	122.27	
			R2	132.99	97.18	91.93	26.93	1.06	5.0	4	1.00	20.00	11.60	122.64	
			R3	139.36	95.91	91.93	31.18	1.04	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	122.24	
	30		R1	139.38	100.01	91.93	28.25	1.09	5.0	4.05	0.95	19.00	11.02	119.90	
			R2	134.73	98.47	91.93	26.91	1.07	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	123.02	
			R3	137.18	100.58	91.93	26.68	1.09	5.0	4	1.00	20.00	11.60	126.93	
	5		10	R1	128.90	93.08	91.93	27.79	1.01	5.0	3.94	1.06	21.20	12.30	124.51
				R2	127.75	97.03	91.93	24.05	1.06	5.0	3.95	1.05	21.00	12.18	128.57
				R3	128.06	92.48	91.93	27.78	1.01	5.0	3.94	1.06	21.20	12.30	123.71
		20	R1	135.12	98.81	91.93	26.87	1.07	5.0	4.04	0.96	19.20	11.14	119.71	
			R2	138.75	95.49	91.93	31.18	1.04	5.0	4.02	0.98	19.60	11.37	118.09	
			R3	135.55	99.13	91.93	26.87	1.08	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	123.85	
		30	R1	136.14	99.51	91.93	26.91	1.08	5.0	4.13	0.87	17.40	10.99	109.25	
			R2	139.53	100	91.93	28.33	1.09	5.0	4.06	0.94	18.80	10.90	118.62	
			R3	132.90	99.78	91.93	24.92	1.09	5.0	4.08	0.92	18.40	10.67	115.84	

**ANEXO 24. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C1 correspondientes al estrato plantación forestal de *Pinnus radiata* D. Don, parcela 3.**

PARCELA	PUNTO	PROF. MUESTRA (cm)	REPETICION N	P. SUELO HUMEDO (g)	P. SUELO SECO EST. 105 °C (g)	V. CILINDRO (cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	D A P (g/cm <sup>3</sup> )	P. SUELO SECO (g)	P.SUELO SECO DESP. IGNIC. (g)	PERDIDA DE PESO (g)	M. ORGANICA (%)	CARBONO (%)	Carbono (Tn/Ha)
3	1	10	R1	128.65	92.9	91.93	27.79	1.01	5.0	3.96	1.04	20.80	12.06	121.92
			R2	130.14	103.04	91.93	20.82	1.12	5.0	4.00	1.00	20.00	11.60	130.03
			R3	131.64	105.57	91.93	19.80	1.15	5.0	4.04	0.96	19.20	11.14	127.90
		20	R1	142.17	103.45	91.93	27.24	1.13	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	131.85
			R2	139.04	101.95	91.93	26.68	1.11	5.0	3.97	1.03	20.60	11.95	132.52
			R3	134.70	98.51	91.93	26.87	1.07	5.0	4.04	0.96	19.20	11.14	119.34
		30	R1	140.22	92.94	91.93	33.72	1.01	5.0	3.97	1.03	20.60	11.95	120.80
			R2	140.27	92.98	91.93	33.71	1.01	5.0	3.97	1.03	20.60	11.95	120.86
			R3	139.46	100.06	91.93	28.25	1.09	5.0	4.1	0.90	18.00	10.44	113.64
	2	10	R1	127.95	93.05	91.93	27.28	1.01	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	119.77
			R2	128.52	92.81	91.93	27.79	1.01	5.0	3.97	1.03	20.60	11.95	120.64
			R3	127.88	93	91.93	27.28	1.01	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	119.71
		20	R1	134.10	98.06	91.93	26.87	1.07	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	122.51
			R2	133.49	97.55	91.93	26.92	1.06	5.0	4	1.00	20.00	11.60	123.10
			R3	139.20	102.06	91.93	26.68	1.11	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	131.37
