



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“EVALUACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN EL
ECOSISTEMA DE PÁRAMO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO
CHIMBORAZO EN BASE A LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
Previo a la obtención del título de
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: GABRIELA ANDREA ROSERO OBANDO

ASESORA: DRA. MAGDY M. ECHEVERRÍA GUADALUPE.

RIOBAMBA-ECUADOR

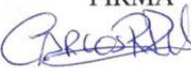
2019

©2019, Gabriela Andrea, Rosero Obando

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Investigación **“EVALUACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN EL ECOSISTEMA DE PÁRAMO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIMBORAZO EN BASE A LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS.”** de responsabilidad de la señorita GABRIELA ANDREA ROSERO OBANDO, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<u>15/02/2019</u>
Dra. Magdy M. Echeverría Guadalupe DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		<u>15/02/2019</u>
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MIEMBRO DEL TRIBUNAL		<u>15/02/2019</u>

Yo, GABRIELA ANDREA ROSERO OBANDO soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



.....
Gabriela Andrea Rosero Obando

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido crecer rodeada por una hermosa familia y conocer personas que han contribuido en mi desarrollo académico.

A mis padres, Egner y Manuela, que han sabido guiarme con amor y firmeza toda la vida.

A mis hermanos, por ayudar a forjar mi carácter y personalidad.

Gaby

AGRADECIMIENTO

El más sincero y gratificante agradecimiento a mis amados padres, por todo el sacrificio y empeño que han puesto en mí para ayudarme a cumplir cada meta que me he trazado.

A mi inigualable familia, que supo motivarme y acompañarme durante mi carrera estudiantil.

A mis asesoras, Magdy Echeverría y Liette Vasseur, por sus buenas enseñanzas y por haberme permitido formar parte de un grupo de investigación (GIDAC) con una gran trayectoria e investigadores destacados.

A mis estimados gorditos, porque sin ellos mi vida politécnica no hubiese sido la misma, en especial a mi equipo GIDAC por su inmenso soporte.

A mis increíbles amigas, Ale y Jenn, porque hemos permanecido siempre juntas.

A Carlos, mi flaquito querido, por su gran amor y motivación.

Gaby

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pp
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1 Páramo	5
1.1.1 Tipos de páramo.....	6
1.1.2 Formaciones vegetales de páramo	7
1.1.3 Suelo	10
1.1.4 Actividades antrópicas	11
1.2 Servicios ambientales.....	12
1.2.1 Carbono Orgánico del Suelo.....	13
2 MARCO METODOLÓGICO.....	14
2.1 Área de estudio	14
2.1.1 Ubicación geográfica y topografía.....	15
2.1.2 Demografía	16
2.2 Tipo y diseño de la investigación.....	17
2.2.1 Según el enfoque de estudio	17
2.2.2 Según el área de estudio.....	17
2.2.3 Según el método usado	18
2.3 Hipótesis	18
2.3.3 Variables	18
2.4 Población de estudio	19
2.5 Muestra	19
2.5.1 Tamaño de la muestra	19
2.5.2 Diseño experimental	21
2.5.3 Selección de la muestra.....	21

2.5.4 Muestreo	23
2.6 Materiales y Equipos.....	24
2.7 Toma de muestras	31
2.8 Análisis de laboratorio	32
2.8.1 pH y Conductividad	33
2.8.2 Humedad y Densidad aparente	34
2.8.3 Color	36
2.8.4 Estructura y textura	36
2.8.5 Secado y tamizado	38
2.8.6 Materia Orgánica	38
2.8.7 Carbono Orgánico	40
2.9 Encuestas y entrevistas	41
2.9.1 Análisis social de la Parroquia San Juan.....	42
2.9.2 Determinación de la población de estudio	42
2.9.3 Información del PDOT	43
3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS	44
3.1 Análisis de laboratorio	44
3.1.1 Conductividad y pH	44
3.1.2 Propiedades organolépticas.....	46
3.1.3 Humedad y Densidad aparente	49
3.1.4 Materia Orgánica	51
3.2 Análisis Estadístico.....	54
3.3 Análisis sociocultural.....	58
3.3.1 Resultados de las encuestas.	58
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

C	Carbono
CE:	Conductividad Eléctrica
CO:	Carbono Orgánico.
CO₂:	Dióxido de Carbono.
COS:	Carbono Orgánico del Suelo.
Da:	Densidad aparente
EEA-INTA:	Estación Experimental Agropecuaria San Juan - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
ESPOCH:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
GADP:	Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial.
GIDAC:	Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático.
GPS:	Global Positioning System
INEC:	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
INIA:	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Uruguay)
LOI:	Loss on ignition (Pérdida por ignición)
MAE:	Ministerio de Ambiente del Ecuador.
MO:	Materia Orgánica.
m s. n. m.:	metros sobre el nivel del mar.
n:	Tamaño de la muestra
PEA:	Población Económicamente Activa.
pH:	Potencial de Hidrógeno.
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
RPFCH	Reserva de Producción de Fauna Chimborazo
SIG:	Sistema de Información Geográfica
YR:	Amarillo-Rojo

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Coordenada geográficas de los conglomerados.....	22
Tabla 2-2: Principales texturas del suelo.....	37
Tabla 3-2: Porcentaje de Materia Orgánica en el suelo.....	38
Tabla 4-2: Proyección de la población total de la Parroquia San Juan	42
Tabla 5-2: Datos socioculturales de la Parroquia San Juan.....	43
Tabla 1-3: Resultados de pH.	44
Tabla 2-3: Resultados de Conductividad eléctrica.	45
Tabla 3-3: Interpretación de resultados de color.	46
Tabla 4-3: Interpretación de los resultados de textura.	47
Tabla 5-3: Interpretación de los resultados de estructura.	48
Tabla 6-3: Resultados de Humedad.	49
Tabla 7-3: Resultados de Densidad aparente.	50
Tabla 8-3: Resultados de Materia Orgánica.	51
Tabla 9-3: Resultados de COS.	52
Tabla 10-3. Determinación de COS en mg/ha	53
Tabla 11-3: ADEVA de dos factores.	57
Tabla 12-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 1.	58
Tabla 13-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 2.	59
Tabla 14-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 3.	59
Tabla 15-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 4.	60
Tabla 16-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 5.	61
Tabla 17-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 6.	61
Tabla 18-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 7.	62
Tabla 19-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 8.	62
Tabla 20-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 9.	63
Tabla 21-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 10.	64
Tabla 22-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 11.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Estructura del conglomerado.....	24
Figura 2-2: Barreno para muestreo de suelos.....	24
Figura 3-2: Materiales para muestreo a) espátulas, b) flexómetro, c) martillo.	25
Figura 4-2: Fundas Ziploc para muestras.....	26
Figura 5-2: Recipientes volumétricos para análisis de laboratorio.	26
Figura 6-2: Cera de parafina.....	27
Figura 7-2: Crisoles en un desecador.	27
Figura 8-2: Modelo de GPS.	28
Figura 9-2: Balanza Analítica	28
Figura 10-2: pH-metro de mesa	29
Figura 11-2: Conductímetro	29
Figura 12-2: Estufa.....	30
Figura 13-2: Reverbero eléctrico.....	30
Figura 14-2: Horno mufla	30
Figura 16-2: Clasificación de las muestras en el laboratorio.	32
Figura 17-2: Medición de pH.....	33
Figura 18-2: Medición de conductividad.	34
Figura 19-2: Pesado de terrones.....	35
Figura 20-2: Terrones bañados en parafina líquida.....	35
Figura 21-2: Análisis de color.....	36
Figura 22-2: Principales estructuras del suelo.....	37
Figura 24-2: Preparación de muestras para MO.....	39
Figura 25-2: Análisis de MO por el método LOI.....	39
Figura 26-2: Diálogo con los pobladores de la Parroquia San Juan.....	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Delimitación de Microcuencas de los ríos Chimborazo y Calera.....	15
Gráfico 2-2: Mapa de Ubicación de la Microcuenca del Chimborazo.....	16
Gráfico 3-2: Porcentaje de la PEA de la Parroquia San Juan.....	17
Gráfico 4-2: Microcuencas de la Parroquia San Juan.	19
Gráfico 5-2: Mapa de Usos de suelo de la Microcuenca de Chimborazo.	20
Gráfico 6-2: Mapa de curvas de nivel de la Microcuenca del Río Chimborazo.	21
Gráfico 7-2: Puntos de Muestreo	23
Gráfico 1-3: Resultados de pH.	44
Gráfico 2-3: Resultados de CE.....	45
Gráfico 3-3: Resultados de color.....	47
Gráfico 4-3: Resultado de textura.	48
Gráfico 5-3: Resultado de estructura.....	49
Gráfico 6-3: Resultados de Humedad.	50
Gráfico 7-3: Resultados de Densidad aparente.	51
Gráfico 8-3: Resultados de Materia Orgánica.....	52
Gráfico 9-3: Resultados de Carbono Orgánico.	53
Gráfico 10-3. Contenido de COS en mg/ha.	54
Gráfico 11-3: Efectos principales para el %CO	55
Gráfico 12-3: Interacción del porcentaje de CO	56
Gráfico 13-3: Análisis de efectos estandarizados.....	57
Gráfico 14-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 1.	58
Gráfico 15-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 2.	59
Gráfico 16-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 3.	59
Gráfico 17-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 4.	60
Gráfico 18-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 5.	61
Gráfico 19-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 6.	61
Gráfico 20-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 7.	62
Gráfico 21-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 8.	62
Gráfico 22-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 9.	63
Gráfico 23-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 10.	64
Gráfico 24-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 10.	64

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A. Volcán Chimborazo visto desde la vía Chimborazo-Guaranda
- Anexo B. Nacimiento de Río Chimborazo
- Anexo C. Modelo de etiquetas para rotular las fundas Ziploc
- Anexo D. Páramo de pajonal
- Anexo E. Muestreo en pastizales.
- Anexo F. Muestreo en cultivos de ajo.
- Anexo G. Muestreo en cultivos de papa.
- Anexo H. Toma de muestras en el páramo de pajonal.
- Anexo I. Equipo de trabajo.
- Anexo J. Clasificación de las muestras en el laboratorio.
- Anexo K. Medición de conductividad.
- Anexo L. Secado de muestras
- Anexo M. Medición del volumen desplazado
- Anexo N. Pesaje de muestras para análisis de pH.
- Anexo O. Preparación de la mufla para análisis de M.O.
- Anexo P. Tamizado de muestras.
- Anexo Q. Aplicación de encuestas.

RESUMEN

Se evaluó el Carbono Orgánico del Suelo (COS) en la Microcuenca del Río Chimborazo en base a las actividades antrópicas (agricultura y pastoreo). Se recolectaron dos muestras de 1 kg de suelo a dos profundidades: 0-30 cm y 30-60 cm (protocolo GIDAC) de acuerdo con el diseño experimental mixto (78 muestras combinadas en total), se analizaron las propiedades fisicoquímicas, organolépticas, Materia Orgánica (MO), y mediante el método de combustión directa se estimó el contenido de COS. Mediante el análisis estadístico multivariado se evaluó la importancia de las variables en la salud del ecosistema alto andino; se aplicaron las técnicas de entrevista, encuesta, fotografía y revisión literaria para la obtención de información sobre las actividades antrópicas desarrolladas en la Microcuenca. Los resultados indican que: los suelos tienen un pH desde fuertemente ácido hasta neutro (5-7) según el manual internacional de fertilidad de suelos, una conductividad eléctrica promedio de 58,82 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estructura granular, textura franco-arenosa (principalmente), humedad relativa aproximada del 20%, densidad aparente de 1,26 g/mL y un contenido de MO de 4,88%. Los suelos con intervención antrópica mostraron un aumento en el contenido de COS con respecto al páramo no intervenido, posiblemente debido al aporte de MO proporcionado por la deposición del ganado y la adición de nutrientes en los cultivos. El ADEVA indicó que las actividades antrópicas y la profundidad del suelo influyen de forma significativa en el contenido de COS ($p < 0,05$) (a medida que la profundidad del suelo aumenta el COS disminuye). En conclusión, el ecosistema alto andino puede estar seriamente afectado por los cambios en el uso del suelo.

Palabras claves:

BIOTECNOLOGÍA, CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO, ECOSISTEMA ALTO ANDINO, ACTIVIDADES ANTRÓPICAS, USOS DE SUELOS.

SUMMARY

Soil Organic Carbon (SOC) was evaluated in the Chimborazo River Microbasin based on anthropic activities (agriculture and grazing). Two samples of 1 kg of soil were collected at two depths: 0-30 cm and 30-60 cm (GIDAC protocol) according to the mixed experimental design (78 combined samples in total), the Organic Matter (OM), physicochemical and organoleptic properties were analyzed, the SOC content was estimated through the direct combustion method. The importance of the variables in the health of the High Andean Ecosystem was evaluated through the multivariate statistical analysis; the techniques of interview, survey, photography and literary revision were applied to obtain information about anthropic activities developed in the Microbasin. The results indicate: the soils have a pH from strongly acid to neutral (5-7) according to the international soil fertility manual, an average electric conductivity of 58,82 $\mu\text{S}/\text{cm}$, granular structure, sandy-loam texture (mainly), approximate relative humidity of 20%, bulk density of 1,26 g/mL and OM content of 4,88%. Soils with anthropic intervention showed an increase in the SOC content with respect to the non-intervention paramo, possibly due to the contribution of OM provided by the deposition of the cattle and the addition of nutrients in the farming. The ANOVA indicated that anthropic activities and soil depth significantly influence the SOC content ($p < 0,05$) (the SOC decreases when the depth of the soil increases). In conclusion, the High Andean Ecosystem can be seriously affected by changes in land use.

Keywords:

BIOTECHNOLOGY, SOIL ORGANIC CARBON (SOC), HIGH ANDEAN ECOSYSTEM, ANTHROPIC ACTIVITIES, LAND USES.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El incremento en la concentración atmosférica de CO₂ en un 31% desde 1750 ha sido producido por un estimado de emisiones globales de carbono (C) de 270 ± 30 Pg (Pg = petagramo = 1 billón de toneladas) debido a la combustión de combustibles fósiles y 136 ± 55 Pg debido al cambio de uso de suelo. Hay cinco grupos principales de C globales: la reserva oceánica es la más grande, seguida por la reserva geológica, pedológica (suelo), biótica y la atmósfera. Todas estas reservas están interconectadas y el C circula entre ellas. El conjunto pedológico o C del suelo comprende dos componentes: reserva de carbono orgánico del suelo (COS) y carbono inorgánico del suelo (CIS). La reserva de CIS es especialmente importante en los suelos de las regiones secas. La concentración de COS es baja en los suelos de las regiones áridas, alta en los suelos de las regiones templadas, y extremadamente alta en los suelos orgánicos o de turba. Con frecuencia, los términos COS y materia orgánica en el suelo MOS, se usan de forma intercambiable, entendiendo que el COS, es aproximadamente un 58% de la MOS (Lal, 2004, p.2).

Las reservas globales de carbono orgánico en el suelo (COS) en la capa superior del suelo es decir de 0 a 30 cm y en el subsuelo de 30 a 100 cm, se han estimado en 699 Pg y 719 Pg respectivamente. Las reservas de COS a 1 m de profundidad son casi 1,9 veces del tamaño de la reserva de carbono (C) atmosférico (760 Pg) y 2,5 veces el tamaño de la reserva biótica de C (560 Pg) (Chen y Arrouays, 2018). El potencial de secuestro de COS es finito en magnitud y duración; aunque existen aspiraciones de alcanzar un incremento del 4% en la captura de carbono por milla en todo el mundo con el fin de compensar las emisiones de origen antropogénico, el potencial de secuestro anual de COS es de solo $0,9 \pm 0,3$ Pg C/año. La concentración atmosférica de CO₂ a la tasa observada de 1990 (3,2 Pg C/año) continuará aumentando a la tasa de 2,0–2,6 Pg C/año, incluso con el secuestro de C del suelo. Sin embargo, solo el cambio radical en el uso de suelo junto con una tecnología mejorada de secuestro de C tiene el potencial de mitigar el cambio climático (Lal, 2004) (Minasny y otros., 2017, p.10; White y otros., 2018, p.8).

Los andosoles cubren un área aproximada de 91 Mha (1% del suelo libre de hielo del planeta), formando la mayoría de suelo de los Andes; tiene una densidad y reservas de SOC de 220 ton/ha y 20 Pg respectivamente (Eswaran et al., 2000, p.2). Por otra parte, aunque el área de humedales que se encuentran en los páramos andinos corresponde a aproximadamente $0,35 \times 10^9$ ha, su densidad de SOC es 643 ton C/ ha, constituyéndose como la más alta de todos los ecosistemas superando por casi dos veces al valor máximo de los bosques boreales (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000, p.11).

Arrouays, D. (2018), estudiaron bases de datos de las reservas de COS en los Alpes, los Andes, la meseta del Tíbet, y las Montañas Rocosas. Luego de tomar en cuenta la inclinación del terreno para el cálculo del COS, concluyen que las reservas de carbono están subestimadas en las regiones montañosas, debido a que el área superficial se incrementa a medida que la pendiente es mayor, y sugiere que los datos obtenidos deben ajustarse con un incremento de 11,24 % y 11,01 % del valor original calculado para la capa superficial o del subsuelo respectivamente. Los valores de ajuste antes mostrados son el segundo y tercero más alto de todos los valores analizados, lo cual demuestra el gran potencial de almacenamiento de C de los páramos andinos.

Montes-Pulido, C. y otros. (2017) estudiaron las variaciones del suelo de pH, fósforo, aluminio, densidad aparente, captura de carbono, entre otras en dos sitios: páramo de frailejones y cultivo de papas (*Solanum tuberosum L.*). Se tomaron muestras a diferentes profundidades: 0-25, 25-50 y > 50 cm del suelo. Los promedios del COS bajo la cobertura vegetal natural fueron: 188 ton/ha a 25 cm, 183 ton/ha a 50 cm, y 178 ton/ha a profundidades del suelo inferiores a 50 cm. Para los cultivos de papa (*Solanum tuberosum L.*), el secuestro del COS fue: 119 ton/ha a 25 cm, 83 ton/ha a 50 cm, y 71,8 ton/ha a profundidades del suelo inferiores a 50 cm. Las fracciones de COS encontradas bajo la influencia de la vegetación natural y el suelo de cultivo de papa en esta investigación en el páramo de Sumapaz, Colombia están en concordancia con las que se encuentran en otros estudios de páramos en América del Sur. Entre ellos, Echeverría, M. y otros (2018) analizaron la cantidad de COS en el páramo de Igualata en Ecuador tomando en cuenta factores tales como altitud, punto de muestreo, llegando a la conclusión que el contenido de C se incrementa con la altitud y disminuye con la profundidad del suelo. El contenido promedio de COS a 0,70 m fue de 377,69 ton/ha que es mayor al hallado en otros lugares del país que corresponden a bosques tropicales (Echeverría y otros., 2018, p.2).

Por lo tanto, existe evidencia de que el COS depende de la cobertura vegetal y de las actividades antrópicas (agricultura, pastoreo, quema, etc.) existiendo una reducción de hasta el 50% en suelos intervenidos (Montes-Pulido y otros., 2017, p.9). El cultivo de papa y el pastoreo de ganado, pueden generar altas pérdidas de carbono orgánico en el suelo; cuando el suelo de la superficie del ecosistema del páramo está bajo la influencia de la labranza, se rompe los agregados del suelo, especialmente los de más de 250 mm. Esto aumenta la velocidad de descomposición y la transformación de la materia orgánica del suelo debido al proceso de oxidación y reduce las barreras físicas que protegen la materia orgánica del suelo de la acción microbiana y enzimática (Zotarelli y otros., 2007, p.11).

Problema

La capacidad de regulación del agua y la acumulación de carbono orgánico pueden verse irreversiblemente dañadas por la intensificación de la actividad humana en el Páramo. Los suelos con alta materia orgánica también configuran el servicio ambiental de almacenamiento de carbono (Castro, 2010, p.33). Aunque se han llevado a cabo algunos estudios de COS en los Andes de Ecuador, aún no existen datos suficientes para poder cuantificar la cantidad de C en los suelos, dependiendo de la cobertura vegetal. El proyecto “Soil Organic Carbon Evaluation and Sequestration in Ecuadorian Paramo Ecosystems” pretende evaluar y cuantificar el COS en la cuenca del Rio Chambo. En una primera fase, se requiere evaluar contenido de COS en la microcuenca del Rio Chimborazo, en dependencia de las actividades antrópicas debido al cambio en el uso de suelo. Las poblaciones humanas habitantes en los páramos ecuatorianos mantienen una interrelación con la flora, la fauna, y los factores ambientales; debido a estas relaciones es apropiado que dichas poblaciones formen parte de las investigaciones realizadas en los ecosistemas de páramo ecuatoriano, con lo cual se pretende conocer:

¿Cómo las actividades antrópicas intervienen en el contenido de carbono orgánico en el suelo de Páramo?

Justificación

Las poblaciones indígenas que habitan en los páramos ecuatorianos se enfrentan a condiciones ambientales extremas e involucran el uso del suelo de este ecosistema, debido al desarrollo de actividades económicas que mantienen en el mismo, y al beneficio indirecto que reciben del medio ambiente, como lo es el contenido de carbono orgánico del suelo.

El Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC-ESPOCH) estudia las condiciones de páramo en las que viven las poblaciones indígenas y se encarga de desarrollar bases científicas y tecnológicas de innovación y saberes ancestrales para la aplicación de las Energías Alternativas y protección Ambiental que benefician a dichas poblaciones.

El evitar la emisión de CO₂ contribuye a la regulación de gases y disminuir el efecto invernadero, por lo tanto, la profundización del cambio climático. Es apropiado que las poblaciones formen parte de la investigación para conocer cómo las actividades humanas intervienen en el contenido de carbono orgánico en el suelo.

Las comunidades indígenas procuran tener franjas de páramo verticales divididas en dos o tres pisos altitudinales, utilizando los más bajos para la siembra de productos tales como maíz, habas, papas, etc.; los más altos se utilizan para el pastoreo y como fuentes de agua. El crecimiento

demográfico ha creado una presión por las tierras (que obliga la expansión de la frontera agrícola) entre las familias indígenas, quienes intentan recrear parcelas agrícolas en el páramo.

Esta investigación desarrollada conjuntamente con el GIDAC usa estrategias para identificar y cuantificar las actividades desarrolladas en el páramo y evaluar el servicio ambiental Carbono Orgánico del Suelo, usando metodologías cualitativas y cuantitativas para la medición de diversas variables, y metodologías para incluir resultados con el componente social de las comunidades.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar el carbono orgánico del suelo en el ecosistema de páramo de la Microcuenca del Río Chimborazo en base a las actividades antrópicas.

Objetivos Específicos:

- Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo en el ecosistema de páramo perteneciente a la Microcuenca del Río Chimborazo.
- Estimar el almacenamiento de COS entre la cobertura natural de páramo versus las zonas con intervención antropogénica en los primeros 60 cm del suelo perteneciente a la Microcuenca del Río Chimborazo.
- Explicar cómo las actividades antrópicas influyen en el contenido de COS en la Microcuenca del Río Chimborazo.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Páramo

El páramo es un concepto europeo (significa meseta desértica y árida batida por el viento) aplicado a un bioma tropical, dice Hofstede, et al., (2014, p.13). Los parámetros de la civilización europea dieron nombre nuevo a las altas montañas ecuatoriales. Este origen europeo del concepto “páramo” se mezcló con el concepto “urku” (Ecuador) o “jalca” (Perú) que los pueblos americanos manejan para sus cerros. Entonces, el concepto páramo es tan complejo que es difícil definirlo.

Tomando la definición de los autores citados anteriormente se define al páramo como: un ecosistema, un bioma, un paisaje, un área geográfica, una zona de vida, un espacio de producción e inclusive un estado del clima.

La definición más amplia: *“un ecosistema húmedo tropical zonal, caracterizado por una vegetación dominada por vegetación herbácea y arbustiva, y ubicada predominantemente a partir del límite superior del bosque”*, descrita por Hofstede, et al., (2014, p.13).

Estos mismos autores mencionaron que fenómenos como la existencia de gradientes complejos entre bosque y páramo, la dinámica temporal del límite de bosque y la influencia humana que ha modificado el páramo, hacen que la aplicación de la definición en el campo sea difícil y su delimitación precisa, una tarea compleja.

En Ecuador los páramos se ubican a lo largo de las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes. Se extienden desde el límite con Colombia al norte hasta el límite con Perú al Sur. La Cordillera Oriental tiene la mayor extensión de páramo, formando un complejo prácticamente sin interrupción desde Carchi hasta Cañar (Hofstede, et al., 2014, pp.12-13).

El páramo es un ecosistema relativamente joven, por lo que puede considerarse el más reciente de los ecosistemas constituidos en el contexto de los Andes. Aunque el levantamiento de los

Andes empezó desde hace 40 millones de años, fue recién en el Mioceno, hace unos 10 millones de años, que la cordillera andina empezó a tomar forma y diferentes macizos se conectaron entre sí (Hofstede, et al., 2014, pp.12-13).

1.1.1 *Tipos de páramo*

Las condiciones climáticas de los páramos del Ecuador varían entre los páramos secos, como los del Chimborazo con precipitaciones de alrededor de 600 mm anuales, y páramos húmedos en la vertiente oriental de la Cordillera Real con precipitaciones mayor a 3000 mm. La clasificación bioclimática ha dado origen a una variedad de ecosistemas, clasificando a los páramos en: secos, húmedos, semihúmedos, muy húmedos, superhúmedos y superhúmedos pluviales (Hofstede, et al., 2014, pp.12-13).

La clasificación más aceptada es la de Cuatrecasas, que divide el páramo en subpáramo (la zona de transición entre el bosque montano y el páramo abierto), páramo propiamente dicho (el páramo “típico”, dominado por pajonal-rosetal) y superpáramo (la zona más alta, donde la vegetación escasea por el frío). El Chimborazo posee un páramo de tipo seco sobre arenales (Hofstede, et al., 2014, pp.12-13).

Acotando a lo anterior, en ocasiones los páramos se desarrollan sobre un suelo arenoso resultado de procesos erosivos intensos, como en el caso de los arenales del Chimborazo. Hay una similitud con la vegetación del páramo seco pero la humedad es mayor y la escasez de cobertura vegetal se puede deber más bien a erosión climática y antropogénica.

1.1.1.1 *Subpáramo*

Está caracterizado por el clima ecuatorial frío de alta montaña y el frío de la zona, las precipitaciones son muy abundantes, la vegetación es muy variable, de acuerdo a la latitud en que se encuentren ubicadas las montañas; por lo que puede causar confusión al no diferenciar sus formaciones vegetales. Siempre está por encima de los 3000 m. Las temperaturas máximas raramente superan los 20 °C, y los promedios anuales, fluctúan casi siempre entre 4 y 8 °C (Pouwut, et al., 2013, p.23).

1.1.1.2 *Páramo “típico”*

Está caracterizado por el clima ecuatorial frío semihúmedo alta montaña y por la variación del clima de acuerdo a la altitud, es decir que este tipo de páramo es el que se extiende mayormente a lo largo de la microcuenca. Las temperaturas medias anuales generalmente oscilan entre 12 y

20 °C. Es el más extenso y responde de manera común a la idea que se tiene del páramo. Los páramos de pajonal se encuentran en todas las provincias del país donde hay este ecosistema y cubren alrededor del 70% de la extensión del ecosistema en el Ecuador (Medina & Mena Vásquez, 2001, p.21).

1.1.1.3 *Superpáramo*

Está caracterizado por el clima ecuatorial frío seco de alta montaña, donde la evaporación excede a la precipitación, por lo que ésta no es suficiente para alimentar corrientes de agua permanentes. Este se desarrolla en las montañas más altas, donde pocas especies vegetales pueden sobrevivir a las condiciones edáficas y climáticas sobre los 4200 metros (Mena Vásquez & Hofstede, 2006, p.4).

El "súper páramo" o "arenal" se encuentra en las cimas de los montes más altos. Las condiciones climáticas se parecen superficialmente a las tundras templadas, donde únicamente las plantas más resistentes al frío, la desecación fisiológica y el viento pueden sobrevivir (Medina & Mena Vásquez, 2001, p.21). Aunque pareciera que carecen de vegetación, algunas plantas, como *Nototriche hartwegii* y *Valeriana henricii*, se han adaptado a crecer directamente en la arena o en grietas.

1.1.2 *Formaciones vegetales de páramo*

De acuerdo con el sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador Continental, el ecosistema páramo puede clasificarse de la siguiente manera.

1.1.2.1 *Bosque siempreverde montano alto y montano alto superior de páramo*

Este ecosistema tiene un clima pluvial a pluviestacional, que va de húmedo a hiperhúmedo y está formado por bosques siempreverdes, con alturas entre 5 y 7 m, que por efectos de las condiciones climáticas crecen de forma torcida y ramificada, confiriéndoles un aspecto muy particular. El piso al igual que los troncos suelen estar cubiertos por briofitas.

La variación altitudinal está comprendida desde los 3200 hasta 3900-4100 msnm en el norte, y hasta los 2900-3300 msnm en el sur de la región de los Andes. La vegetación es reducida en muchos casos por acción antrópica por efecto del fuego y extracción de madera (MAE, 2012, pp.66-68).

1.1.2.2 *Rosetal caulescente y herbazal montano alto y montano alto superior de páramo (frailejones)*

La Cobertura de este ecosistema es de arbustales y frailejonales entre 1 y 3 m de altura, a menudo dominada por caulirrosulados de un solo tallo de hasta 10 m, con matorrales y gramíneas amacolladas intercaladas. Su clima es pluvial, entre húmedo e hiperhúmedo y su relieve de montaña posee laderas, fondos de valles glaciares, circos glaciares y crestas con suelos medianamente a bien drenados. Presenta una variación altitudinal desde 3350 hasta 4000-4100 m s. n. m. (MAE, 2012, pp.66-68).

1.1.2.3 *Herbazal inundable montano alto y montano alto superior de páramo*

El bofedal o herbazal lacustre, como es conocido, es un ecosistema azonal en el que las condiciones edáficas o microclimáticas tienen una mayor influencia sobre la vegetación. Su clima pluvial va de húmedo a hiperhúmedo y se encuentran a una altitud comprendida entre 3300-4500 m s. n. m. Con un relieve general de montaña y planicies inundables, los suelos de este ecosistema se caracterizan por tener condiciones anaeróbicas que inhiben la descomposición de materia orgánica, y por lo tanto promueven la formación de suelo con porcentajes de carbono orgánico de hasta el 50%. El drenaje y el pisoteo vacuno generan eutrofización, alteración de las propiedades físico-químicas del suelo y una conversión del ecosistema a páramo herbáceo no inundado (MAE, 2012, pp.66-68).

1.1.2.4 *Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo*

Este tipo de ecosistema abarca la mayor extensión de los ecosistemas de montaña en el Ecuador, es conocido también como páramo herbáceo debido a su cobertura, cuenta con un clima pluvial hiperhúmedo y un relieve de montaña acompañado de planicies y colinas, su variación altitudinal va de 3400-4300 m s. n. m. en el norte y de 2850-3900 m s. n. m. en el sur. Se caracteriza por tener suelos ricos en materia orgánica que puede alcanzar los 60 kg C/m² (MAE, 2012, pp.66-68).

Factores como el clima, la historia geológica, la diversidad de hábitats junto con la influencia humana configuran la diversidad de la biota del páramo a escalas locales y del paisaje. En lugares donde existe una mayor intensidad en las quemadas y el pastoreo, los herbazales tienen una menor altitud, han perdido biomasa, el estrato arbustivo está ausente y muchas de las especies rastreras son escasas (MAE, 2012, pp.66-68).

1.1.2.5 *Herbazal y arbustal montano alto y montano alto superior de páramo*

Con una cobertura arbustiva y herbácea, este ecosistema tiene un clima pluvial entre húmedo e hiperhúmedo, particularmente su relieve es de montaña con dos rangos de altitudes que van de norte a sur, siendo de 3300-3900 m s. n. m. para la primera y 2800-3600 m s. n. m. para la segunda. Este ecosistema se encuentra muy restringido a causa de la quema, pastoreo o por el crecimiento de la frontera agrícola. En particular, en los flancos interiores de la cordillera (hacia los valles interandinos) (MAE, 2012, pp.66-68).

1.1.2.6 *Herbazal húmedo montano alto superior de páramo*

Este ecosistema posee una cobertura herbácea con un bioclima pluvial que va desde húmedo a hiperhúmedo y está comprendido entre los 3500 y 4100-4200 m s. n. m. Ostenta un relieve general de montaña con ligeras planicies y formaciones de valle, es conocido también como páramo seco.

La concentración de carbono orgánico en el suelo es menor que en los páramos húmedos debido a la estacionalidad marcada y a la humedad relativamente baja de este ecosistema, esto lo hace más frágil y menos resiliente a disturbios causados por actividades humanas. La aridez de la porción noroccidental del Volcán Chimborazo se explica por el sobre pastoreo (MAE, 2012, pp.66-68).

1.1.2.7 *Arbustal siempreverde montano alto superior y subnival de páramo*

Descrito como páramo de almohadillas, este ecosistema tiene una cobertura arbustiva y herbácea, dentro de un clima pluvial que va de hiperhúmedo a ultra-hiperhúmedo, con una variación altitudinal entre los 4100 y 4400-4500 m s. n. m. El ambiente es extremo y se agudiza al aumentar la altura (MAE, 2012, pp.66-70).

Fisonómicamente, este ecosistema puede ser definido como un arbustal esclerófilo semipostrado con una altura entre 0,5 a 1,5 m. Los suelos de este arbustal son andosoles húmicos relativamente bien desarrollados, con un horizonte A de profundidad que varía en promedio entre 30 a 50 cm como producto del volcanismo cuaternario activo y el clima húmedo y frío (MAE, 2012, pp.66-70).

1.1.2.8 *Herbazal húmedo subnival de páramo*

Con una vegetación arbustiva y herbácea, este tipo de páramo posee un clima pluvial de húmedo a hiperhúmedo y una variación altitudinal comprendida entre los 4200-4400 hasta 4500-4900 m s. n. m.; generalmente su relieve es de montaña con laderas de grandes pendientes sobre las cuales

existen depósitos de rocas glaciares, grava y arena. El herbazal húmedo subnival de páramo se encuentra presente en los Illinizas, Pichincha, Cotopaxi y las vertientes occidentales del Antisana y Chimborazo, siendo este el más distinguido. El presente ecosistema correspondería a un superpáramo seco (MAE, 2012, pp.66-70).

1.1.2.9 *Herbazal ultrahúmedo subnival de páramo*

Con una vegetación arbustiva y herbácea, este tipo de páramo posee un clima pluvial de hiperhúmedo a ultra-húmedo y una variación altitudinal comprendida entre los 4400-4500 hasta 4900 m s. n. m; con un relieve de laderas abruptas cubiertas por depósitos de rocas glaciares no consolidadas y junto con arena y grava (MAE, 2012, pp.66-70).

Es tal vez el ambiente más extremo de los trópicos, volviéndose cada vez más duro con el incremento de la altitud. Dentro del grupo de superpáramos muy húmedos, cuatro de ellos crecen en montañas donde el sustrato parental es de origen metamórfico, mientras que la segunda subdivisión agrupa a los páramos húmedos de Cajas, Cayambe, Imbabura y Chimborazo (MAE, 2012, pp.66-70).

1.1.3 **Suelo**

El suelo es la fina capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra (López, 2006, p.3) y constituye el medio en el cual crecen las plantas. Tiene la capacidad de aportar nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y almacenar agua de lluvias cediéndola a las plantas a medida que la necesitan. El suelo se extiende tanto en superficie como en profundidad; consta de varias capas llamadas horizontes, aproximadamente paralelas a la superficie (INIA, 2015, pp.6-16).

La formación de los suelos de páramo solo se inicia 10000 años atrás, con la meteorización (conjunto de procesos externos que provocan la alteración y disgregación de las rocas en contacto con la atmósfera) de roca descubierta al cabo de las últimas glaciaciones, cuando la totalidad de la extensión de páramo estuvo cubierta de hielo. En zonas donde hay volcanismo activo, el suelo tiene que formarse con cenizas volcánicas de edad todavía más reciente. Además, gracias a las bajas temperaturas, el proceso de formación de suelo es lento (Hofstede, et al., 2014, pp.12-13).

Gran parte de los páramos de todo el centro y norte del Ecuador están ubicados sobre volcanes activos, las erupciones de los más de 50 volcanes presentes en los Andes del Ecuador, fueron y son claves en la formación de los suelos del páramo, por tanto los suelos se desarrollaron a partir de la intemperización de cenizas volcánicas a partir de los procesos eruptivos. La formación de

los suelos depende de cuatro factores: el clima, la roca madre, la edad de los suelos y la vegetación (Hofstede, et al., 2014, pp.12-13).

Una de las características más sobresalientes de los páramos son precisamente sus suelos, especialmente por la importancia que han adquirido últimamente como mantenedores primarios del servicio ambiental del páramo: la captación y distribución de agua hacia las tierras bajas (Mena Vásconez & Hofstede, 2006, p.4). Además, este suelo contiene hasta un 50% de MO, es un sumidero de carbono y así contribuye a atenuar los efectos del calentamiento global por causa de la acumulación atmosférica de gases como CO₂.

1.1.3.1 *Propiedades fisicoquímicas del suelo*

Las propiedades físicas del suelo están afines con la capacidad de éste para ofrecer diferentes usos para el provecho del ser humano (Universidad Nacional Autónoma de México, 2010, p.3). Los principales efectos de las propiedades del suelo están asociados con aquellos factores que mejoran la capacidad para el aire y la permeabilidad de los suelos. Estas son: textura, estructura y contenido de materia orgánica (Rucks, et al., 2004, p.49).

1.1.4 *Actividades antrópicas*

Antes de la llegada de los españoles y el tiempo de los obrajes (siglo XVII) las tierras altas se utilizaban principalmente como fuente de servicios ecosistémicos, una producción de subsistencia de productos andinos tales como papas, recolección de leña y caza de conejos de páramo. No obstante, luego de la llegada de los hacendados españoles, esta zona fue utilizada para el pastoreo de ovejas y ganado.

El abuso de abonos en cortos periodos de tiempo, el sobrepastoreo, el monocultivo, la quema del suelo, tecnologías que usan maquinaria pesada sin control y prácticas inadecuadas del manejo de los suelos, determinan la pérdida de C sobre todo en los perfiles superficiales del suelo, de manera principal en la capa de humus del mismo (Coronel Chicaiza, 2016, p.33).

1.1.4.1 *Agricultura*

Los suelos de uso agrícola, cuando son manejados en forma incorrecta tienden a degradarse o en otras palabras a perder su calidad. Este proceso de degradación actúa sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas. La materia orgánica es sin duda el mejor indicador de calidad de un suelo y es sensible o afectada por las prácticas de uso y manejo que realiza el agricultor. En

algunos sistemas agrícolas se pueden utilizar además cultivos de cobertura de corta duración que protegen al suelo de la erosión y producen residuos que alimentan al suelo (INIA, 2015, pp.6-16).

Los andinos siembran en distintas parcelas y en distintos momentos del año para dispersar el riesgo a las heladas y desarrollaron sistemas de alerta temprana para evaluar el día, procediendo a encender fogatas en diversos espacios de la parcela para romper la capa fría atrapada en la parte baja del ambiente; regar todo el campo para modificar la temperatura de la tierra, o hasta medidas ritual-chamanísticas para espantar a la helada con el soplo (fucuy) (Coronel, et al., 2017, pp.1-11).

1.1.4.2 *Ganadería*

El uso del páramo para actividades agropecuarias se vio agudizado por procesos políticos del Estado Colonial, que repartió tierras en zonas altas a mestizos y blancos pobres, quienes las abandonaron aduciendo que eran frías e infértiles; luego fueron entregadas a comunidades indígenas a inicios del siglo XIX. A inicios del siglo siguiente, la hacienda llegó a estancar su producción agropecuaria, lo cual fomentó la expansión de la frontera agrícola.

El proceso de pastoreo llevado a cabo por poblaciones humanas marginadas y carentes de alternativas le quita al páramo lo poco que le queda a un suelo particularmente empobrecido (Mena Vásconez & Hofstede, 2006, p.4). El sobrepastoreo no solo baja el nivel de carbono en el suelo por erosión y desperdicio de biomasa, sino que contribuye al secamiento irreversible del suelo (Amaguaya Llamuca, 2015, pp.16-17).

1.1.4.3 *Deforestación y quema*

Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro uso de la tierra y sus suelos (que contienen cerca del 40% del total del carbono) son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques (Amaguaya Llamuca, 2015, pp.16-17).

1.2 **Servicios ambientales**

Aparte de los usos que pueden prestar varias especies o grupos de especies del páramo, el ecosistema como un todo también genera beneficios para la sociedad, tanto en el páramo mismo como a grupos humanos alejados del páramo pero que lo aprovechan de manera muy importante.

La vegetación también tiene qué ver, de manera tal vez indirecta pero muy importante, con ambos servicios ambientales que han recibido mucha atención en los últimos tiempos: la provisión de agua y la retención de carbono. Son los particulares suelos parameros los que realizan de manera

directa estas funciones, pero la vegetación contribuye tanto en su formación como en su conservación y retención. (Mena Vásquez & Hofstede, 2006, p.13)

1.2.1 *Carbono Orgánico del Suelo*

Dentro de la complejidad que tiene el ciclo del carbono a nivel global, se pueden utilizar prácticas de manejo a nivel agrícola, que reduzcan el CO₂ de la atmósfera incrementando o secuestrando carbono en el suelo (INIA, 2015, pp.6-16).

La materia orgánica del suelo es la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición. Los procesos que aumentan el contenido del COS son la producción de masa, la humificación, la agregación y la deposición de sedimentos, los que disminuyen el COS son la erosión, la lixiviación y la descomposición de materia orgánica (Amaguaya Llamuca, 2015, pp.16-18).

Existe evidencia de que la cantidad de COS depende directamente de la cantidad de MO presente en el suelo; por lo tanto, los cambios en su uso provocan una variación en la cantidad de COS que puede ser absorbida, además de provocar erosión y pérdida de servicios ecosistémicos. El presente trabajo de investigación permitirá cuantificar la diferencia entre el COS en el suelo con distintas coberturas vegetales.

CAPITULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Área de estudio

La Microcuenca del Río Chimborazo tiene un área de 124 km², se encuentra en la RPFCH; no se puede negar que la atracción de la Reserva son las dos altas montañas que protege: el imponente volcán Chimborazo, considerado el nevado más alto de Ecuador, y el Carihuaírazo. El 90% de las aguas de los deshielos van hacia el oriente y el 10% restante al occidente, alimentando al sistema del río Guaranda (ECOLAP y MAE, 2007, pp.151-156).

La Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCH) se ubica en las provincias de Chimborazo, Tungurahua y Bolívar, tiene una extensión de 58560 hectáreas. El Chimborazo es la montaña más alta del Ecuador, con 6310 m s. n. m. destaca entre las elevaciones más importantes. El Río Chimborazo nace desde la cumbre de la elevación antes mencionada y es una de las microcuencas que forman el Río Chambo (Ministerio del Ambiente, 2015, p.1).

La población de la Microcuenca es de 1469 familias y 10355 habitantes (Bustos & Bustos, 2010, p.2) con proyecciones de crecimiento. El 90% de los habitantes son indígenas y hablan Kichwa. La provincia de Chimborazo se encuentra atravesada por dos redes hidrográficas, la del Río Chambo y la del Río Chanchán, cuyas aguas se dirigen hacia el Amazonas y el Océano Pacífico respectivamente (Muñoz, 2008, p.9).