		30	R1	139.42	100.03	91.93	28.25	1.09	5.0	4.08	0.92	18.40	10.67	116.13
			R2	134.71	98.46	91.93	26.91	1.07	5.0	4.07	0.93	18.60	10.79	115.55
			R3	138.32	99.32	91.93	28.20	1.08	5.0	4.05	0.95	19.00	11.02	119.07
	3	10	R1	128.13	92.53	91.93	27.78	1.01	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	119.10
			R2	127.95	97.17	91.93	24.06	1.06	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	125.08
			R3	127.86	97.11	91.93	24.05	1.06	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	123.77
		20	R1	137.00	100.32	91.93	26.77	1.09	5.0	4	1.00	20.00	11.60	126.60
			R2	135.14	98.83	91.93	26.87	1.08	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	125.97
			R3	138.86	101.81	91.93	26.68	1.11	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	129.76
30		R1	137.69	100.09	91.93	27.31	1.09	5.0	4.11	0.89	17.80	10.32	112.41	
		R2	134.72	98.47	91.93	26.91	1.07	5.0	4.04	0.96	19.20	11.14	119.29	
		R3	140.03	92.82	91.93	33.71	1.01	5.0	4.13	0.87	17.40	10.09	101.91	
4	10	R1	128.24	92.6	91.93	27.79	1.01	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	119.19	
		R2	128.02	92.44	91.93	27.79	1.01	5.0	3.97	1.03	20.60	11.95	120.15	
		R3	127.95	97.18	91.93	24.05	1.06	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	125.09	
	20	R1	135.22	98.89	91.93	26.87	1.08	5.0	4	1.00	20.00	11.60	124.79	
		R2	133.89	97.62	91.93	26.93	1.06	5.0	4.01	0.99	19.80	11.48	121.96	
		R3	136.35	99.98	91.93	26.67	1.09	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	127.43	
	30	R1	139.15	99.73	91.93	28.33	1.08	5.0	4.07	0.93	18.60	10.79	117.04	
		R2	136.93	99.97	91.93	26.99	1.09	5.0	4.07	0.93	18.60	10.79	117.33	
		R3	138.87	99.71	91.93	28.20	1.08	5.0	4.06	0.94	18.80	10.90	118.28	
5	10	R1	129.70	91.84	91.93	29.19	1.00	5.0	3.87	1.13	22.60	13.11	130.96	
		R2	127.92	97.16	91.93	24.05	1.06	5.0	3.91	1.09	21.80	12.65	133.65	
		R3	129.56	91.82	91.93	29.13	1.00	5.0	3.93	1.07	21.40	12.41	123.98	
	20	R1	133.25	97.37	91.93	26.93	1.06	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	125.33	
		R2	134.24	98.13	91.93	26.90	1.07	5.0	3.94	1.06	21.20	12.30	131.27	
		R3	135.63	99.19	91.93	26.87	1.08	5.0	4.05	0.95	19.00	11.02	118.91	
	30	R1	140.02	92.81	91.93	33.72	1.01	5.0	3.98	1.02	20.40	11.83	119.46	
		R2	138.91	99.74	91.93	28.20	1.08	5.0	3.94	1.06	21.20	12.30	133.42	
		R3	136.89	99.93	91.93	27.00	1.09	5.0	3.99	1.01	20.20	11.72	127.37	

**ANEXO 25. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C2 correspondientes al estrato páramo sin cobertura forestal, parcela 1.**

DETERMINACION DEL STOCK DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO C2 (Páramo sin cobertura forestal)															
PARCELA	PUNTO	PROF. MUESTRA (cm)	REPETICION	P. SUELO HUMEDO (g)	P. SUELO SECO EST. 105 °C (g)	V. CILINDRO (cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	D a (g/cm <sup>3</sup> )	P. SUELO SECO (g)	P. SUELO SECO DESP. IGNIC. (g)	PERDIDA DE PESO (g)	M. ORGANICA (%)	CARBONO (%)	Carbono (Tn/Ha)	
1	1	10	R1	127.23	94	91.93	26.12	1.02	5.0	4.13	0.87	17.40	10.09	103.20	
			R2	125.84	92.75	91.93	26.30	1.01	5.0	4.17	0.83	16.60	9.63	97.15	
			R3	126.54	93.49	91.93	26.12	1.02	5.0	4.16	0.84	16.80	9.74	99.10	
		20	R1	143.42	104.31	91.93	27.27	1.13	5.0	4.19	0.81	16.20	9.40	106.62	
			R2	146.04	104.11	91.93	28.71	1.13	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	107.73	
			R3	140.79	102.49	91.93	27.20	1.11	5.0	4.21	0.79	15.80	9.16	102.18	
		30	R1	137.19	99.4	91.93	27.55	1.08	5.0	4.23	0.77	15.40	8.93	96.59	
			R2	144.29	103.34	91.93	28.38	1.12	5.0	4.26	0.74	14.80	8.58	96.50	
			R3	141.85	103.46	91.93	27.06	1.13	5.0	4.21	0.79	15.80	9.16	103.14	
		2	10	R1	127.27	94.02	91.93	26.13	1.02	5.0	4.14	0.86	17.20	9.98	102.04
				R2	127.31	94.07	91.93	26.11	1.02	5.0	4.15	0.85	17.00	9.86	100.90
				R3	125.88	92.79	91.93	26.29	1.01	5.0	4.19	0.81	16.20	9.40	94.85
	20		R1	133.63	99.67	91.93	25.41	1.08	5.0	4.21	0.79	15.80	9.16	99.37	
			R2	139.95	101.87	91.93	27.21	1.11	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	105.42	
			R3	146.08	104.15	91.93	28.70	1.13	5.0	4.15	0.85	17.00	9.86	111.72	
	30		R1	140.33	100.74	91.93	28.21	1.10	5.0	4.26	0.74	14.80	8.58	94.08	
			R2	136.84	99.05	91.93	27.62	1.08	5.0	4.28	0.72	14.40	8.35	90.00	
			R3	141.95	100.9	91.93	28.92	1.10	5.0	4.23	0.77	15.40	8.93	98.04	
	3		10	R1	131.33	97.6	91.93	25.68	1.06	5.0	4.20	0.80	16.00	9.28	98.53
				R2	133.68	99.72	91.93	25.40	1.08	5.0	4.21	0.79	15.80	9.16	99.42
				R3											
		20	R1	140.84	102.54	91.93	27.19	1.12	5.0	4.22	0.78	15.60	9.05	100.93	
			R2	142.00	103.28	91.93	27.27	1.12	5.0	4.24	0.76	15.20	8.82	99.05	
			R3	136.86	98.92	91.93	27.72	1.08	5.0	4.16	0.84	16.80	9.74	104.86	
		30	R1	141.92	103.53	91.93	27.05	1.13	5.0	4.23	0.77	15.40	8.93	100.60	
			R2	140.40	100.81	91.93	28.20	1.10	5.0	4.28	0.72	14.40	8.35	91.60	
			R3	138.02	100.23	91.93	27.38	1.09	5.0	4.26	0.74	14.80	8.58	93.60	
		4	10	R1	132.50	98.46	91.93	25.69	1.07	5.0	4.19	0.81	16.20	9.40	100.64
				R2	128.56	94.99	91.93	26.11	1.03	5.0	4.17	0.83	16.60	9.63	99.49
				R3	129.75	96.42	91.93	25.69	1.05	5.0	4.20	0.80	16.00	9.28	97.34
	20		R1	138.35	100.7	91.93	27.21	1.10	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	104.20	
			R2	141.41	102.77	91.93	27.32	1.12	5.0	4.22	0.78	15.60	9.05	101.16	
			R3	139.44	101.51	91.93	27.20	1.10	5.0	4.19	0.81	16.20	9.40	103.76	
	30		R1	141.15	101.33	91.93	28.21	1.10	5.0	4.25	0.75	15.00	8.70	95.91	
			R2	139.20	99.93	91.93	28.21	1.09	5.0	4.27	0.73	14.60	8.47	92.06	