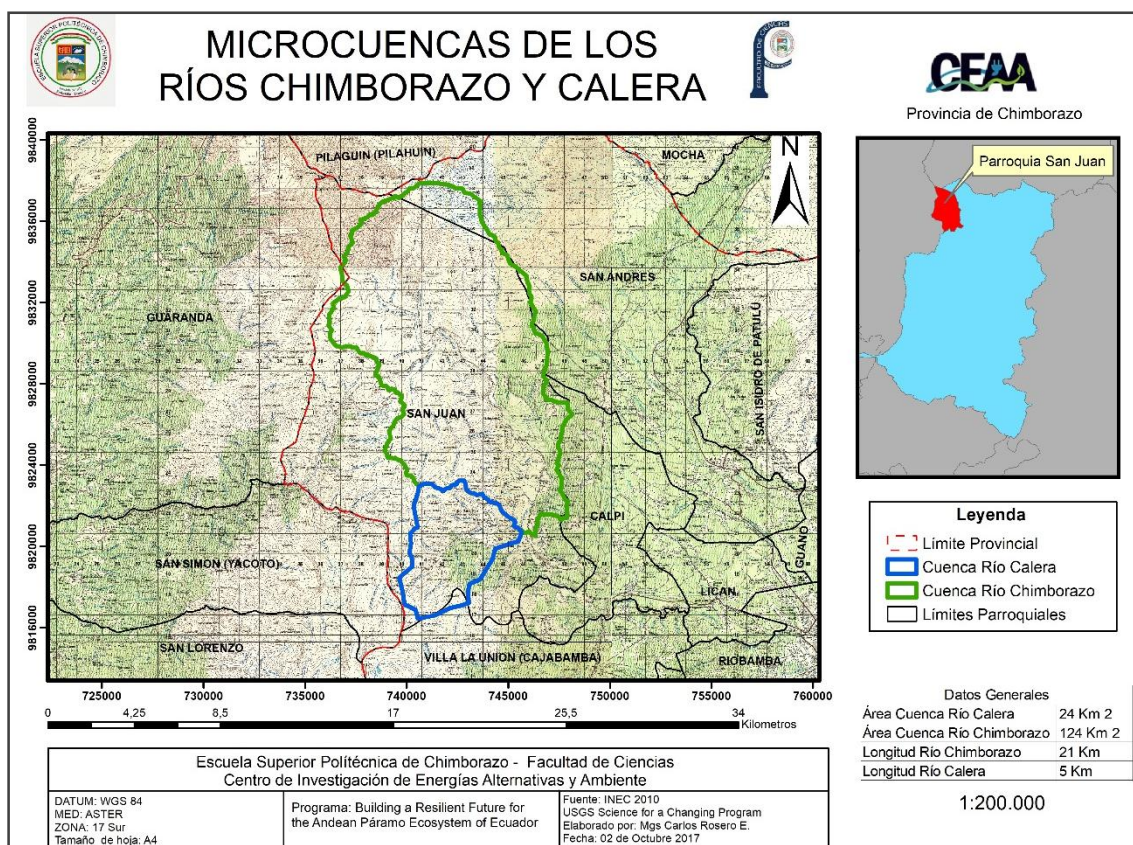


Gráfico 1-2: Delimitación de Microcuencas de los ríos Chimborazo y Calera.

Realizado por: Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático – ESPOCH, 2017

2.1.1 Ubicación geográfica y topografía

La Microcuenca del Río Chimborazo está situada al noreste de la Provincia de Chimborazo, a 18 km de la ciudad de Riobamba y pertenece a la parroquia San Juan. Bustos & Bustos (2010, p.2) citan que, la Microcuenca cuenta con un área de 165,22 km² y su altitud va desde los 3170 m s. n. m. hasta los 5000 m s. n. m. Sus coordenadas son: 9837092,23 - 9814890,79 (latitud) y 735554,19 - 748150,76 (longitud).

El límite político administrativo de la Parroquia San Juan es: al norte con la Provincia de Tungurahua, Parroquia San Andrés, Cantón Guano y el Río Culebrilla; al sur con la Parroquia Villa la Unión, Cantón Colta, Parroquia Calpi, y Río Chimborazo; al este con la Parroquia Calpi, Cantón Riobamba y San Andrés; al oeste con la Provincia de Bolívar (GADP San Juan, 2015, pp.6-7).

La precipitación promedio anual y la temperatura promedio anual son 700 mm y 6 °C, respectivamente. Los primeros 13 km del Río Chimborazo son usados por la planta hidroeléctrica de la Cemento Chimborazo y luego es destinado a riego y consumo humano para diferentes usuarios que se encuentran dentro de la microcuenca y fuera de esta zona (Bustos & Bustos, 2010, p.2).

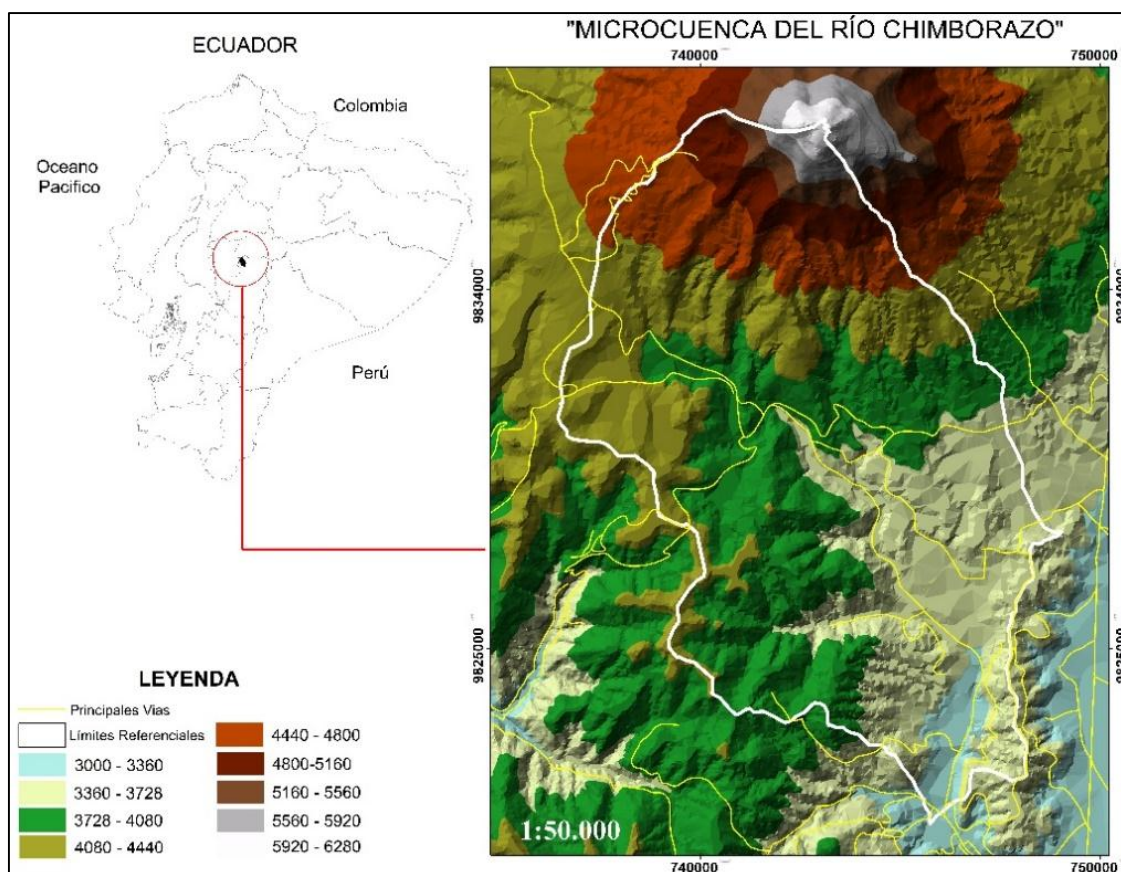


Gráfico 2-2: Mapa de Ubicación de la Microcuenca del Chimborazo

Realizado por: Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático – ESPOCH, 2017

2.1.2 *Demografía*

La población total de la Parroquia Rural San Juan de la provincia de Chimborazo, según datos arrojados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) para el periodo 2010 es de 7370 habitantes, cifra que para el 2015 según las tasas de crecimiento poblacional asciende a 8158 habitantes y para el año 2020 la población crecerá a 8621 habitantes.

La mayor parte de la población de la parroquia San Juan que corresponde al 80,60% es indígena mientras que el 10,31% se auto identifica como mestiza, y el restante 0,99% se auto identifica como blanca; el 0,04% de la población se identifica como montubia, mulato el 0,01%, al igual que afro ecuatoriano el 0,01%, y el 0,03% que corresponde a 2 personas no se identifica con ninguno de estos tipos de etnias.

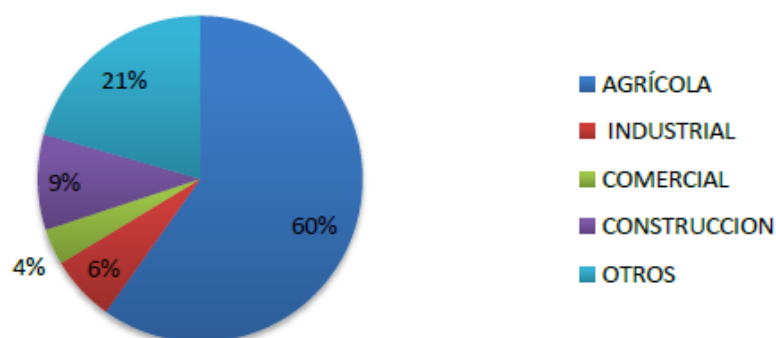


Gráfico 3-2: Porcentaje de la PEA de la Parroquia San Juan.
Fuente: GADP San Juan, 2015

El 60% de la población económicamente activa se dedica a la agricultura por lo que dicha actividad constituye la mayor fuente de ingresos de la parroquia, en contraste la actividad de menor aporte es la comercial apenas representando el 4% de la PEA. Las actividades industriales y de construcción abarcan el 6% y el 9% respectivamente. El 21% restante se dedica a diversas actividades como la docencia o servicios en el sector público o privado (GADP San Juan, 2015, pp.56-70).

2.2 Tipo y diseño de la investigación

2.2.1 Según el enfoque de estudio

2.2.1.1 Cuantitativa

Se realizó una investigación del tipo cuantitativa porque se generaron resultados a partir de varios datos (propiedades fisicoquímicas, tipo de páramo, actividades antrópicas, etc.) evaluados que generaron deducciones y permitieron especificar los parámetros medidos; es decir que se usaron valores numéricos para particularizar los resultados y aceptar o rechazar la hipótesis del problema en cuestión.

2.2.2 Según el área de estudio

2.2.2.1 Descriptiva, correlacional.

La investigación desarrollada es de tipo descriptiva porque se usaron metodologías para detallar las características que corresponden al suelo del ecosistema de páramo perteneciente a la Microcuenca del Río Chimborazo, además de técnicas para particularizar la intervención de las

comunidades en el contenido de COS. Esta investigación también se enfocó en la intervención de las actividades antrópicas, para la correlación de los análisis de laboratorio con la injerencia de los grupos humanos a lo largo de la Microcuenca en cuestión.

2.2.3 *Según el método usado*

2.2.3.1 *Deductivo*

La investigación es de tipo deductiva porque desarrolló conclusiones a partir de magnitudes (CE, pH, MO, COS, etc.) y datos confiables que fueron medidos y tabulados durante el desarrollo de la investigación, además de que la combinación de variables (intervenientes) permitió especificar los resultados para corroborar la hipótesis planteada.

2.3 *Hipótesis*

2.3.1 *Hipótesis nula*

Las actividades antrópicas desarrolladas en la Microcuenca del Río Chimborazo no influyen en el contenido de Carbono Orgánico del Suelo en el ecosistema de páramo.

2.3.2 *Hipótesis de alternativa*

Las actividades antrópicas desarrolladas en la Microcuenca del Río Chimborazo influyen en el contenido de Carbono Orgánico del Suelo en el ecosistema de páramo.

2.3.3 *Variables*

- *Variable dependiente:* Carbono Orgánico del Suelo.
- *Variable independiente:* Actividades antrópicas.

2.4 Población de estudio

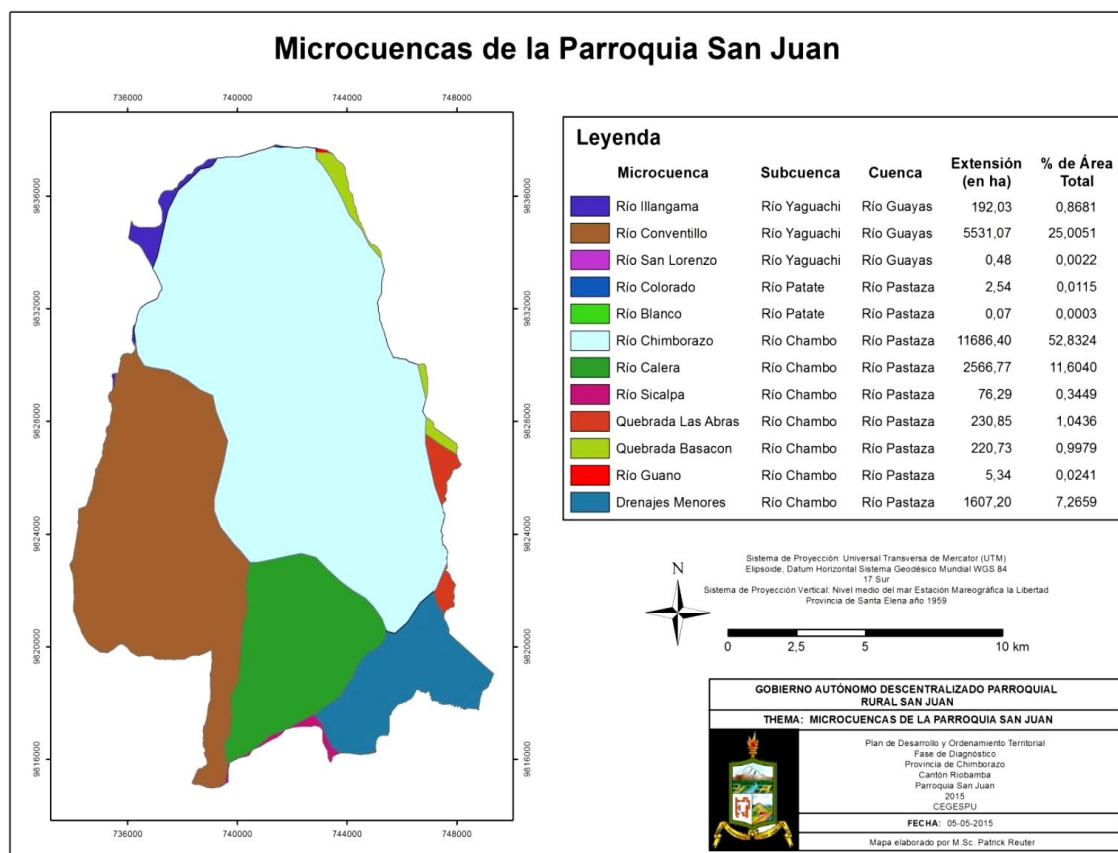


Gráfico 4-2: Microcuencas de la Parroquia San Juan.

Fuente: GADP San Juan, 2015

2.5 Muestra

Se realizó la delimitación del área de estudio dentro de la microcuenca con la ayuda de herramientas de información geográfica para conocer con exactitud el área con que se necesitaba trabajar dentro de la Microcuenca del Río Chimborazo y se determinó el tamaño de la muestra de acuerdo al factor uso de suelo.

2.5.1 Tamaño de la muestra

Para determinar los usos de suelo de la Parroquia de San Juan se utilizó la cartografía proporcionada por el MAE para conocer con certeza el área correspondiente asociada a cada uso de suelo, encontrando los valores de las áreas en los grupos que se muestran a continuación:

- Páramo: Se encontró en mayor proporción con 4309,9 ha

- Cultivos: Los encontramos en una superficie de 2357,5 ha, los cuales sirven para el auto consumo, así como también para la distribución a los principales mercados de la ciudad, obteniendo ingresos económicos.
- Pastizales: Corresponden a una superficie de 2158,6 ha, los cuales son utilizados para la ganadería en su mayoría para la producción de leche.
- Plantaciones: Los encontramos en una superficie de 167,6 ha, las mismas se encuentran dispersas por toda el área de estudio.

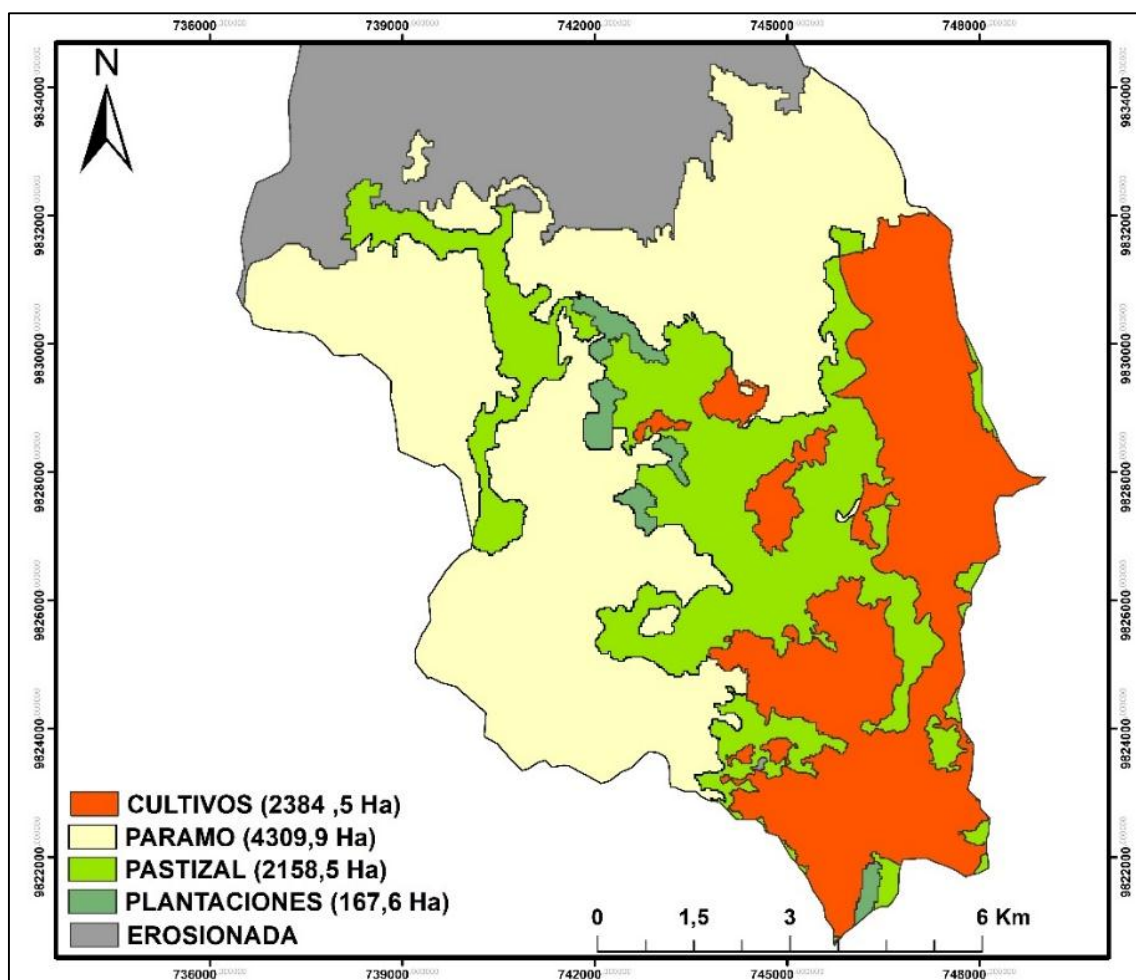


Gráfico 5-2: Mapa de Usos de suelo de la Microcuenca de Chimborazo.

Realizado por: Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático – ESPOCH, 2017

De acuerdo con la existencia de áreas diferentes para cada uso de suelo existente, se determinó el número de muestras a coleccionar por cada factor, conociendo que existen mayor (54% aproximadamente) cantidad de puntos de muestreo en el suelo de páramo, seguido por cultivos, pastizales, y finalmente plantaciones.

Los usos de suelo perteneciente a la categoría “cultivos” están directamente relacionados con la actividad antrópica de agricultura, de igual modo, el uso de suelo perteneciente a la categoría “pastizales” están directamente relacionados con la actividad antrópica de ganadería; conociendo esto se explica el uso las categorías, o de las actividades en variadas ocasiones.

2.5.2 *Diseño experimental*

Factor A: Usos de Suelo

Factor B: Profundidad de la muestra

Variable respuesta: Contenido de COS

De acuerdo a los elementos intervinientes para la investigación se planteó usar un diseño factorial mixto, el mismo que permitió realizar tratamientos entre los factores durante la aplicación de análisis estadísticos.

2.5.3 *Selección de la muestra*

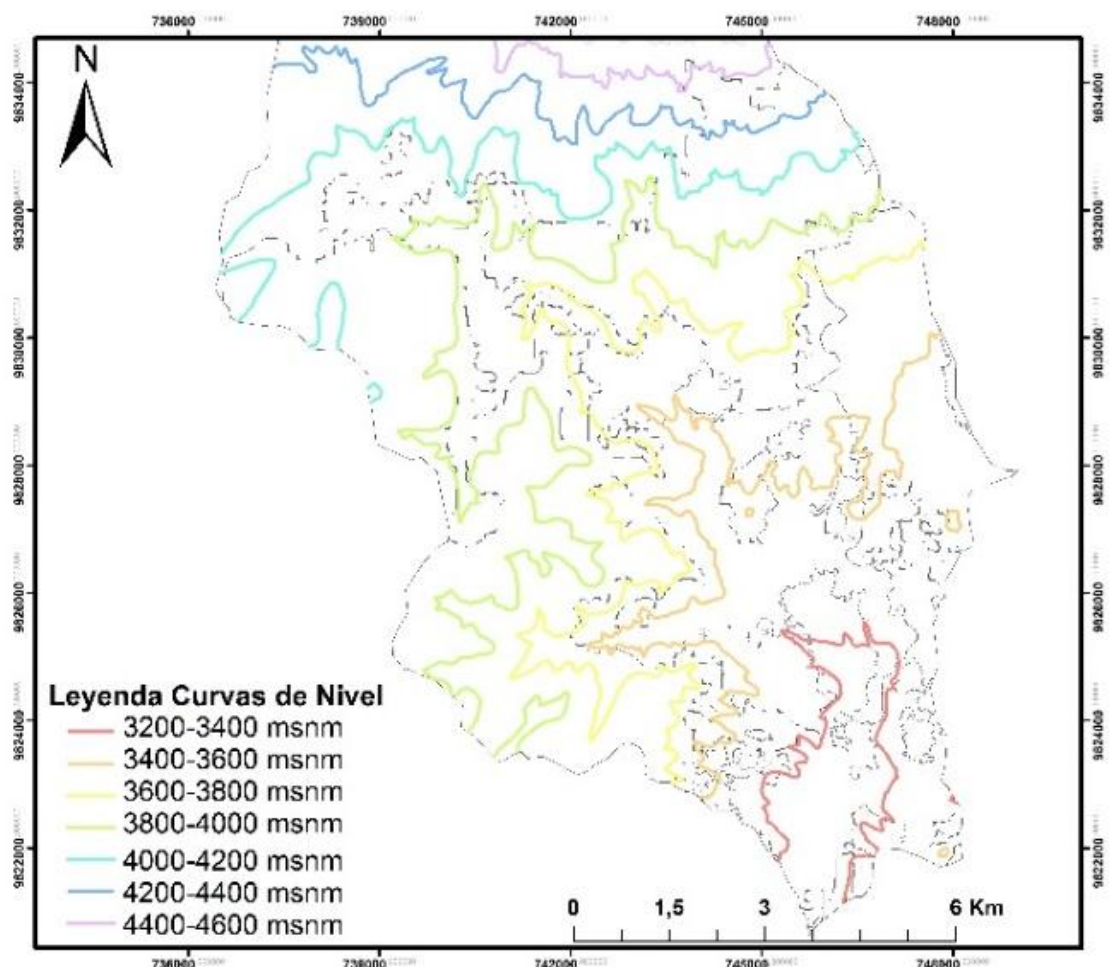


Gráfico 6-2: Mapa de curvas de nivel de la Microcuenca del Río Chimborazo.
Realizado por: Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático – ESPOCH, 2017

- Se elaboró el mapa de curvas de nivel de la microcuenca y usando las herramientas del sistema de información geográfico SIG, se ubicaron los puntos de muestreo distribuidos a lo largo de los 124 km² del área perteneciente a la Microcuenca del Río Chimborazo.
- Se ingresaron en el GPS las coordenadas de los puntos localizados anteriormente en el mapa, como guía de orientación durante las salidas de campo para el acceso a la zona delimitado por las coordenadas vistas en las tablas de atributos del mapa SIG, facilitando la recolección de muestras.

Tabla 1-2: Coordenada geográficas de los conglomerados.

Uso de suelo	Conglomerado	Altitud	Coordenada	
			X	Y
Páramo	1	3800 – 4000	743440,996824	9824221,03925
	2	3800 – 4000	742363,32936	9824316,529
	3	3800 – 4000	741258,379176	9824343,8115
	4	3600 - 3800	742936,266493	9824889,46591
	5	3600 - 3800	741735,827686	9825244,14128
	6	3600 - 3800	742922,625132	9825748,87161
	7	3800 - 4000	741981,371272	9826294,52602
Cultivos	1	3200 - 3400	746307,62949	9822413,3664
	2	3200 - 3400	745588,353941	9822889,19484
	3	3400 - 3600	744559,236617	9822900,26062
Pastizales	1	4000 - 4200	738745,6737	9831782,90544
	2	3600 - 3800	743378,495662	9829814,06882
Plantaciones	1	3800 - 4000	743878,22911	982815,93373

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019.

- Las unidades muestrales son los 13 puntos distribuidos a lo largo de la Microcuenca, correspondientes al número total de conglomerados trabajados. Cada conglomerado está conformado por 3 unidades, lo que ofrece un número 39 unidades. Además en cada unidad se realiza el muestreo a dos profundidades, obteniendo como resultado 78 muestras para la evaluación del COS.
- Las salidas de campo fueron planeadas al menos con 2 días de anticipación, de acuerdo con una revisión del posible clima para el día de muestreo.
- El grupo de muestreo estaba conformado por un líder a cargo de dirigir al grupo, localizar y acceder a los puntos de muestreo, una persona a cargo de los registros de las fichas de campo y el orden de las muestras, y dos o tres personas a cargo del trabajo manual con el barreno para coleccionar las muestras y transportarlas al laboratorio.

2.5.4 Muestreo

- Una vez que se accedió al sitio con las coordenadas específicas de cada punto se procedió a coleccionar la muestra en las fundas Ziploc debidamente etiquetadas de acuerdo a los conglomerados, las unidades muestrales y las profundidades.

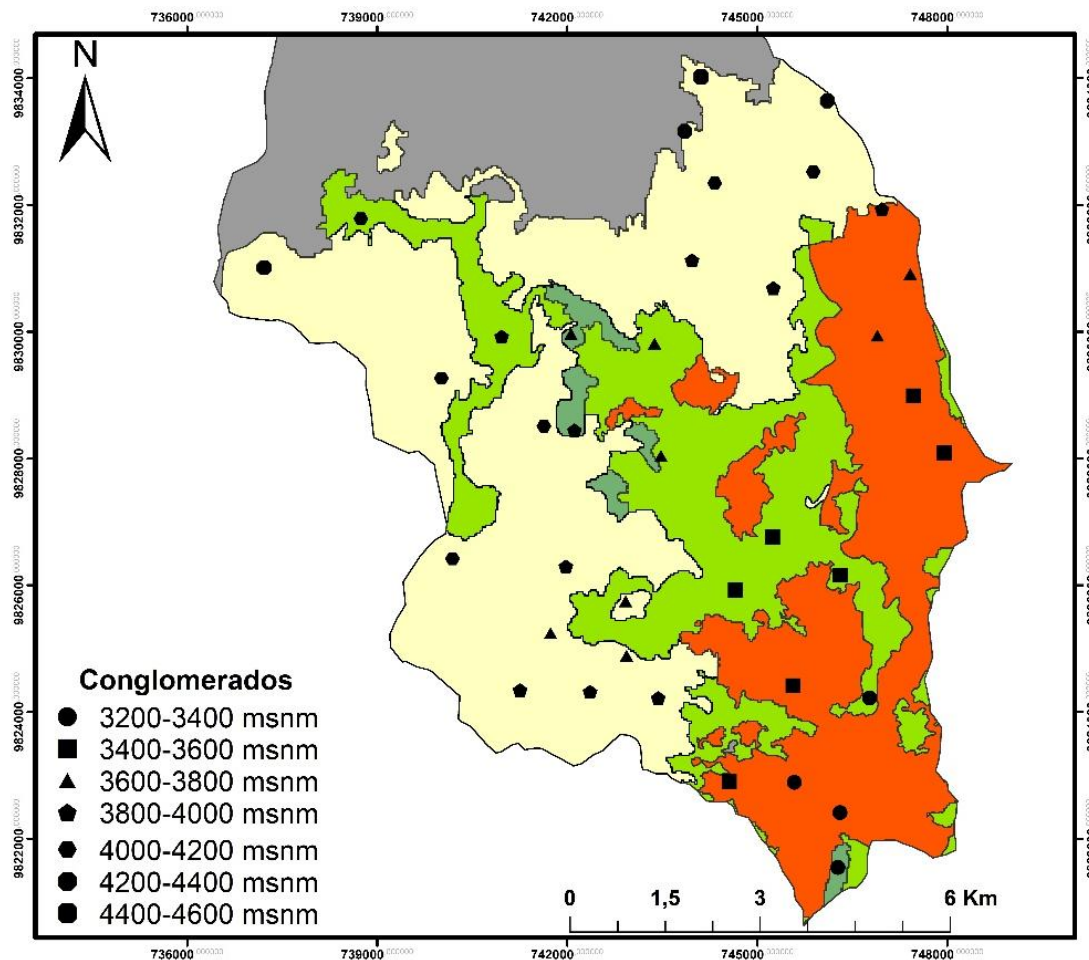


Gráfico 7-2: Puntos de Muestreo

Realizado por: Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático – ESPOCH, 2017

- Se colectó 1 kg de suelo como muestra para cada una de las profundidades establecidas en los puntos de muestreo, es decir, se colectaron dos muestras por cada punto para los análisis de laboratorio respectivos.
- Se usó la metodología de conglomerados para la colección; cada conglomerado tenía 3 unidades que corresponden a los puntos de muestreo, ubicadas en forma de L y separadas por 250 m de distancia; en cada punto se tomaron dos muestras de diferentes profundidades, como se aprecia en la figura siguiente.

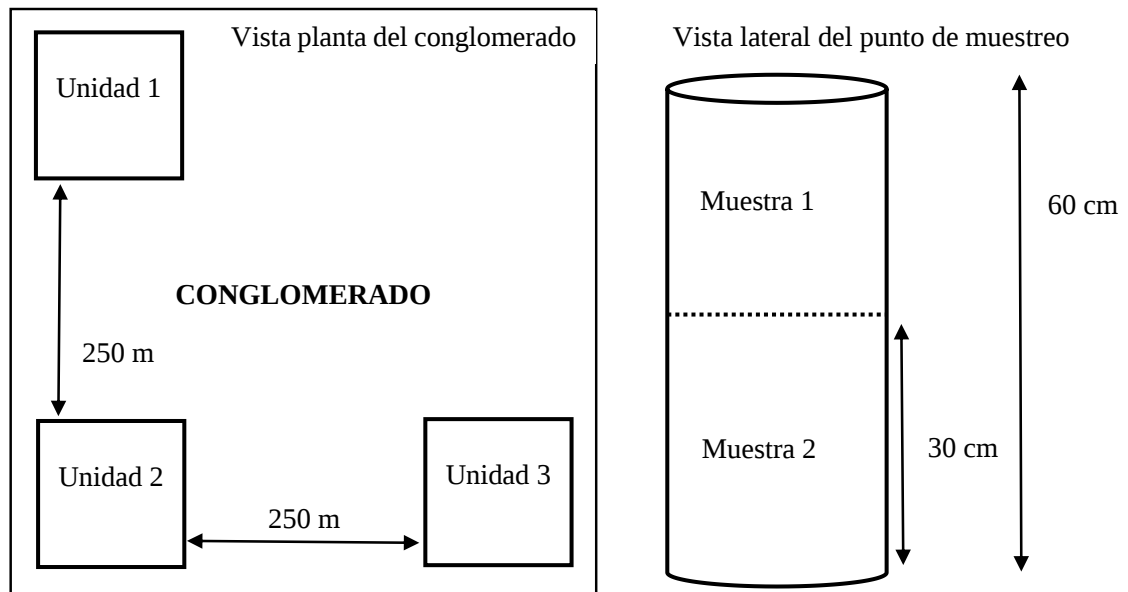


Figura 1-2: Estructura del conglomerado.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

2.6 Materiales y Equipos

2.6.1 Materiales

- *Barreno*

Se usó un barreno tipo gubia, es muy comparable a un muestreador de suelo. Todos disponen de la mitad cilíndrica con bordes cortantes paralelos verticalmente. Esta parte operativa puede variar en longitud, así como en diámetro. La longitud más adecuada depende de la resistencia a la penetración, la sustancia del suelo y la profundidad de perforación requerida (lapaca, 2017, p.1).

El barreno usado para la colección de muestras fue construido de acero de alta resistencia con un diámetro de 2,5" y un 1 m de longitud, con punta afilada para la perforación del terreno, y mango en forma de T para facilitar su extracción.



Figura 2-2: Barreno para muestreo de suelos.

Fuente: www.imagenesmi.com

- *Espátula*

Se empleó este instrumento para facilitar la extracción de la muestra, debido a que con frecuencia la recolección en el barreno se encontraba muy compactada y por lo tanto se requería de una espátula o pala de jardinería. Son pequeñas y livianas para un fácil transporte, construidas en acero o hierro, con un mango de madera.

- *Flexómetro*

Necesario para medir la profundidad de suelo colectada en el barreno y poder seccionar las dos muestras de diferentes profundidades en cada punto de muestreo. Se usó también una cinta métrica para la misma finalidad, con la ventaja de su flexibilidad para las mediciones.

- *Martillo*

Se empleó un martillo grueso, o combo de 2 kg como ayuda para el proceso de perforación del suelo, debido a la rigidez que presentaron varios suelos en los puntos de monitoreo, siendo necesario aplicar una mayor presión sobre el barreno para lograr penetrar el suelo.



Figura 3-2: Materiales para muestreo a) espátulas, b) flexómetro, c) martillo.

Fuente: Google

- *Fundas Ziploc*

Se usaron bolsas plásticas (polietileno lineal de baja densidad) con alta resistencia a la tensión y cierre hermético para almacenar y transportar las muestras. Las dimensiones de eran de 16 cm x 20 cm, y su capacidad era de aproximadamente 1 kg. Se usaron fundas del tipo Ziploc o Zip-zap, más conocidas como bolsas para sánduches. También fueron empleados vasos plásticos desechables para preparar las soluciones de suelo y medir la conductividad y pH.



Figura 4-2: Fundas Ziploc para muestras.

Fuente: Johnson, 2019

- *Recipientes volumétricos*

Los recipientes de vidrio usados en el laboratorio fueron:

- Una pipeta de 10 mL se empleó para medir el volumen de los reactivos empleados para el agua regia, con la cual se lavaban los crisoles antes de ser secados y tarados para la medición de materia orgánica.
- Un matraz Erlenmeyer de 100 mL para preparar la solución de agua regia.
- Un vaso de precipitación de 250 mL para derretir la parafina y bañar los terrones del suelo.
- Probetas de 100 mL y 250 mL para medir el volumen desplazado por los terrones cubiertos en parafina.

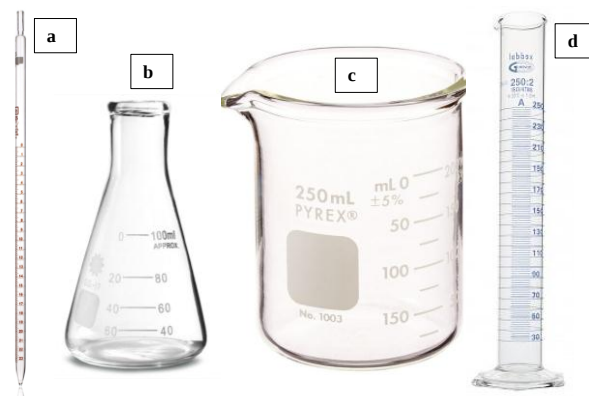


Figura 5-2: Recipientes volumétricos para análisis de laboratorio.

Fuente: Google.

- *Parafina e hilos*

Estos materiales fueron usados para atar los terrones luego del procedimiento que determina la humedad y sumergirlos en un vaso de precipitación con parafina líquida para el procedimiento de densidad aparente.

La cera de parafina se encuentra por lo general como un sólido ceroso, blanco, inodoro, carente de sabor, con un punto de fusión típico entre 47 °C y 64 °C. Etimológicamente el nombre parafina quiere decir de escasa afinidad, en alusión al hecho de que las parafinas no mantienen afinidad con ninguna otra sustancia por su escasa reacción química, pero se quema fácilmente (EcuRed, 2019, p.1).



Figura 6-2: Cera de parafina.

Fuente: EcuRed, 2019

- *Desecador*

Es un instrumento de laboratorio que se utiliza para mantener limpia y deshidratada una sustancia por medio del vacío. Está fabricado con un vidrio muy grueso y en él se distinguen dos cavidades, la primera cavidad más grande y superior, permite poner a secar la sustancia, y la otra cavidad inferior se usa para poner el desecante, más comúnmente gel de sílice.

- *Crisoles*

El crisol de porcelana es un material de laboratorio utilizado principalmente para calentar, fundir, quemar, y calcinar sustancias. La porcelana le permite resistir altas temperaturas. Se usaron crisoles de porcelana de 50 mL para colocar los 5 gramos de suelo usados para el análisis de MO.



Figura 7-2: Crisoles en un desecador.

Fuente: Google.

2.6.2 Equipos

- *GPS*

Es un sistema de radionavegación basado en satélites desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos de América que permite a cualquier usuario saber su localización, velocidad y altura, las 24 horas del día, bajo cualquier condición atmosférica y en cualquier punto del globo terrestre (Informática, 2019, p.1). Se empleó este equipo como guía para el acceso a los puntos de muestreo, con las coordenadas previamente insertadas en el mismo.



Figura 8-2: Modelo de GPS.

Fuente: Informática, 2019

- *Balanza analítica Adventurer® marca OHAUS.*

Posee una estabilización rápida y operación confiable, mejoradas con AutoCal™ para garantizar un rendimiento de pesaje sólido y resultados precisos y confiables. Las dos puertas laterales de dos piezas montadas en la parte superior reducen el espacio de las puertas en la parte trasera de la balanza cuando están abiertas y se abren por completo hacia ambos lados para proporcionar un espacio amplio para la colocación de muestras (OHAUS, 2019, p.1).



Figura 9-2: Balanza Analítica

Fuente: OHAUS, 2019

- *pH-metro de mesa accumet® Basic AB150 de marca Fisher Scientific.*

El Accumet es un equipo diseñado para laboratorio con ventajas de fácil manejo y pantalla de fácil lectura posee un control por microprocesador con once botones de lenguaje claro y pantalla de cristal líquido de 76 x 108 mm Retro-iluminada. Almacena hasta 500 registros en memoria no volátil, y es un indicador de lectura estable. Posee un rango de ± 2000.0 mV y una precisión de $\pm 0,2$ mV o $\pm 0,05\%$ el que sea mayor (Scientific, 2012, p.4).



Figura 10-2: pH-metro de mesa

Fuente: Scientific, 2012

- *Conductímetro marca Hach sensION5.*

Es un instrumento ideal para laboratorio, con una pantalla de cristal líquido, retro-iluminada, con pictogramas. Sus escalas de medida para conductividad son de $0.01 \mu\text{S/cm}$ a 500 mS/cm , trabaja con un error de medida $\leq 0.5 \%$ (HACH, 2010, p.29).



Figura 11-2: Conductímetro

Fuente: HACH, 2010

- *Estufa de convección forzada marca ESCO.*

Es un horno de laboratorio de clase mundial de Esco, que calienta hasta 300°C . Con interfaces ergonómicas e intuitivas, controles PID de microprocesador con opciones de programación, chaqueta de aire calefactada de 4 zonas, paquete de ventilación y aislamiento precisamente ajustado y probado (ESCO, 2019, p.1).



Figura 12-2: Estufa

Fuente: ESCO, 2019

- *Reverbero eléctrico de laboratorio marca HACEB.*

Conocida como cocineta eléctrica de un puesto, con resistencia eléctrica tubular y acabado en esmalte porcelanizado resistente a altas temperaturas (Haceb, 2019, p.1). Se empleó para el calentamiento de la parafina en el proceso de bañar los terrones para medir la densidad aparente.



Figura 13-2: Reverbero eléctrico

Fuente: Haceb, 2019

- *Horno mufla marca Thermo Scientific™.*

El horno es ideal para asentar la mayoría de los tipos de muestras orgánicas e inorgánicas, tratar térmicamente pequeñas piezas de acero, realizar pruebas de ignición, realizar análisis gravimétricos y para la determinación de sólidos volátiles y suspendidos. Su profundidad métrica interior es de 13cm y trabaja en un rango de temperatura entre 100° a 1100 °C (FisherScientific, 2019, p.1).



Figura 14-2: Horno mufla

Fuente: FisherScientific, 2019

2.7 Toma de muestras

El procedimiento que se realizó para el muestreo y análisis se resume en la siguiente figura.