			R3	139.97	100.48	91.93	28.21	1.09	5.0	4.24	0.76	15.20	8.82	96.37	
	5		10	R1	131.07	97.41	91.93	25.68	1.06	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	100.80
				R2	131.13	97.45	91.93	25.68	1.06	5.0	4.19	0.81	16.20	9.40	99.61
				R3	129.15	95.97	91.93	25.69	1.04	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	99.31
		20	R1	139.88	101.82	91.93	27.21	1.11	5.0	4.19	0.81	16.20	9.40	104.08	
			R2	139.90	101.83	91.93	27.21	1.11	5.0	4.20	0.80	16.00	9.28	102.80	
			R3	140.60	102.35	91.93	27.20	1.11	5.0	4.20	0.80	16.00	9.28	103.33	
		30	R1	141.16	101.33	91.93	28.22	1.10	5.0	4.25	0.75	15.00	8.70	95.91	
			R2	138.01	100.22	91.93	27.38	1.09	5.0	4.26	0.74	14.80	8.58	93.59	
			R3	136.83	99.37	91.93	27.38	1.08	5.0	4.28	0.72	14.40	8.35	90.29	

**ANEXO 26. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C2 correspondientes al estrato páramo sin cobertura forestal, parcela 2.**

PARCELA	PUNTO	PROF. MUESTRA (cm)	REPETICION	P. SUELO HUMEDO (g)	P. SUELO SECO EST. 105 °C (g)	V. CILINDRO (cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	D a (g/cm <sup>3</sup> )	P. SUELO SECO (g)	P.SUELO SECO DESP. IGNIC. (g)	PERDIDA DE PESO (g)	M. ORGANICA (%)	CARBONO (%)	Carbono (Tn/Ha)
2	1	10	R1	131,77	97,57	91,93	25,95	1,06	5,0	4,20	0,80	16,00	9,28	98,50
			R2	126,91	103,01	91,93	18,83	1,12	5,0	4,15	0,85	17,00	9,86	110,49
			R3	125,40	104,05	91,93	17,03	1,13	5,0	4,15	0,85	17,00	9,86	111,61
		20	R1	141,30	103,01	91,93	27,10	1,12	5,0	4,22	0,78	15,60	9,05	101,40
			R2	136,52	98,58	91,93	27,79	1,07	5,0	4,17	0,83	16,60	9,63	103,25
			R3	136,46	98,52	91,93	27,80	1,07	5,0	4,14	0,86	17,20	9,98	106,92
		30	R1	142,45	104,05	91,93	26,96	1,13	5,0	4,24	0,76	15,20	8,82	99,79
			R2	136,87	99,07	91,93	27,62	1,08	5,0	4,07	0,93	18,60	10,79	116,27
			R3	137,62	99,83	91,93	27,46	1,09	5,0	4,2	0,80	16,00	9,28	100,78
	2	10	R1	125,52	92,44	91,93	26,35	1,01	5,0	4,14	0,86	17,20	9,98	100,32
			R2	133,84	99,88	91,93	25,37	1,09	5,0	4,22	0,78	15,60	9,05	98,51
			R3	132,92	98,97	91,93	25,54	1,08	5,0	4,17	0,83	16,60	9,63	103,66
		20	R1	145,73	103,8	91,93	28,77	1,13	5,0	4,15	0,85	17,00	9,86	111,34
			R2	142,17	103,44	91,93	27,24	1,13	5,0	4,24	0,76	15,20	8,82	99,21
			R3	141,26	102,53	91,93	27,42	1,12	5,0	4,15	0,85	17,00	9,86	109,98
		30	R1	143,99	103,02	91,93	28,45	1,12	5,0	4,09	0,91	18,20	10,56	118,31
			R2	140,64	103,44	91,93	26,45	1,13	5,0	4,28	0,72	14,40	8,35	93,99
			R3	135,63	100,04	91,93	26,24	1,09	5,0	4,23	0,77	15,40	8,93	97,21
	3	10	R1	128,11	95,98	91,93	25,08	1,04	5,0	4,1900	0,81	16,20	9,40	98,11
			R2	130,18	96,39	91,93	25,96	1,05	5,0	4,1600	0,84	16,80	9,74	102,18
			R3	125,83	92,66	91,93	26,36	1,01	5,0	4,1500	0,85	17,00	9,86	99,39
		20	R1	141,44	102,66	91,93	27,42	1,12	5,0	4,2400	0,76	15,20	8,82	98,46