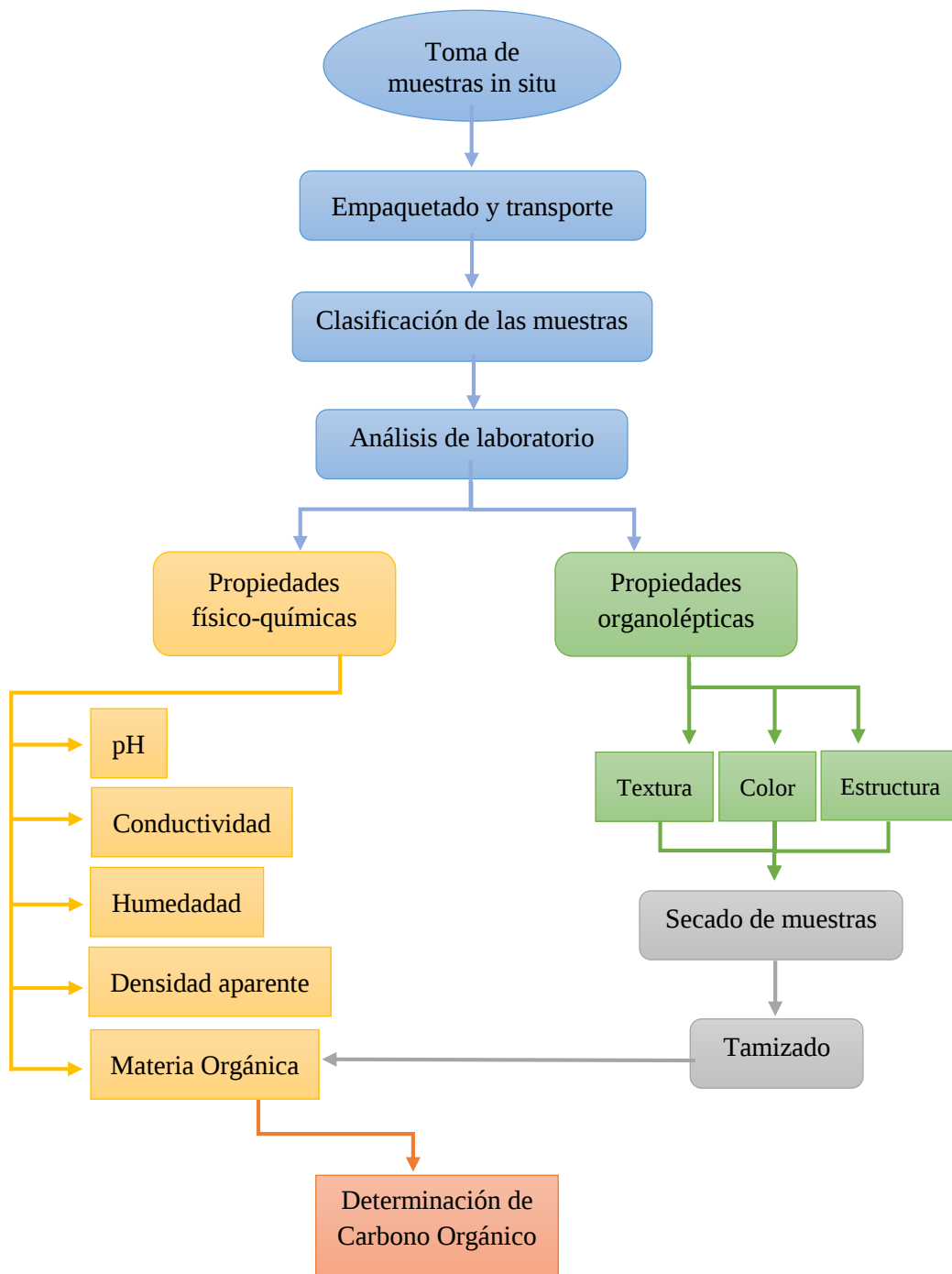


Figura 15-2: Procedimiento para el procesamiento de muestras.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

- Una vez ubicados en las coordenadas que indican el punto de muestreo se buscó una superficie lo suficientemente regular para un trabajo más sencillo.

- Se realizó una limpieza superficial del terreno (alrededor de 500 cm²) para evitar restos vegetales en las muestras.
- Se ubicó el barreno sobre la superficie limpiada anteriormente y se procedió a perforar el suelo para coleccionar las muestras hasta 60 cm de profundidad.
- De cada perforación se tomaron dos muestras de suelo, la primera de 0-30 cm de profundidad (en la parte inferior del barreno) y la segunda de 30-60 cm de profundidad. Para conocer las profundidades se usó un flexómetro, midiendo desde la punta inferior del barreno, hacia arriba.
- Con cuidado de no destruir los terrones del suelo se colocaron las muestras en fundas ziplock etiquetadas y se transportaron al Laboratorio de Biotecnología Azul de la ESPOCH para los análisis posteriores.

2.8 Análisis de laboratorio

- Una vez en el laboratorio, se ordenaron las muestras según las unidades de muestreo y las profundidades, como se muestra a continuación.



Figura 16-2: Clasificación de las muestras en el laboratorio.

Fuente: Rosero Gabriela, 2018

- Se realizaron los análisis correspondientes por dos vías (Figura 1-2), una para la determinación de las propiedades físico-químicas en muestras húmedas y secas (MO), y otra para las propiedades organolépticas.

2.8.1 *pH y Conductividad*

El pH es una de las determinaciones que se lleva a cabo con bastante frecuencia y una de las medidas más indicativas de las propiedades químicas del suelo. El valor de pH determinado indica la acidez y la basicidad del suelo. El pH del suelo representa la actividad del ion H^+ , es decir, la concentración de este en el suelo, entre más alta sea la concentración de H^+ menor será el pH y mayor la acidez (Lizcano Toledo, et al., 2017, pp.36-60).

Según el manual internacional de fertilidad de suelos, se clasifican según su acidez en: muy fuertemente ácidos (de 4 a 4,5), fuertemente ácidos (de 4,5 a 5,5), ácidos (de 5,5 a 6,5), ligeramente ácidos (de 6,5 a 6,8), neutros (de 6,8 a 7,2), ligeramente alcalinos (de 7,2 a 7,5), alcalinos (de 7,5 a 8,5) y fuertemente alcalinos (de 8,5 a 9).

Los análisis de pH y conductividad fueron los primeros en ser realizados debido a que necesitan ser medidos en el menor tiempo posible desde que se toma la muestra. Los pasos se llevaron a cabo como sigue.

- Usando una balanza analítica se pesaron 20 g de la muestra de suelo en un recipiente plástico (vaso) y se agregaron 45 mL de agua destilada.
- Se agitaron constantemente durante 15 minutos y se mantuvieron en reposo durante otros 3 minutos.
- Con ayuda de un pH-metro de mesa accuMET® Basic AB150 de marca Fisher Scientific se midieron los valores de pH para cada muestra y se registraron en la tabla de datos.



Figura 17-2: Medición de pH.

Fuente: Rosero Gabriela, 2018

La conductividad eléctrica es una medida que permite determinar la concentración de sales solubles presente en el suelo; además, mide la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica. Las medidas utilizadas para medir la CE son dS/m, medida que es equivalente a la que anteriormente se utilizaba: mmhos/cm (Lizcano Toledo, et al., 2017, pp.36-60).

- En el caso de la conductividad se usaron las mismas muestras de suelo que fueron preparadas para medir el pH, pero se les mantuvo en reposo durante 24 horas previas a su lectura.
- Para medir la conductividad se usó un conductímetro marca Hach sensION5 que se encuentra en el Laboratorio de Química Instrumental de la ESPOCH y se registraron los valores de conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 18-2: Medición de conductividad.

Fuente: Rosero Gabriela, 2018

2.8.2 Humedad y Densidad aparente

La humedad de la muestra representa el contenido de agua y aire presentes en el suelo, donde la humedad de la muestra es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente dentro de una masa de suelo (Lizcano Toledo, et al., 2017, pp.36-60).

- Para el análisis de humedad y densidad aparente se usó el método del terrón (Hirmas & Furquim, 2016, pp.899– 906), con 3 repeticiones de cada muestra.
- En una balanza analítica Adventurer® marca OHAUS, se midió el peso del terrón húmedo y se registró en la tabla de datos como P_1 .



Figura 19-2: Pesado de terrones.

Fuente: Rosero Gabriela, 2018

- En una estufa de convección forzada marca ESCO se secaron los terrones durante 24 horas a 105 °C, y se registró el peso seco en la tabla de datos como P_2 .
- Se realizó el cálculo del porcentaje de humedad usando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

La D_a describe la compactación del suelo representando la relación entre sólidos y espacio poroso. La determinación de la D_a se realiza por medio del método de cilindro o por medio de un terrón parafinado (Lizcano Toledo, et al., 2017, pp.36-60).

- Para el caso de la densidad aparente se procedió a calentar parafina con ayuda de un reverbero eléctrico de laboratorio marca HACEB.
- Se ató cada uno de los terrones con un hilo para sumergirlos en parafina líquida y se registró su peso como P_3 .



Figura 20-2: Terrones bañados en parafina líquida.

Fuente: Rosero Gabriela, 2018

- Se midió el volumen desplazado por cada terrón con ayuda de una probeta y se registró en la tabla de datos.
- El cálculo de la Densidad aparente se realizó mediante la siguiente ecuación.

$$Da = \frac{P_1}{Volumen\ desplazado\ por\ P_3}$$

2.8.3 *Color*

Este atributo permite inferir la naturaleza constitutiva del suelo o las condiciones químicas donde los constituyentes estuvieron sometidos, pues se correlaciona con la mayoría de características mineralógicas, físicas y químicas del suelo (Lizcano Toledo, et al., 2017, pp.36-60).

- El análisis de color se realizó mediante observación, comparando las tonalidades de cada muestra con las tablas de Munsell Soil Color Book (Libro de Color de Suelos).
- Se usó una tabla de acuerdo a la tonalidad observada y se registraron los datos en el siguiente orden: Matriz (tinte), Fila, y Columna (1, 2 o 3).



Figura 21-2: Análisis de color

Fuente: Rosero Gabriela, 2018

2.8.4 *Estructura y textura*

- Los análisis de estructura se realizaron por el método del tacto, fueron seleccionados según la forma del grano, como se muestra a continuación.

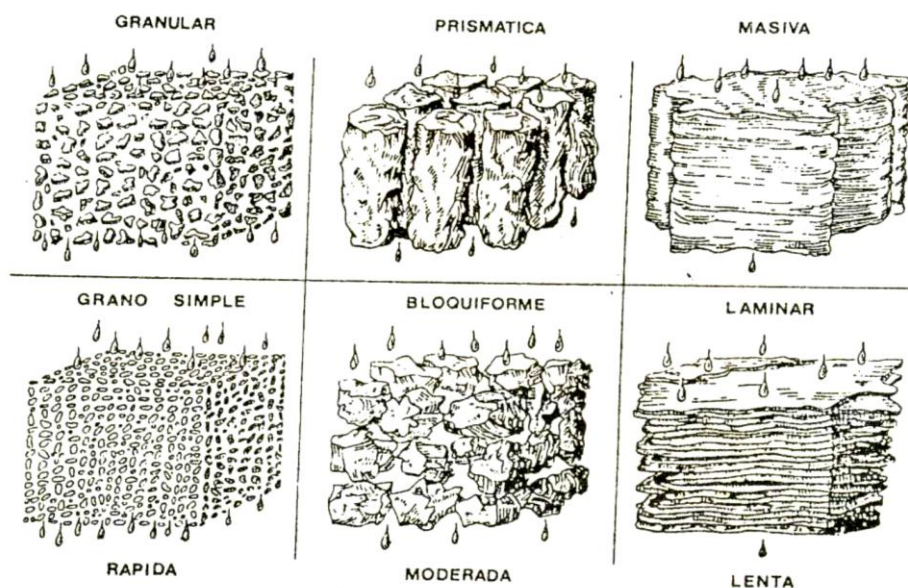


Figura 22-2: Principales estructuras del suelo.

Fuente: EEA-INTA, 2016

La textura del suelo puede estar interrelacionada con otros atributos físicos (estructura, porosidad y en consecuencia, con las propiedades hídricas del suelo). La textura del suelo permite diagnósticos sobre la capacidad de intercambio iónico y es de gran relevancia en los mecanismos de absorción de nutrientes. Es una propiedad que determina la cantidad de agua que un suelo puede retener (Lizcano Toledo, et al., 2017, pp.36-60).

Tabla 2-2: Principales texturas del suelo

Predominio de factores	Sensación al tacto
Arena	Áspera, granos sueltos
Arenoso franco	Al tacto es áspero, pero con la sensación de presencia de partículas más finas.
Franco arenosa	Al principio la textura aparece suave, pero a medida que se frota, empieza a dominar una sensación arenosa
Franco	Los terrones pueden ser firmes. Cuando se pulveriza, la sensación al tacto no es ni suave ni áspera
Franco limoso	Los agregados son muy firmes, pero se pueden romper bajo presión moderada. Los terrones son de firmes a duros.
Franco arcilloso	Agregados muy firmes y duros, resistentes a dejarse romper con la mano. Presenta una sensación áspera al tacto
Limos	Sedosa, agregados de consistencia dura muy resistentes a dejarse romper con la mano.
Arcilla	Adherente o plástica

Fuente: EEA-INTA, 2016

Realizado por: Rosero Gabriela, 2018

- Para el análisis de textura se tomó un puñado de la muestra y se realizó la comparación con las características de la tabla anterior:

2.8.5 *Secado y tamizado*

- Las muestras fueron colocadas sobre papel de empaque y secadas a temperatura ambiente entre 24 y 48 horas, teniendo cuidado de que reciban radiación solar directa.
- Se tamizaron las muestras con un tamiz de poros de 2 mm para las mediciones de pH y conductividad, y 425 μm para el análisis de materia orgánica.



Figura 23-2: Tamizado de muestras

Realizado por: Rosero Gabriela, 2018

2.8.6 *Materia Orgánica*

La materia orgánica es uno de los factores más importantes del suelo, puesto que regula sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Además, tiene numerosas funciones y efectos benéficos en el suelo. Está compuesta por una amplia variedad de sustancias y su naturaleza específica está determinada por las plantas y los residuos animales que se descomponen en un sitio de forma continua (Lizcano Toledo, et al., 2017, pp.36-60).

El contenido de materia orgánica en el suelo según su porcentaje puede clasificarse como:

Tabla 3-2: Porcentaje de Materia Orgánica en el suelo.

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

Fuente: Amaguaya Llamuca, 2015

Para el caso de la materia orgánica del suelo se empleó el método de calcinación o pérdida por ignición (loss on ignition, LOI), que cuantifica directamente el contenido de MO y se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a elevadas temperaturas (Eyherabide, et al., 2014, pp.13-19).

- Se pesaron crisoles de 50 mL previamente tarados y se registraron los pesos en la tabla de datos como Peso 1.
- Se encendió la balanza analítica y se pesaron 5 g de la muestra de suelo tamizada en los crisoles, se registró el peso como Peso 2.



Figura 24-2: Preparación de muestras para MO.

Fuente: Rosero Gabriela, 2018

- Los crisoles con la muestra fueron llevados a la estufa por 24 h a 105 °C, se enfriaron en el desecador y se pesaron nuevamente, registrando en la tabla de datos como Peso 3.
- Los crisoles fueron llevados al horno mufla marca Thermo Scientific™ durante 2 horas a 360 °C y se repitió en proceso de desecador y pesado para obtener el Peso 4.



Figura 25-2: Análisis de MO por el método LOI

Fuente: Rosero Gabriela, 2018

- El porcentaje de materia orgánica se obtuvo aplicando la siguiente ecuación:

$$\%MO = \frac{(Peso\ 3 - Peso\ 4)}{(Peso\ 3 - Peso\ 1)} * 100$$

Para conocer el contenido de CO que aportan las deposiciones del ganado en el suelo de los pastizales se siguieron los pasos citados a continuación:

- Se tomó una muestra fresca de una de las heces del ganado presente en los pastizales y se registró su peso inicial.
- Se llevó la muestra a la estufa a 105 °C durante 24 horas y se registró su nuevo peso.
- Se repitió el proceso hasta que la muestra tuvo un peso constante y se registró el último valor perteneciente al peso.
- Se realizó el mismo procedimiento para la estimación del porcentaje de MO con las muestras de suelo, usando una porción de la muestra seca (5 g).
- Se empleó la siguiente ecuación para calcular el %MO:

$$\%MO = \frac{(Peso\ crisol + muestra\ seca) - (Peso\ crisol + muestra\ calcinada)}{(Peso\ crisol + muestra\ seca) - (Peso\ del\ crisol\ vacío)} * 100$$

Una vez conocido el porcentaje de CO se hizo una multiplicación por 12 que es el número de veces que en promedio defeca cada vaca, y luego se multiplica por el número de vacas presentes en un terreno, obteniendo así un valor estimado del total de CO diario que pueden ganar los pastizales.

2.8.7 *Carbono Orgánico*

El contenido de carbono orgánico de un suelo es un indicativo del porcentaje de su materia orgánica. La importancia de la determinación del carbono orgánico radica en que este brinda un indicativo del contenido de materia orgánica del suelo. Para su determinación se utiliza el método de combustión en seco, útil para propósitos de alta precisión debido a que se obtienen valores absolutos (Lizcano Toledo, et al., 2017, pp.36-60).

- Del valor obtenido para la materia orgánica se usó el factor Van Bemmelen de (1,724) para calcular el porcentaje de carbono orgánico del suelo, el cual asume que el 58% de la MO está compuesta por C (Eyherabide, et al., 2014, pp.13-19).
- Se empleó la ecuación siguiente para el cálculo:

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

- Para conocer el contenido de CO en el área de estudio se realizó una estimación calculando el COS (en miligramos por hectárea) en el área de muestreo según cada uso de suelo, para lo cual se empleó la siguiente ecuación:

$$CO = \frac{\%CO}{100} * Da * Prof * 1000$$

2.9 Encuestas y entrevistas

Las tierras altas del Ecuador constituyen uno de los pocos espacios en el mundo en el que vive una población numerosa, la mayoría, integrada por comunidades indígenas pobres. En la década de los noventa la modernización del campo transformó profundamente la vida de las comunidades; se han sumado nuevos cambios que vagamente los relacionan con el cambio climático o que no logran explicarse (Coronel, et al., 2017, pp.1-11).

El objetivo con el cual se planteó realizar entrevistas y encuestas a los pobladores de la Parroquia San Juan fue conocer cómo las actividades antrópicas desarrolladas en la Microcuenca del Río Chimborazo intervienen en el contenido de COS, planeando integrar los componentes científico y social de la investigación.



Figura 26-2: Diálogo con los pobladores de la Parroquia San Juan.

Fuente: Rosero Gabriela, 2018

Un enfoque integral para investigar los impactos del cambio climático y la adaptación requiere un esfuerzo concertado para comprender las relaciones entre las ciencias sociales y físicas, teniendo en cuenta el capital social, la economía moral y los intereses basados en el lugar. Tales esfuerzos son necesarios para equilibrar los factores sociales, económicos y ambientales, para que las partes interesadas desarrollen respuestas adaptativas adecuadas (University of Calgary, 2016, p.268).

2.9.1 *Análisis social de la Parroquia San Juan*

En la actualidad, existen varias parroquias, cantones y provincias dirigidas por autoridades indígenas que han ganado esos puestos en procesos electorales democráticos. En esas localidades, como la parroquia San Juan, la propuesta de fortalecer a los cabildos va creciendo y desarrollándose en un conjunto de iniciativas muy innovadoras (Coronel, et al., 2017, pp.1-11).

Con el afán de obtener información inicial y socializar con los dirigentes políticos acerca del proyecto desarrollado por el GIDAC se realizó un primer acercamiento a las comunidades de páramo aplicando talleres para informar a los pobladores y obtener información demográfica de la Parroquia San Juan, también se aplicaron entrevistas a actores clave de la parroquia, con enfoque en los usos de suelo.

Tabla 4-2: Proyección de la población total de la Parroquia San Juan

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Proyección	7370	7751	7856	7958	8060	8158	8256	8350	8443	8533	8621

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, 2010

2.9.2 *Determinación de la población de estudio*

Si la población es finita y pequeña se pueden medir el tamaño de la muestra; de acuerdo con la proyección de la población total anual estimada para el año 2019 se realizó la selección de la muestra y se determinó su tamaño usando la siguiente ecuación:

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

En donde,

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción).

$$n = \frac{8533 * 1.96^2(0.05 * 0.95)}{0.05^2 * (8533 - 1) + 1.96^2(0.05 * 0.95)}$$

$$n = 72.3797$$

Usando la proyección de la población para el año 2019 se obtuvo el tamaño de muestra n, para lo cual se propuso trabajar con un mínimo de 72 encuestas en la cabecera parroquial de San Juan.

2.9.3 Información del PDOT

Tabla 5-2: Datos socioculturales de la Parroquia San Juan

Variable	Potencialidades	Problemas
Demografía	El índice de estructura de la Población Activa es del 54,16%. La actividad agropecuaria es la principal fuente de empleo, el 60% de la Población Económicamente Activa se dedica a esta actividad.	Las actividades comerciales representan el solamente el 3,6% del total de la Población Económicamente Activa. La densidad poblacional es solamente del 35,01
Educación	Existen 29 centros educativos en toda la parroquia. La tasa neta de educación secundaria es de 72,23%. El 97% de las comunidades utilizan los servicios de educación de colegio que existen en la parroquia.	La tasa neta de educación de bachillerato es de 52,51%, la tasa de analfabetismo (de 15 años y más) es de 18,08. Existe un bajo número de estudiantes lo cual provoca el cierre de instituciones educativas.
Salud	La tasa de mortalidad es de 0,41.	Existe solamente un centro de salud y dos dispensarios médicos que no abastecen a la población. El 91% de la población adquiere sus medicinas en la ciudad de Riobamba y el 85% acude a Riobamba para obtener servicios de salud.
Acceso y uso de espacio público	La mayor parte de las comunidades cuentan con espacios para el uso y la recreación de sus habitantes.	No existe control ni un adecuado mantenimiento de la infraestructura disponible para uso público.
Necesidades básicas	El 99,99% de la población está dispuesta a aportar con una contraparte para la ejecución de programas y proyectos para satisfacer sus necesidades básicas	El 84,61% de la población tiene necesidades básicas insatisfechas.
Grupos étnicos	El 81% de los habitantes de las comunidades se auto identifican como indígenas, por lo cual se mantiene la identidad cultural. El 84% de los habitantes emplea el idioma Kichwa.	La población adolescente ha ido perdiendo su identidad cultural.
Seguridad y convivencia ciudadana	El 66% de las comunidades mantiene la práctica de la jocha, el 97% la práctica de la minga y el 56% la práctica de presta manos en sus labores comunitarias.	El 63% de las comunidades no cuentan con brigadas o unidades de seguridad que brinden protección.
Patrimonio cultural	Existen bienes culturales tangibles tanto muebles como inmuebles que se encuentran registrados en el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.	Existe pérdida del patrimonio cultural intangible de la parroquia.