			R2	143,41	104,34	91,93	27,24	1,14	5,0	4,1950	0,81	16,10	9,34	106,00
			R3	138,81	101,03	91,93	27,22	1,10	5,0	4,1800	0,82	16,40	9,51	104,55
		30	R1	143,07	102,36	91,93	28,45	1,11	5,0	4,2300	0,77	15,40	8,93	99,46
			R2	140,73	103,5	91,93	26,45	1,13	5,0	4,2400	0,76	15,20	8,82	99,27
			R3	139,95	102,93	91,93	26,45	1,12	5,0	4,2200	0,78	15,60	9,05	101,32
4	10	R1	133,14	99,35	91,93	25,38	1,08	5,0	4,1800	0,82	16,40	9,51	102,81	
		R2	132,93	98,97	91,93	25,55	1,08	5,0	4,17	0,83	16,60	9,63	103,66	
		R3	133,38	99,52	91,93	25,39	1,08	5,0	4,19	0,81	16,20	9,40	101,73	
	20	R1	143,95	104,69	91,93	27,27	1,14	5,0	4,19	0,81	16,20	9,40	107,01	
		R2	142,18	103,45	91,93	27,24	1,13	5,0	4,22	0,78	15,60	9,05	101,83	
		R3	141,71	102,86	91,93	27,42	1,12	5,0	4,2	0,80	16,00	9,28	103,84	
	30	R1	142,31	103,94	91,93	26,96	1,13	5,0	4,19	0,81	16,20	9,40	106,25	
		R2	138,13	101,59	91,93	26,45	1,11	5,0	4,25	0,75	15,00	8,70	96,15	
		R3	139,81	102,82	91,93	26,46	1,12	5,0	4,16	0,84	16,80	9,74	108,99	
5	10	R1	129,14	95,96	91,93	25,69	1,04	5,0	4,1700	0,83	16,60	9,63	100,51	
		R2	126,98	93,3	91,93	26,52	1,01	5,0	4,1500	0,85	17,60	9,86	100,08	
		R3	130,20	96,4	91,93	25,96	1,05	5,0	4,1600	0,84	16,80	9,74	102,19	
	20	R1	140,12	102,02	91,93	27,19	1,11	5,0	4,2100	0,79	15,80	9,16	101,71	
		R2	142,42	103,62	91,93	27,24	1,13	5,0	4,2300	0,77	15,40	8,93	100,69	
		R3	139,01	101,19	91,93	27,21	1,10	5,0	4,1900	0,81	16,20	9,40	103,43	
	30	R1	143,10	102,38	91,93	28,46	1,11	5,0	4,2500	0,75	15,00	8,70	96,90	
		R2	140,34	102,21	91,93	26,46	1,12	5,0	4,2300	0,77	15,40	8,93	100,29	
		R3	139,05	102,26	91,93	26,46	1,11	5,0	4,2300	0,77	15,40	8,93	99,37	

**ANEXO 27. Datos de carbono orgánico en el suelo (COS) obtenidos en laboratorio una vez realizados los análisis y repeticiones de las muestras a diferentes profundidades en el C2 correspondientes al estrato páramo sin cobertura forestal, parcela 3.**

PARCELA	PUNTO	PROF. MUESTRA (cm)	REPETICION	P. SUELO HUMEDO (g)	P. SUELO SECO EST. 105 °C (g)	V. CILINDRO (cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	D a (g/cm <sup>3</sup> )	P. SUELO SECO (g)	P.SUELO SECO DESP. IGNIC. (g)	PERDIDA DE PESO (g)	M. ORGANICA (%)	CARBONO (%)	Carbono (Tn/Ha)
3	1	10	R1	133.40	99.85	91.93	25.15	1.09	5.0	4.20	0.80	16.00	9.28	100.80
			R2	127.01	102.09	91.93	19.62	1.11	5.0	4.15	0.85	17.00	9.86	109.51
			R3	128.06	95.94	91.93	25.08	1.04	5.0	4.16	0.84	16.80	9.74	101.70
		20	R1	143.06	104.04	91.93	27.28	1.13	5.0	4.2	0.80	16.00	9.28	105.03
			R2	141.95	103.03	91.93	27.42	1.12	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	106.62
			R3	142.16	103.43	91.93	27.24	1.13	5.0	4.22	0.78	15.60	9.05	101.81
		30	R1	140.22	103.13	91.93	26.45	1.12	5.0	4.22	0.78	15.60	9.05	101.51