Fuente: GADP San Juan, 2015

Realizado por: Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático – ESPOCH, 2018

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

3.1 Análisis de laboratorio

3.1.1 Conductividad y pH

Tabla 1-3: Resultados de pH.

Promedios de pH			
Páramo	Cultivos	Pastizales	Plantaciones
5,96 ±0,61	5,59 ±0,21	5,54 ±0,15	5,68 ±0,18

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

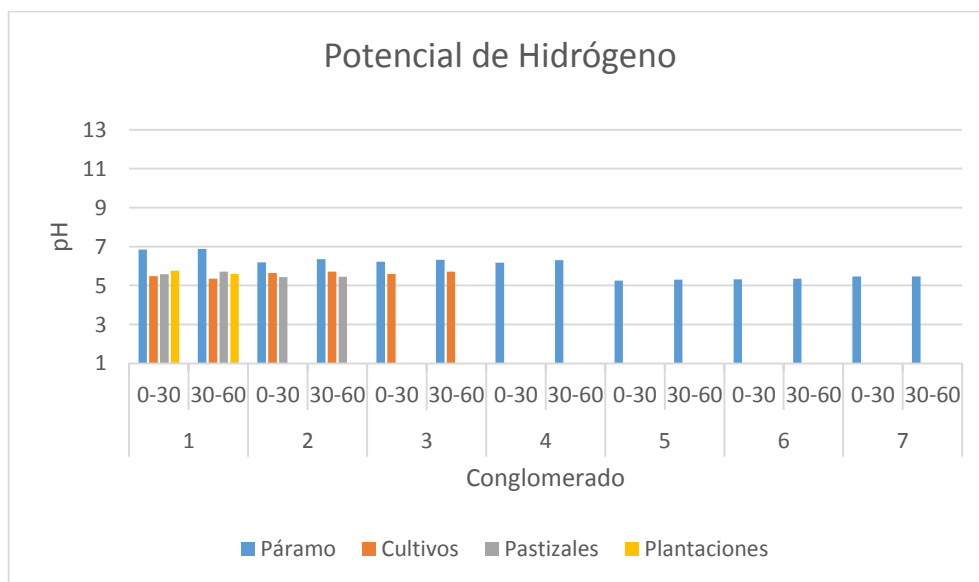


Gráfico 1-3: Resultados de pH.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

De acuerdo con los análisis fisicoquímicos los suelos pertenecientes al ecosistema páramo tienen un pH comprendido entre 5 y 7; con escasas variaciones que podrían estar sujetas al tiempo estimado durante la medición. En general todos los resultados obtenidos están bajo el pH neutro, es decir, son ligeramente ácidos.

Para el caso de las muestras de usos de suelo, se obtuvo valores comprendidos entre 5 y 6; para pastizales entre 5,3 y 5,8; y para plantaciones entre 5,4 y 5,8; por lo tanto se evidencia que los pastizales y plantaciones poseen un rango estrecho y un nivel más ácido de pH, mientras que los páramos poseen un rango más amplio de pH que puede llegar a neutro en algunos casos.

Tabla 2-3: Resultados de Conductividad eléctrica.

Promedios de CE			
Páramo	Cultivos	Pastizales	Plantaciones
58,82 ±25,64	139,91 ±75,75	115,76 ±102,91	112,28 ±11,32

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

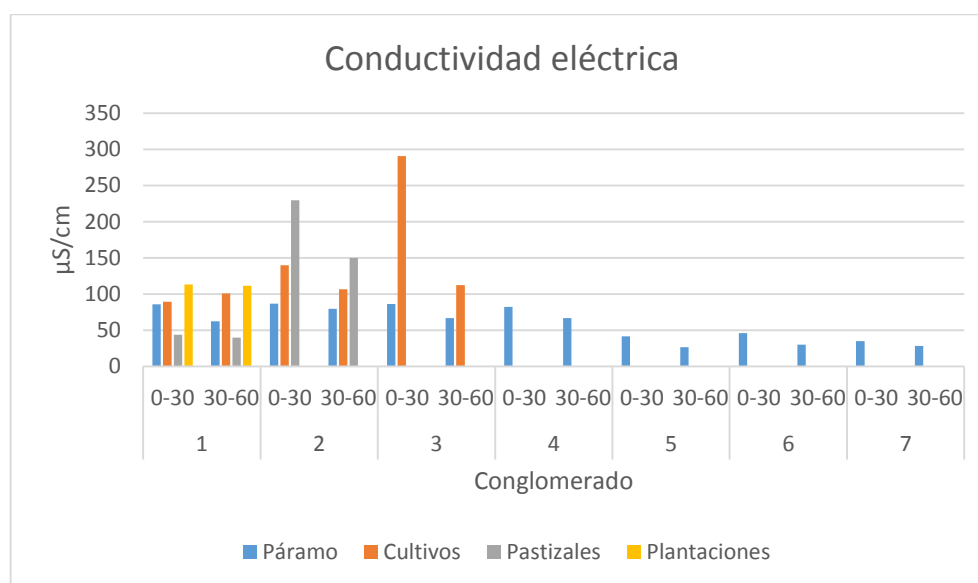


Gráfico 2-3: Resultados de CE.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

Según los resultados resumidos en la Tabla 2-3, la CE en los suelos de páramo se encuentra en el rango más bajo de todos los usos de suelo, mientras que el mayor estaría en los cultivos. Esto podría explicar la existencia de sales solubles en los cultivos, ya que muchos de los productos cultivados en el páramo (brócoli, cebolla y papa) generan tolerancia a suelos salinos. Además de los cultivos, los pastizales también presentan un nivel alto de CE, específicamente en el conglomerado 2 que se encuentra a mayor altitud.

En la gráfica se nota que los suelos de páramo llevan una ligera tendencia comprendida entre los 23,5 y 111,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estos suelos no presentan gran variación entre las medidas de CE; a pesar de ello, los mayores valores de CE se evidencian en los primeros conglomerados, aquellos que se encuentran a mayor altitud (3800 – 4000 m s. n. m.).

En cuanto a los resultados de las plantaciones, no existe una gran variación debido a que se trabajó con un conglomerado que proporcionó 6 datos, 3 para cada profundidad; su CE está sobre el rango mayor de los suelos de páramo.

El alto nivel de CE se relaciona con la textura del suelo, en suelos de partículas más finas (como la arcilla) la conductividad tiende a ser mucho mayor, mientras que en suelos de partículas más finas (como la arena,) la conductividad es menor (Simón, et al., 2013, pp.45-55). Esta condición se ve reflejada en las muestras de suelos de cultivos donde la textura es limosa, es decir que su grano es fino, mientras que en las muestras de pastizales los suelos son francosos, por lo tanto su CE es menor.

3.1.2 *Propiedades organolépticas*

Tabla 3-3: Interpretación de resultados de color.

Color	Valor en el gráfico
2,5YR-1/1	7
5YR-4/1	6
5YR-3/1	5
5YR-1/1	4
7,5YR-4/1	3
7,5YR-3/1	2
7,5YR-2,5/1	1
10YR-1/1	0

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

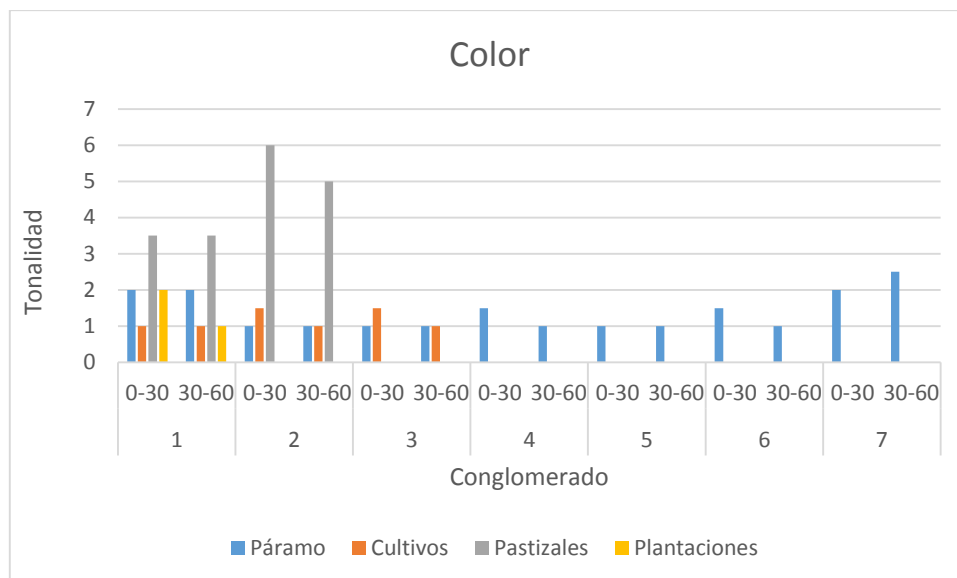


Gráfico 3-3: Resultados de color.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

Los suelos de páramo poseen rangos de color muy variables que van desde tonalidades oscuras y los ubica en la gama de 5YR hasta 7,5YR de las tablas de color de Munsell; la intensidad del color se debe a la presencia de MO y empieza a aclararse a medida que la profundidad aumenta. Los suelos de las plantaciones están en un rango de color similar a los suelos de páramo.

Los suelos de cultivos presentan tonalidades más claras que los suelos de páramo, y por su parte los suelos de pastizales (especialmente los del conglomerado 2) poseen tonalidades más oscuras que los suelos de páramo, marcando una clara relación con el contenido de MO debido a que el porcentaje de MO es mayor, entonces la intensidad del color también será mayor.

Tabla 4-3: Interpretación de los resultados de textura.

Textura	Valor en el gráfico
Arcillosa	40
Limo	30
Franca	20
Franca-Arenosa	16
Areno-Francosa	13
Arenosa	10

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

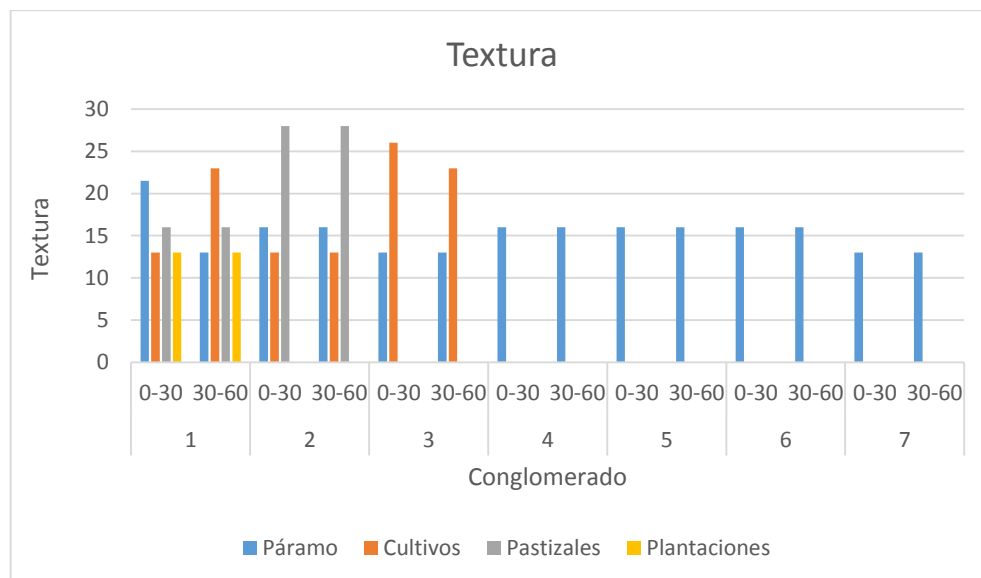


Gráfico 4-3: Resultado de textura.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

El gráfico de la textura del suelo está basado en el tipo de grano que presentan la muestras, los valores más bajos son para granos gruesos, mientras que los valores más altos son para granos finos, entonces se observa que los suelos de páramo poseen una textura entre Franca y Arenosa, mientras que los suelos de cultivos son limosos, esto debido a la manipulación que reciben por parte de los agricultores, quienes remueven y aran el suelo para cultivar.

En los suelos de pastizales hay una gran variabilidad entre los dos conglomerados analizados, a mayor altitud el suelo tiende a ser Limo-Francoso. Los suelos del conglomerado de plantaciones son Areno-Francosos, es decir más gruesos que los de cultivo, debido a que no existe un manejo sobre las formaciones vegetales de los bosques.

Tabla 5-3: Interpretación de los resultados de estructura.

Estructura	Valor en el gráfico
Bloquiforme	3
Granular	2
Grano simple	1

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

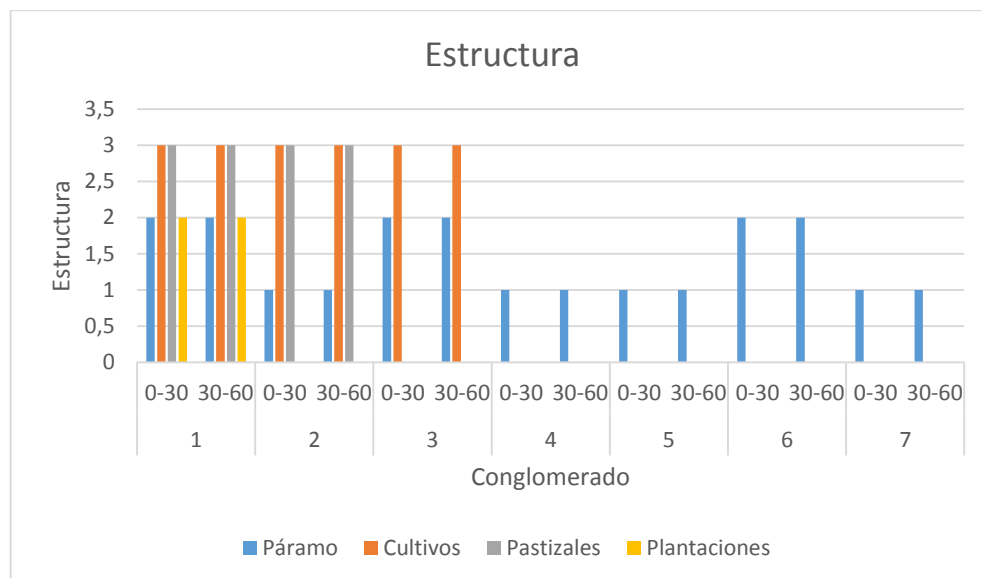


Gráfico 5-3: Resultado de estructura.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

De este análisis se obtuvo que los suelos del ecosistema páramo tienen estructura granular en su mayoría, algunas de grano simple. Los suelos de plantaciones poseen estructura granular, y todos los suelos de los cultivos y pastizales tienen estructura bloquiforme; esto se relaciona con las actividades desarrolladas en estos suelos.

El pastoreo genera compactación en los suelos, debida a la presión que ejercen las pisadas del ganado, y modificando la estructura del suelo. Por su parte las muestras de suelos de cultivos se ven afectadas debido al constante movimiento de las parcelas durante el arado, siembra y cosecha de los cultivos.

3.1.3 *Humedad y Densidad aparente*

Tabla 6-3: Resultados de Humedad.

Promedios de %H			
Páramo	Cultivos	Pastizales	Plantaciones
21,31 ±4,35	14,59 ±3,70	14,02 ±11,89	23,29 ±2,18

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

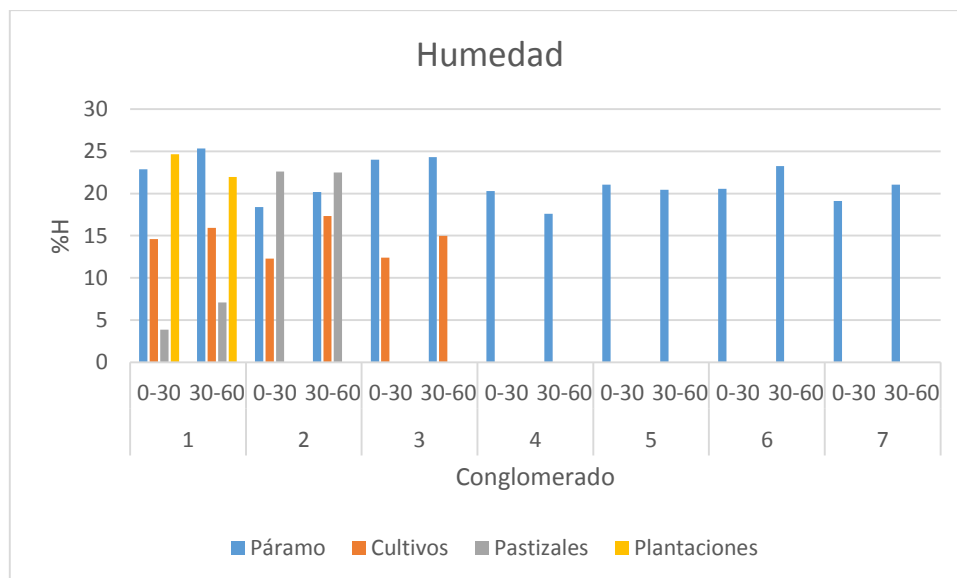


Gráfico 6-3: Resultados de Humedad.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

Como resultado del método del terrón se obtuvo que los suelos de páramo tienen alrededor de 21% de humedad relativa, superados en un ligero porcentaje por los suelos de plantaciones. Resultados debidos a que existe poca intervención de humana en dichos suelos, de hecho los suelos de páramo presentan una mayor desviación estándar que está relacionada con la cantidad de datos trabajados para el análisis ya que se usaron 7 conglomerados, mientras que las plantaciones, sólo uno.

Por su lado los suelos de cultivos y pastizales están alrededor del 14% de humedad, menor a los de páramo, por efecto de acciones humanas que se desarrollan en estos, lo que provoca la pérdida de humedad. Difieren en que el conglomerado de mayor altitud (4000 – 4200 m s. n. m.) de los pastizales posee una humedad similar a la de los suelos de páramo, y el conglomerado de menor altitud (3600 – 3800 m s. n. m.) una humedad mayor.

La MO juega un rol significativo en el mantenimiento de las propiedades físicas del suelo y está asociada a una acumulación de nutrientes y retención de agua (Simón, et al., 2013, pp.45-55); por lo tanto se comprueba que el alto porcentaje de humedad presente en los suelos de pastizales está evidenciado en el porcentaje de MO como se muestra en la Tabla 8-3.

Tabla 7-3: Resultados de Densidad aparente.

Promedios de Da			
Páramo	Cultivos	Pastizales	Plantaciones
1,26 ±0,36	1,68 ±0,99	1,15 ±0,12	1,20 ±0,04

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

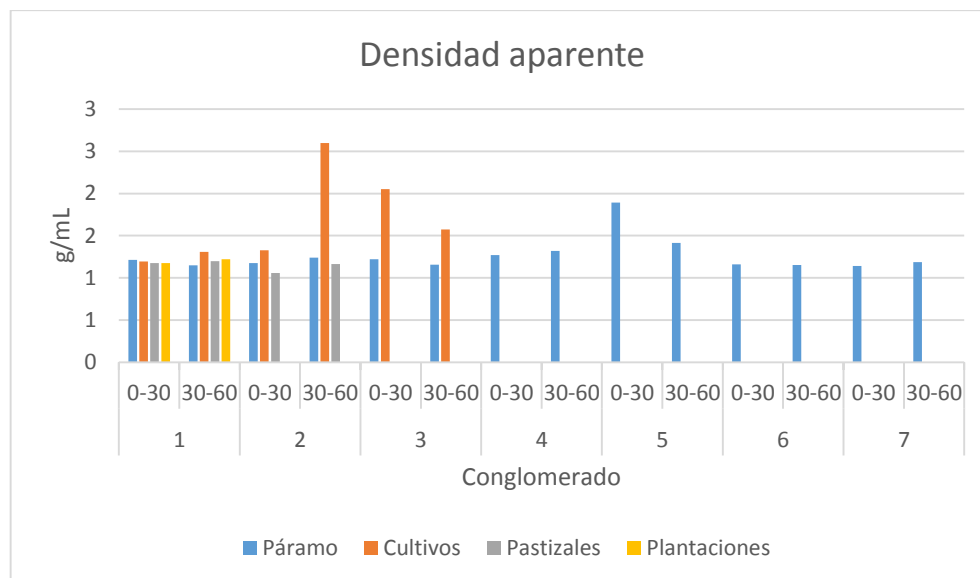


Gráfico 7-3: Resultados de Densidad aparente.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

El método del terrón cubierto de parafina mostró resultados considerablemente similares para todos los casos de uso del suelo. El mayor valor de densidad aparente se evidenció en las muestras de cultivos (5,34 g/mL), y fue este mismo uso de suelo el que presentó una desviación estándar mayor que en los casos restantes, pues el menor valor registrado de Da es 0,9318 g/mL, también perteneciente a las muestras de cultivos.

La desviación estándar corrobora que los resultados obtenidos en la Da de las muestras de cultivos presentan mayor variación, la cual está relacionada con el tipo de sembrío perteneciente a cada conglomerado (papa, haba y ajo).

A medida que aumenta la MO y el espacio poroso, disminuye la Da y viceversa. En suelos de textura fina la Da varía entre 1 y 1,2 g/mL, mientras que en suelos arenosos es mayor y puede variar entre 1,2 y 1,6 g/mL (Salamanca Jiménez & Sadeghian Khal, 2005, pp.381-397). Esto se explica con los resultados obtenidos de textura, en las muestras de cultivos y pastizales los suelos son limosos (textura fina) y en las muestras de páramo son francosos y franco-limosos, es decir textura más gruesa.

3.1.4 *Materia Orgánica*

Tabla 8-3: Resultados de Materia Orgánica.

Promedios de MO			
Páramo	Cultivos	Pastizales	Plantaciones
4,88 ±1,90	4,69 ±1,05	7,84 ±5,61	4,34 ±0,92

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

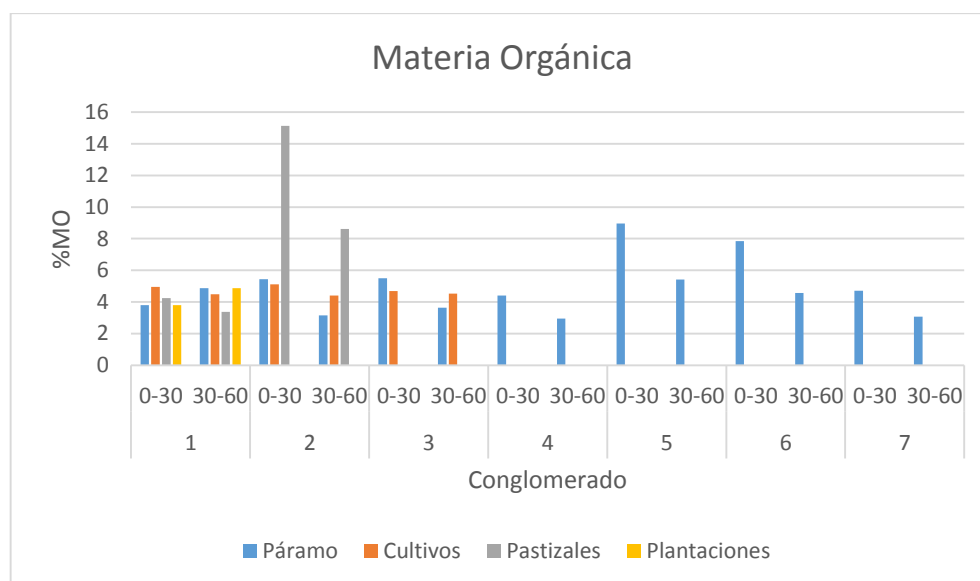


Gráfico 8-3: Resultados de Materia Orgánica.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

Los resultados del análisis de MO muestran claramente que el %MO en la mayoría de los casos (excepto el conglomerado 1 de páramo) decrece a medida que se incrementa la profundidad, en los conglomerados 5 y 6 de páramo donde la altitud es menor (3600 – 3800 m s. n. m.), el porcentaje de MO es mayor para ambas profundidades.

El %MO en el conglomerado de plantaciones se muestra muy similar al conglomerado 1 de páramo, relación que puede ser aceptable ya que ambos conglomerados se encontraban en los mayores rangos altitudinales de muestreo y sin intervención antrópica.

Los resultados de MO para los pastizales en el conglomerado 2 son mucho mayores que los obtenidos en páramo, valores que se pueden considerar como efecto del uso de suelo para ganadería, donde las especies animales aportan un porcentaje de carbono a los suelos cuando hacen sus deposiciones. Al contrario de los suelos de pastizales, los suelos de cultivos mostraron el menor %MO, también como resultado de las actividades antrópicas desarrolladas en ellos.

3.1.4.1 *Carbono Orgánico del Suelo*

Tabla 9-3: Resultados de COS.

Promedios de COS			
Páramo	Cultivos	Pastizales	Plantaciones
2,83 ±1,10	2,7239 ±0,61	4,55 ±3,25	2,52 ±0,53

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

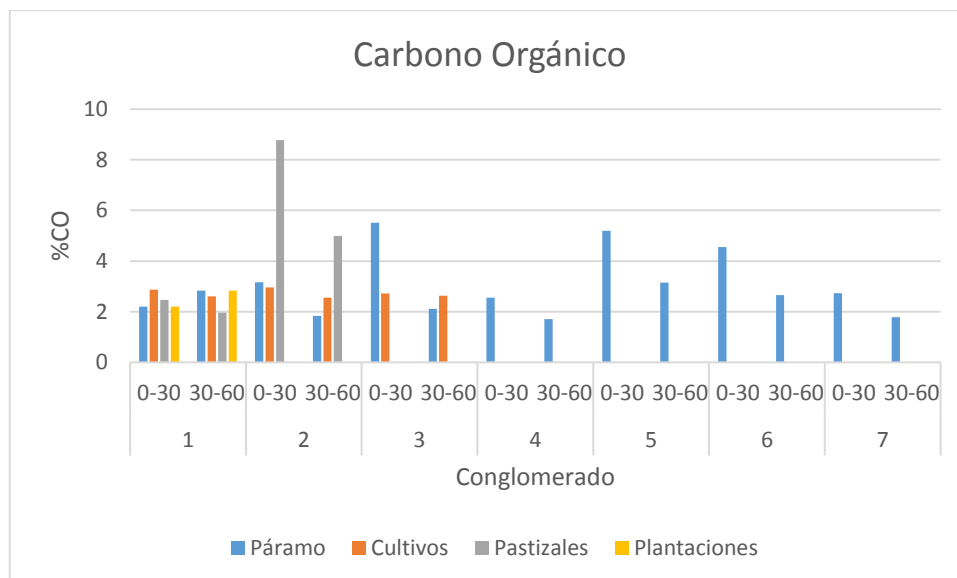


Gráfico 9-3: Resultados de Carbono Orgánico.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

El análisis de CO mostró que en la mayoría de las muestras de suelo analizadas el porcentaje disminuye a medida que aumenta la profundidad del suelo, con excepción del conglomerado de plantaciones, donde ocurre lo contrario, debido al no laboreo, uso de cubiertas sobre el terreno y control de la erosión que proporcionan los bosques (Solís Hernández, et al., 2014, pp.5-11). Su desviación es de $\pm 1,10$ por lo que los datos se manejan cerca del promedio.

Los suelos de cultivos tienen porcentajes de CO más bajos y su desviación estándar es relativamente pequeña, al igual que los resultados de las plantaciones. Los cambios de COS dependen de su tipo, posición topográfica, calidad y cantidad de vegetación producida e incorporada al suelo tanto en forma natural como a consecuencia de las actividades como desmontes, aprovechamientos y quemas de residuos (Solís Hernández, et al., 2014, pp.5-11).

Como en el caso del porcentaje de MO, el %CO es mayor en los conglomerados 5 y 6 para ambas profundidades; los pastizales muestran el porcentaje más alto de CO, así como una desviación mayor ($\pm 3,25$) a la obtenida en todos los usos de suelo analizados. Los sistemas agroforestales y el control del sobrepastoreo son prácticas que aumentan el contenido de carbono en el suelo a plazo largo (Solís Hernández, et al., 2014, pp.5-11).

Tabla 10-3. Determinación de COS en mg/ha

Promedios de COS			
Páramo	Cultivos	Pastizales	Plantaciones
109,51 $\pm 55,01$	136,92 $\pm 41,95$	152,18 $\pm 93,16$	90,37 $\pm 18,19$

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

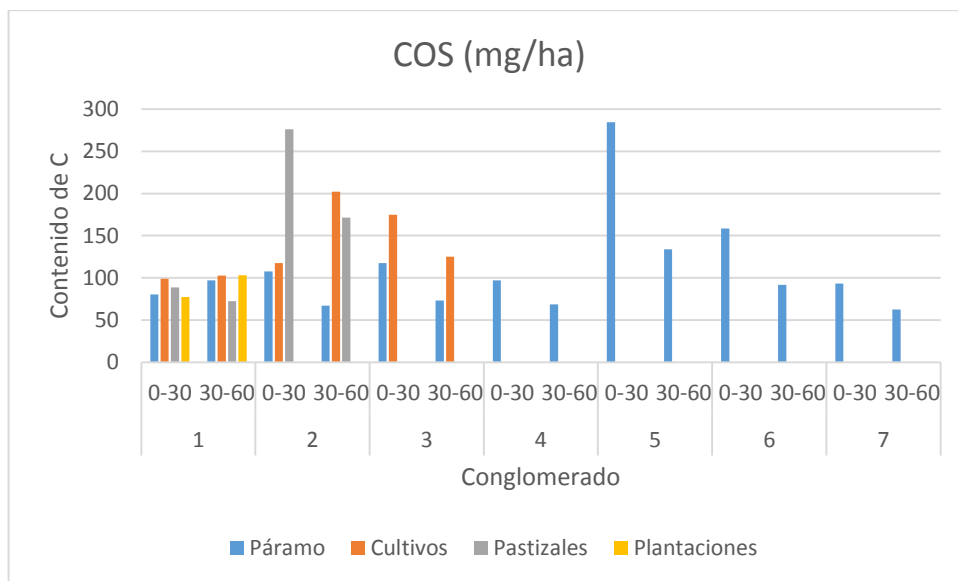


Gráfico 10-3. Contenido de COS en mg/ha.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

La determinación de COS para los suelos de páramo demostró que el contenido en las muestras de menor profundidad es mayor al contenido de las muestras de mayor profundidad, y para el caso de los cultivos existió una variación en los resultados del conglomerado 2, donde el contenido de COS fue mayor en la profundidad de 30 a 60 cm. Sin embargo la desviación estándar para los suelos de pastizales es considerablemente amplia, lo cual se evidencia en el nivel más alto y más bajo de los resultados, existiendo un rango mayor a 200 mg/ha.

3.2 Análisis Estadístico

Se realizó el análisis estadístico de los resultados de COS obtenidos en el laboratorio, usando un diseño de dos factores: uso del suelo (A) y profundidad de la muestra (B) para analizar los efectos principales para el porcentaje de carbono orgánico, como se muestra en el gráfico a continuación.

Usando los valores promedio y las varianzas de los resultados se ajustaron las medidas de los datos para el caso de los usos de suelo, en los que el número de conglomerados era menor a 7, con lo cual se completaron las matrices de variable respuesta para la aplicación del modelo estadístico. El programa usado para el análisis del diseño factorial fue Minitab.

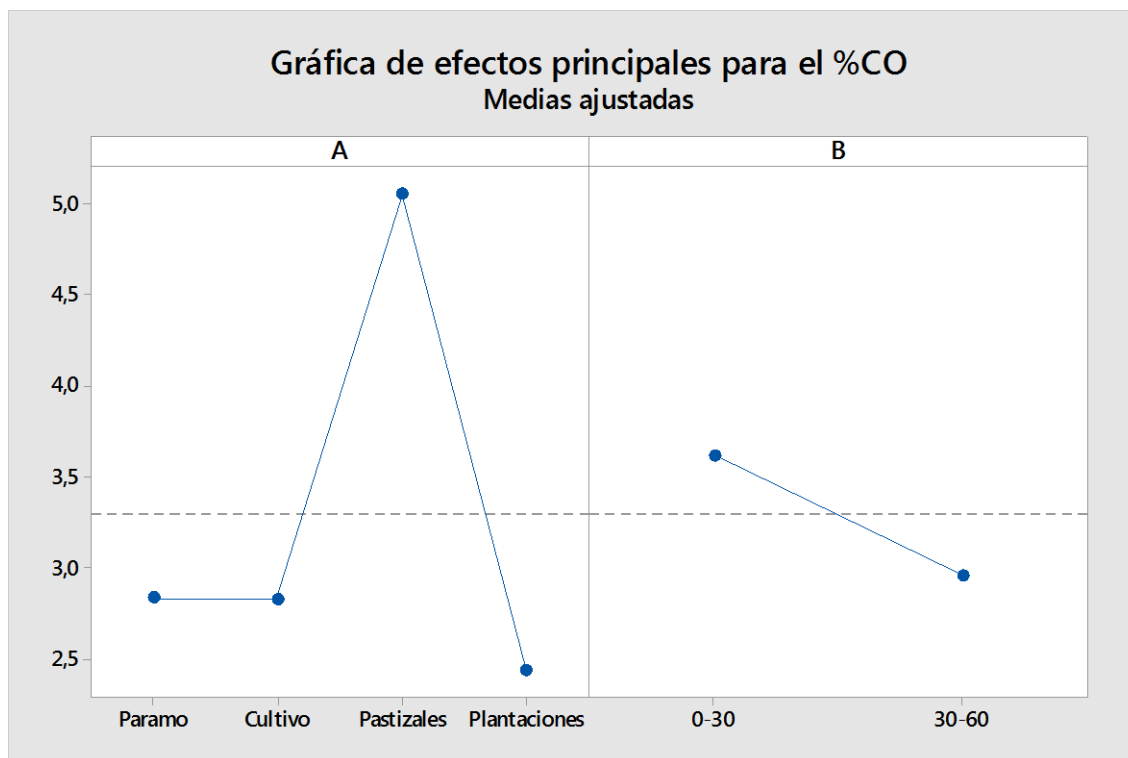


Gráfico 11-3: Efectos principales para el %CO

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

Como resultado del primer análisis (A) se pudo apreciar la diferencia existente en el contenido de COS en base a los usos de suelo existentes en la Microcuenca del Río Chimborazo. El gráfico muestra las diferencias existentes en el contenido de COS de acuerdo a las actividades antrópicas; mostrando a su vez que los niveles más altos de carbono pertenecen a los conglomerados de pastizales, mientras que los más bajos fueron los conglomerados pertenecientes a plantaciones.

El factor B “Profundidad” en su nivel bajo “0-30 cm”, generó porcentajes de carbono elevados en comparación a su nivel 30-60 cm, confirmando los resultados obtenidos en las tablas anteriores, donde se pudo demostrar cuantitativamente que el COS disminuye su concentración a medida que aumenta la profundidad del suelo.

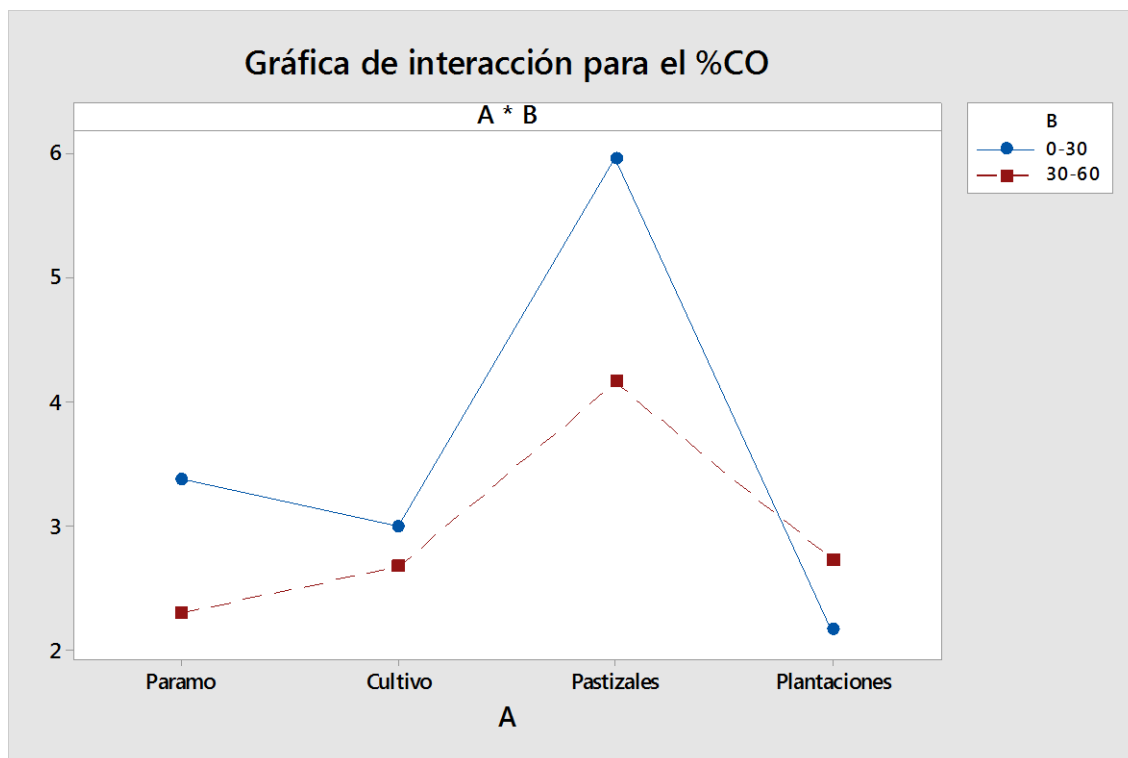


Gráfico 12-3: Interacción del porcentaje de CO

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

En el gráfico anterior se puede apreciar al %CO como la interrelación de usos de suelo (A) con la profundidad de la muestra (B), a partir de la gráfica se interpreta que, a una profundidad de 0-30 cm en el uso de suelo de pastizales presentan los mayores porcentajes de CO, y las plantaciones presentan el menor porcentaje.

El porcentaje de COS a mayor profundidad sigue siendo mayor en los pastizales, pero los menores niveles pertenecen a los páramos. A pesar de esto, son estos dos usos del suelo los que poseen mayor rango de variabilidad en los resultados, ya que los cultivos y las plantaciones no tienen una diferencia de %CO muy amplia como en los primeros casos.

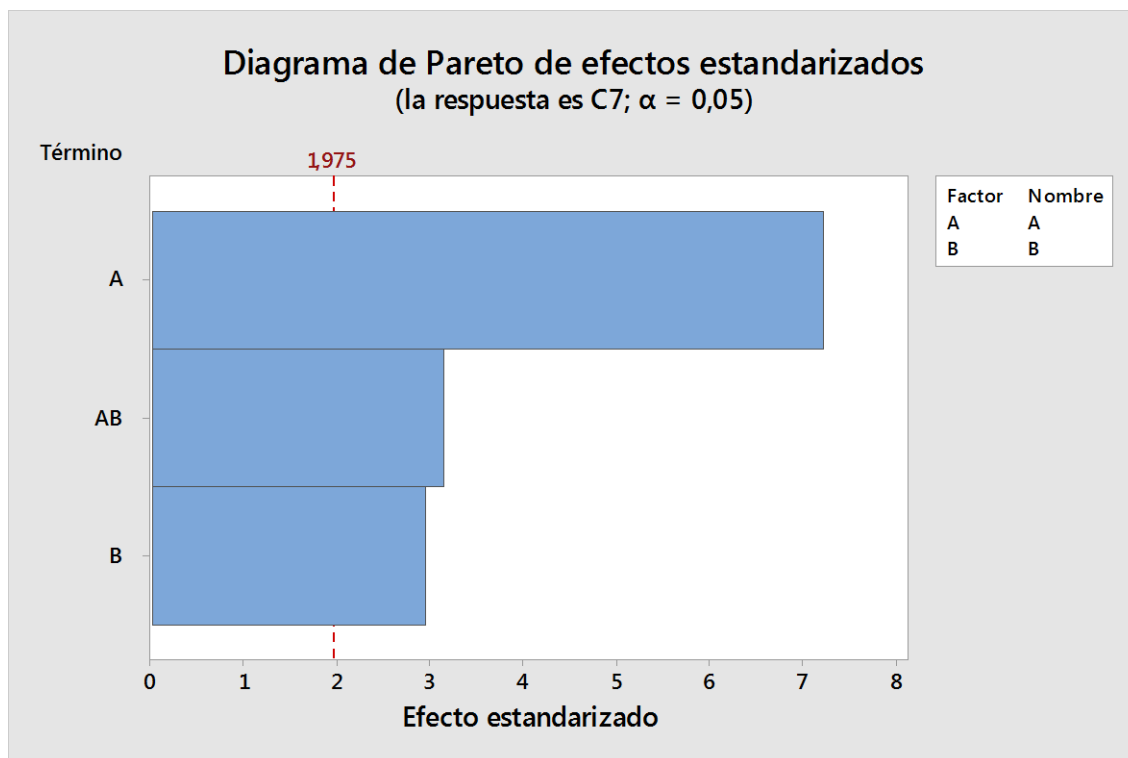


Gráfico 13-3: Análisis de efectos estandarizados.

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

En el gráfico se aprecia que los factores A y B son significativos (mayor a cero) tanto en su interacción, como individualmente, lo cual se demostró con el análisis de varianza (ADEVA), mostrado a continuación.

Tabla 11-3: ADEVA de dos factores.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Uso del Suelo	178,665	3	59,555	28,28	0,0000
B: Profundidad	18,2556	1	18,2556	8,67	0,0037
INTERACCIONES					
AB	32,3791	3	10,793	5,13	0,0021
RESIDUOS	336,928	160	2,1058		
TOTAL (CORREGIDO)	566,228	167			

Realizado por: Rosero Gabriela, 2019

Una vez realizado el ADEVA se concluye que las actividades antrópicas desarrolladas en la Microcuenca del Río Chimborazo influyen de forma significativa en el contenido de Carbono Orgánico del Suelo en el ecosistema de páramo.

3.3 Análisis sociocultural

De la aplicación de entrevistas y encuestas a los pobladores de la Parroquia San Juan se obtuvo información relacionada con la degradación del medio ambiente. Mediante la Constitución de la Republica de Ecuador (2008) reconoce en el Art. 14 el derecho que tiene la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, todo esto enmarcado en el Sumak Kawsay o Buen Vivir, buscando un enfoque más integral del cuidado de la naturaleza en la actualidad.

3.3.1 Resultados de las encuestas.

Se aplicaron 77 encuestas a los habitantes de la Parroquia San Juan para obtener información social aplicable a los resultados obtenidos en laboratorio. A continuación se describe a detalle los resultados de cada una de las preguntas.

Pregunta 1. ¿Conoce usted qué son los usos de suelo?

Tabla 12-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 1.

Pregunta 1	Frec.	Porcentaje
SI	65	84,4
NO	12	15,6
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

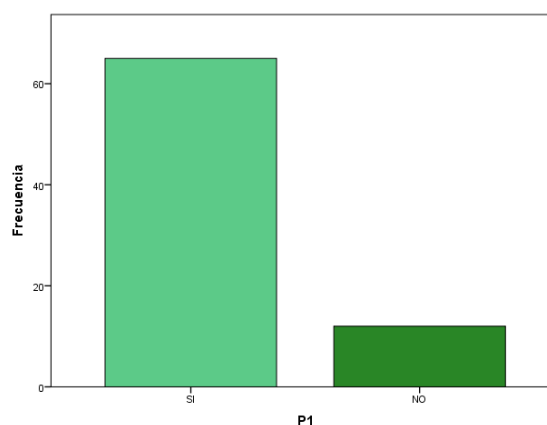


Gráfico 14-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 1.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

De acuerdo con los resultados obtenidos se identificó que el 84,4% de los encuestados si tienen conocimiento sobre los usos de suelo, mientras que el 15,6 restante lo desconoce; de este modo se puede decir que una gran mayoría de los pobladores de la Parroquia San Juan esta vinculados a actividades que implican el uso de suelo.