			R2	140.65	103.44	91.93	26.46	1.13	5.0	4.22	0.78	15.60	9.05	101.82
			R3	141.07	103.75	91.93	26.45	1.13	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	107.36
	2	10	R1	131.30	97.22	91.93	25.96	1.06	5.0	4.2000	0.80	16.00	9.28	98.15
			R2	133.16	99.37	91.93	25.38	1.08	5.0	4.2	0.80	16.00	9.28	100.32
			R3	132.92	98.97	91.93	25.54	1.08	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	102.41
		20	R1	143.07	104.05	91.93	27.27	1.13	5.0	4.23	0.77	15.40	8.93	101.11
			R2	141.94	103.02	91.93	27.42	1.12	5.0	4.21	0.79	15.80	9.16	102.70
			R3	141.72	102.86	91.93	27.42	1.12	5.0	4.19	0.81	16.20	9.40	105.14
		30	R1	141.19	103.84	91.93	26.45	1.13	5.0	4.24	0.76	15.20	8.82	99.59
			R2	140.62	103.42	91.93	26.45	1.13	5.0	4.28	0.72	14.40	8.35	93.97
			R3	135.62	100.03	91.93	26.24	1.09	5.0	4.24	0.76	15.20	8.82	95.94
	3	10	R1	128.06	95.94	91.93	25.08	1.04	5.0	4.1600	0.84	16.80	9.74	101.70
			R2	127.00	95.14	91.93	25.09	1.03	5.0	4.1600	0.84	16.80	9.74	100.85
			R3	127.55	95.56	91.93	25.08	1.04	5.0	4.1800	0.82	16.40	9.51	98.89
		20	R1	141.27	103.51	91.93	26.73	1.13	5.0	4.2200	0.78	15.60	9.05	101.89
			R2	139.56	101.59	91.93	27.21	1.11	5.0	4.2100	0.79	15.80	9.16	101.28
			R3	138.82	101.03	91.93	27.22	1.10	5.0	4.1800	0.82	16.40	9.51	104.55
		30	R1	143.09	105.23	91.93	26.46	1.14	5.0	4.2400	0.76	15.20	8.82	100.92
			R2	140.36	103.23	91.93	26.45	1.12	5.0	4.2300	0.77	15.40	8.93	100.31
			R3	143.05	102.34	91.93	28.46	1.11	5.0	4.2300	0.77	15.40	8.93	99.44
	4	10	R1	126.87	102.97	91.93	18.84	1.12	5.0	4.16	0.84	16.80	9.74	109.15
			R2	127.20	93.99	91.93	26.11	1.02	5.0	4.14	0.86	17.20	9.98	102.01
			R3	126.54	102.7	91.93	18.84	1.12	5.0	4.17	0.84	16.70	9.69	108.22
		20	R1	133.76	96.75	91.93	27.67	1.05	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	100.12
			R2	140.02	101.62	91.93	27.42	1.11	5.0	4.17	0.83	16.60	9.63	106.44
			R3	146.29	104.19	91.93	28.78	1.13	5.0	4.15	0.85	17.00	9.86	111.76
		30	R1	139.94	102.92	91.93	26.45	1.12	5.0	4.24	0.76	15.20	8.82	98.71
			R2	137.34	99.62	91.93	27.46	1.08	5.0	4.22	0.78	15.60	9.05	98.06
			R3	141.28	101.41	91.93	28.22	1.10	5.0	4.25	0.75	15.00	8.70	95.98
	5	10	R1	137.80	100.29	91.93	27.22	1.09	5.0	4.1400	0.86	17.20	9.98	108.84
			R2	130.19	96.39	91.93	25.96	1.05	5.0	4.17	0.83	16.60	9.63	100.96
			R3	129.73	96.4	91.93	25.69	1.05	5.0	4.18	0.82	16.40	9.51	99.75
		20	R1	138.42	102.56	91.93	25.91	1.12	5.0	4.21	0.79	15.80	9.16	102.25
			R2	139.89	101.83	91.93	27.21	1.11	5.0	4.19	0.81	16.20	9.40	104.09
			R3	144.00	104.82	91.93	27.21	1.14	5.0	4.17	0.83	16.60	9.63	109.79
		30	R1	140.57	103.48	91.93	26.39	1.13	5.0	4.24	0.76	15.20	8.82	99.25
			R2	138.98	100.92	91.93	27.39	1.10	5.0	4.25	0.75	15.00	8.70	95.52
			R3	135.60	100.02	91.93	26.24	1.09	5.0	4.24	0.76	15.20	8.82	95.93