Pregunta 2. ¿En los últimos 10 años ha visto cambios evidentes en el uso de suelo en la Parroquia San Juan?

Tabla 13-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 2.

Pregunta 2	Frec.	Porcentaje
SI	57	74,0
NO	20	26,0
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

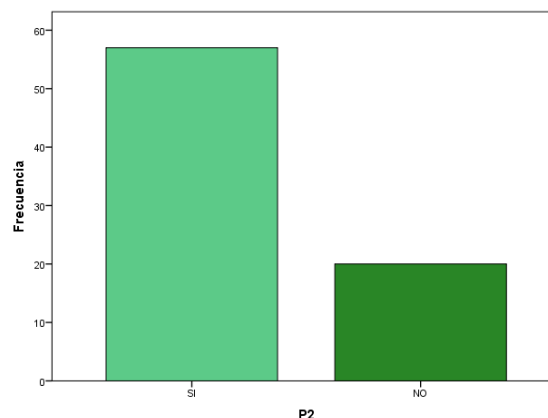


Gráfico 15-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 2.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

El 74% de los habitantes encuestados evidencian la existencia de cambios notorios en el uso de suelo de la Parroquia San Juan, por lo tanto el 26% restante evidencia que no han existido dichos cambios. Sin embargo el resultado puede ser aceptable ya que la diferencia de porcentajes es amplia.

Pregunta 3. Del 1 al 5, en general, ¿qué tan significativo considera el cambio en el uso de suelo en la parroquia San Juan?

Tabla 14-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 3.

Pregunta 3	Frec.	Porcentaje
MUY BAJA	4	5,2
BAJA	11	14,3
MEDIA	53	68,8
ALTA	8	10,4
MUY ALTA	1	1,3
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

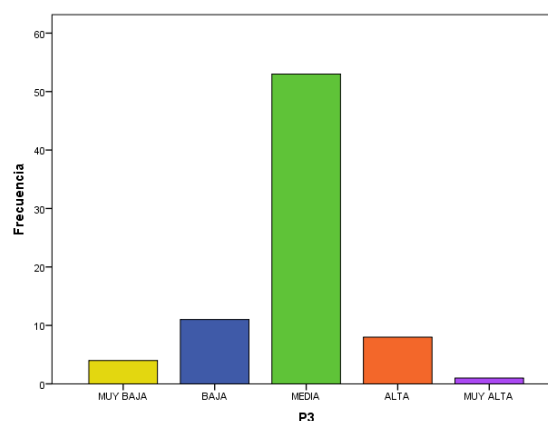


Gráfico 16-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 3.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

De la totalidad de habitantes encuestados, el 5,2% cree que el cambio en el uso de suelo de la Parroquia San Juan es de muy baja significancia, el 14,3% considera que dicho cambio es bajo, mientras que el 68,8 lo considera medianamente significativo, por su parte un 10,4% cree que el cambio es alto y apenas un 1,3% cree que de muy alta significancia.

Con estos resultados podemos conocer que los pobladores de la parroquia han percibido cambios medianamente significativos en el uso de suelos, mostrando que más del 50% de los comuneros concuerdan con esta opción que representaría a la mayoría de la población.

Pregunta 4. Del 1 al 5, ¿cómo considera los cambios existentes en el suelo debido a la ganadería en los últimos 10 años?

Tabla 15-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 4.

Pregunta 4	Frec.	Porcentaje
MUY BAJA	5	6,5
BAJA	11	14,3
MEDIA	42	54,5
ALTA	15	19,5
MUY ALTA	4	5,2
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

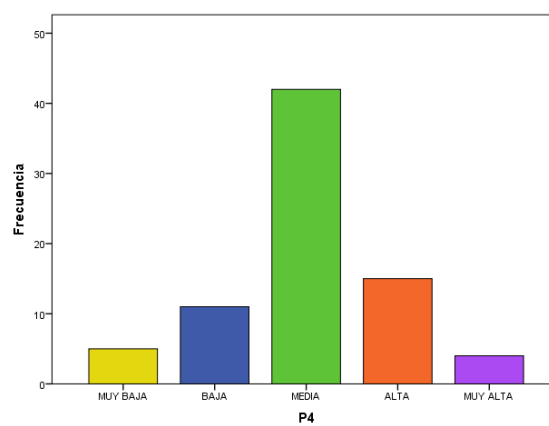


Gráfico 17-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 4.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

Para el caso de los cambios existentes en el suelo debido a la ganadería en los últimos 10, los habitantes encuestados creen en un 6,5 % que han sido muy bajos, el 14,3% creen que son bajos, la mayoría de los habitantes, que representa el 54,5% opina que los cambios han sido medios, a diferencia del 19,5% y 5,2% quienes opinan que dichos cambios han sido altos y muy altos, respectivamente.

Al igual que en la respuesta a la pregunta anterior, la mayoría de los pobladores de la Parroquia San Juan mostraron un común acuerdo en que los cambios que han ocurrido en el uso de suelo debido al trabajo con ganado, ha sido medianamente significativo, en concordancia con 42 personas que representan a la mayoría de la población encuestada.

Pregunta 5. Del 1 al 5, ¿cómo considera los cambios existentes en el suelo debido a la agricultura en los últimos 10 años?

Tabla 16-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 5.

Pregunta 5	Frec.	Porcentaje
MUY BAJA	1	1,3
BAJA	20	26,0
MEDIA	30	39,0
ALTA	23	29,9
MUY ALTA	3	3,9
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

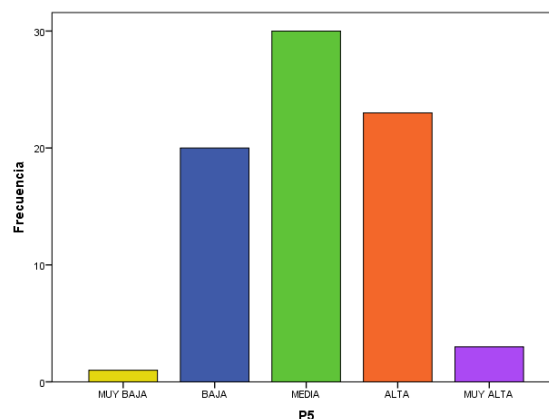


Gráfico 18-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 5.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019.

La consideración que tienen los habitantes de la Parroquia San Juan en cuanto a los cambios debido a la agricultura, está distribuida en un 1,3% para quienes creen que han sido muy bajos, el 26% considera que los cambios han sido bajos, el 39% de los habitantes cree que dichos cambios en los últimos 10 años han sido medios, mientras que un 29,9% considera altos cambios y un 3,9% muy altos cambios en el suelo debido a la agricultura.

Pregunta 6. Del 1 al 5, ¿cómo considera los cambios existentes en el suelo debido a la quema en los últimos 10 años?

Tabla 17-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 6.

Pregunta 6	Frec.	Porcentaje
MUY BAJA	8	10,4
BAJA	24	31,2
MEDIA	18	23,4
ALTA	22	28,6
MUY ALTA	5	6,5
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

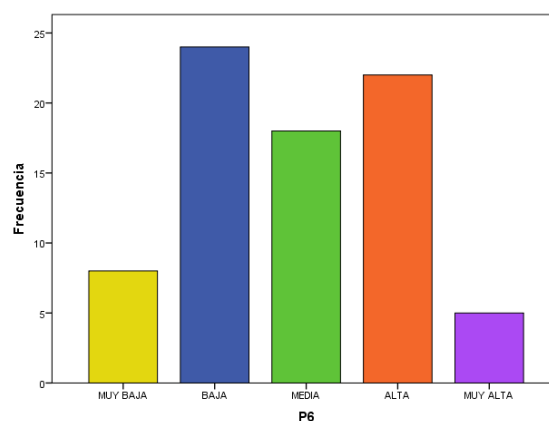


Gráfico 19-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 6.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre el cambio en el uso de suelo debido a la quema, se obtuvo un 10,4% de habitantes que dicen que los cambios son muy bajos, el 31,2% que representa a la mayoría cree que los cambios son bajos, un 23,4% cree que son medios, el 28,6% que también es un alto porcentaje, dice que los cambios son altos, finalmente el 6,5% dice que estos cambios han sido muy altos en los últimos 10 años.

Pregunta 7. ¿Cree usted que los cambios en el uso de suelo han afectado al medio ambiente de la Parroquia San Juan?

Tabla 18-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 7.

Pregunta 7	Frec.	Porcentaje
SI	61	79,2
NO	16	20,8
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

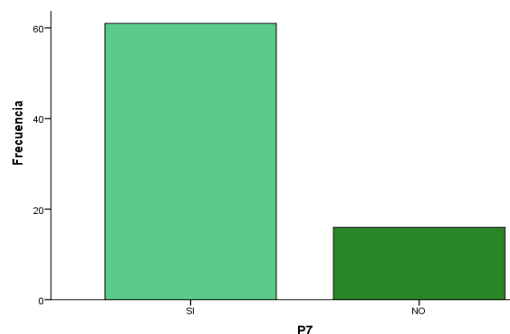


Gráfico 20-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 7.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019.

Los habitantes encuestados de la Parroquia San Juan concuerda en un 79,2% que los cambios en los usos de suelo han afectado al medio ambiente de las comunidades, por su parte el 20,8% de los habitantes no concuerda con esto, y creyendo que la Parroquia San Juan no se ha visto afectada ambientalmente.

Pregunta 8. Del 1 al 5, ¿En qué grado considera que su familia o comunidad se ha visto afectada por el cambio en el uso de suelo?

Tabla 19-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 8.

Pregunta 8	Frec.	Porcentaje
MUY BAJA	7	9,1
BAJA	18	23,4
MEDIA	28	36,4
ALTA	21	27,3
MUY ALTA	3	3,9
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

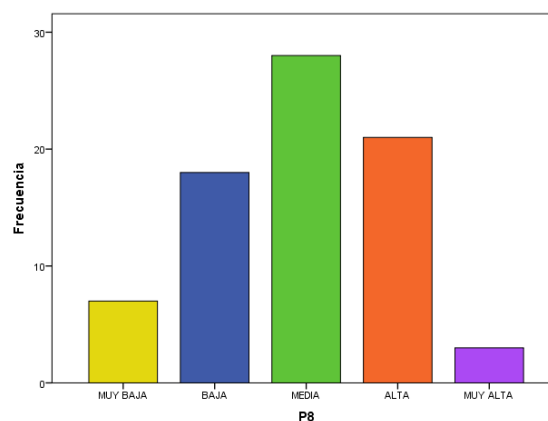


Gráfico 21-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 8.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

El 9,1% de los habitantes de la Parroquia San Juan concuerda en que su familia o comunidad se ha visto afectada en un grado muy bajo debido al cambio en el uso de suelo, el 23,4% concuerda en que la afectación ha sido baja y el 36,4 en que ha sido media, mientras que el 27,3% y 3,9% considera que la afectación ha sido alta y muy alta, respectivamente. La frecuencia que presentó mayoría en los resultados de esta pregunta, marca un criterio centrado en el cual no todos los pobladores han notado cambios extremos en su familia o comunidad debido al uso del suelo.

Pregunta 9. ¿Cuál cree usted que sería la mejor actividad productiva para la Parroquia San Juan?

Tabla 20-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 9.

Pregunta 9	Frec.	Porcentaje
TURISMO SOSTENIBLE	25	32,5
AGRICULTURA	36	46,8
GANADERIA	11	14,3
INDUSTRIAL	5	6,5
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

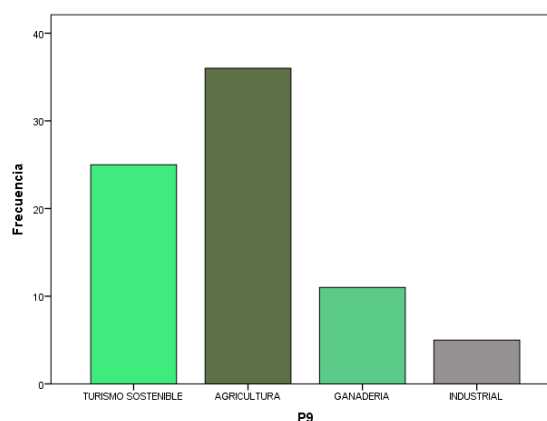


Gráfico 22-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 9.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

De la totalidad de habitantes encuestados el 32,5% considera que la mejor actividad productiva para la Parroquia San Juan es el turismo sostenible, por otra parte el 46,8% opina mayoritariamente que la mejor actividad sería la agricultura, que es la actividad desarrollada con mayor frecuencia en la actualidad; el 14,3% de los pobladores sostienen que la ganadería sería la mejor actividad, y un pequeño grupo del 6,5% considera a la actividad industrial como la mejor. Todos estos resultados están acorde con el Gráfico 3-1 del porcentaje de la población económicamente activa de la Parroquia San Juan, siendo la actividad agrícola la que cuenta con un mayor número de pobladores dedicados a esta actividad.

Pregunta 10. ¿Cuántos animales pastorea cada día?

Tabla 21-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 10.

Pregunta 10	Frec.	Porcentaje
MENOS DE 10	38	49,4
ENTRE 10 Y 50	15	19,5
ENTRE 50 Y 100	16	20,8
MÁS DE 100	8	10,4
Total	77	100,0

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

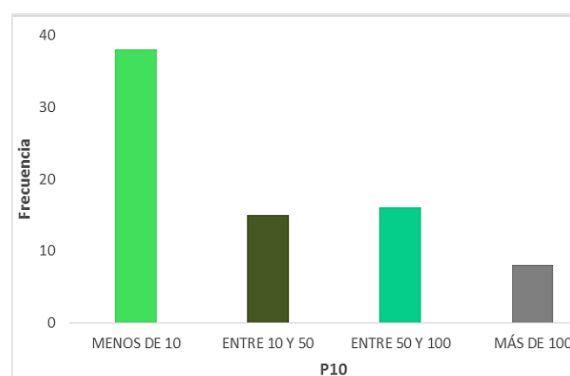


Gráfico 23-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 10.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

Como resultado de esta pregunta se pudo conocer que el 49,4% de la población pastorea un aproximado de 10 animales diarios (incluido ganado vacuno, ovino y porcino), por su parte el 20,8% pastorea entre 50 y 100 animales, mientras que el 19,5% pastorea entre 10 y 50 animales, y el 10,4% pastorean más de 100 animales diariamente.

Pregunta 11. ¿Cada cuánto tiempo realiza rotación de cultivos?

Tabla 22-3: Resultados de frecuencias y porcentajes de la pregunta 11.

Pregunta 11	Frec.	Porcentaje
MENOS DE 6 MESES	30	39,0
ENTRE 6 Y 12 MESES	37	48,1
ENTRE 12 Y 24 MESES	10	13,0
MÁS DE 2 AÑOS	0	0,0
Total	77	100

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

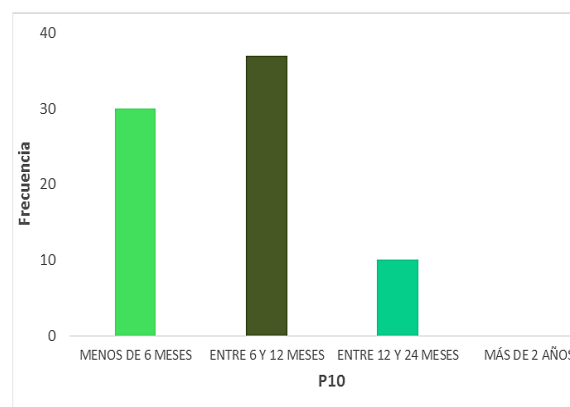


Gráfico 24-3: Resultados de frecuencias de la pregunta 11.

Realizado por: Gabriela Rosero, 2019

Los resultados de la pregunta 11 mostraron que un 39% de la población realiza rotación de cultivos en periodos máximos comprendidos hasta seis meses, mientras que el mayor porcentaje correspondiente al 48,1% realiza la rotación entre seis meses y un año, dependiendo del tipo de cultivo, y el 13% de la población realiza rotación de cultivos entre uno y dos años.

CONCLUSIONES

- Las propiedades fisicoquímicas del suelo analizadas en el ecosistema de páramo de la Microcuenca del Río Chimborazo, concluye que el pH va desde fuertemente ácido hasta neutro (5 a 7), la conductividad eléctrica promedio es 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el porcentaje de humedad está sobre el 20%, y el porcentaje de materia orgánica es de nivel medio (4,88%) para las muestras de suelo no intervenido y alto (7,84%) para las muestras de pastizales.
- Se estimó el contenido de COS entre la cobertura natural de páramo y las zonas con intervención antropogénica del suelo perteneciente a la Microcuenca del Río Chimborazo, obteniendo valores de COS en el páramo no intervenido de $107,44 \pm 69,04$ mg/ha, para las plantaciones es de $90,41 \pm 19,33$ mg/ha; para el caso de los suelos intervenidos por actividades antrópicas es de $152,18 \pm 96,82$ mg/ha para los pastizales y $136,92 \pm 85,29$ mg/ha para cultivos, mostraron que el contenido de carbono orgánico del suelo es mayor al contenido presente en el ecosistema de páramo sin intervención debido a que estos últimos están relacionados con el aporte de MO proporcionado por las deposiciones del ganado y el abono agregado al suelo respectivamente.
- El contenido de COS en la Microcuenca del Río Chimborazo está influenciado por las actividades antrópicas y la altitud del ecosistema. En todos los casos el contenido de COS es inversamente proporcional a la profundidad, es decir a mayor profundidad (30 a 60 cm) menor contenido de COS.

RECOMENDACIONES

- Aunque el clima en los ecosistemas de páramo es poco predecible, las salidas de campo deben ser debidamente planificadas, teniendo en cuenta materiales, equipo de trabajo y clima para evitar interferencias durante el muestreo de los conglomerados.
- Las muestras de suelo deben ser procesadas en el menor tiempo posible, especialmente para el análisis de potencial de Hidrógeno y conductividad eléctrica, de este modo se evita la existencia de datos con gran margen de error.
- Es apropiado usar un método con mayor nivel de confianza, como el potenciométrico, para el análisis de materia orgánica de los suelos y tener resultados más confiables usando equipos correctamente calibrados.

BIBLIOGRAFÍA

Amaguaya Llamuca, J. L., 2015. *DETERMINACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO DE BOSQUE NATIVO DE CEJA ANDINA EN EL SECTOR GUANGRA, PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.* Riobamba(Chimborazo)

Bustos, . A. L. & Bustos, E., 2010. *LA PROTECCIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIMBORAZO; A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL, PARTICIPATIVO Y SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO*, Riobamba-Ecuador

Castañeda-Martín, A. E. & Montes-Pulido, C. R., 2016. Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 3(1), pp. 210-221.

Castro, M., 2010. *VALORACIÓN ECONÓMICA DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CARBONO EN BOFEDALES PARAMUNOS ECUATORIANOS*. Quito, Ecuador: EcoCiencia.

Chen, S. y Arrouays, D., 2018. ‘Soil Carbon Stocks Are Underestimated in Mountainous Regions’. *Geoderma*, 320(January), pp. 146–148. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.01.029.

Coronel Chicaiza, A. C., 2016. *DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELO Y BIOMASA DEL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CHOCAVÍ DE LA PARROQUIA SAN ISIDRO*. Riobamba(Chimborazo)

Coronel, R., Ramón, G. & Terán, M. J., 2017. DIALOGO DE SABERES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS COMUNIDADES ALTOANDINAS DEL ECUADOR. En: s.l.:s.n., pp. 1, 6, 11.

Daza Torres, M. C., Hernández, F. & Triana, F. A., 2014. Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, pp. 7189-7200.

Echeverría, M. y otros, 2018. Quantification of Organic Carbon Stored in the Soil in the Paramo of Igualata, Chimborazo Province-Ecuador. 08.2003(020004).

ECOLAP y MAE, 2007. Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador. ECOFUND; FAN; DarwinNet; IGM. En: Quito, Ecuador: s.n., p. 153.

EcuRed, 2019. *Parafina* - *EcuRed*. [En línea]
Available at: <https://www.ecured.cu/Parafina>

EEA-INTA, 2016. Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. En: ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA SAN JUAN & INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA, edits. San Juan: s.n., pp. 5, 6, 9, 10.

ESCO, 2019. *Isotherm® Hornos de Laboratorio de Convección Forzada*. [En línea]
Available at: <http://www.escoglobal.es/product/hornos-de-laboratorio/hornos-de-laboratorio-de-conveccion-forzada/ofa/>

Estupiñán, L. et.al., 2009. EFECTO DE ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN EL PÁRAMO EL GRANIZO, (CUNDINAMARCA - COLOMBIA). *Scielo*.

Eswaran, H. et al. (2000) *Global Carbon Stocks*.

Eyherabide, M., et.al., 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *SciELO*, Enero, 32(1), pp. 13-19.

FAO, 2012. [En línea]
Available at: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

FisherScientific, 2019. *Thermo Scientific Thermolyne Benchtop 1100C Muffle Furnaces :Incubators*,. [En línea]
Available at: <https://www.fishersci.es/shop/products/thermolyne-benchtop-1100-c-muffle-furnaces/p-4529138>

GADP San Juan, 2015. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Juan*. Riobamba(Chimborazo): s.n.

GARCÍA MANCERO, D. F., 2016. *PROPUESTA DEL PLAN DE MANEJO DE LA PARTE ALTA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO JUVAL UBICADA EN EL CANTÓN ALAUSÍ PROVINCIA DE CHIMBORAZO - ECUADOR, CON LA UTILIZACIÓN DE UN SIG.*. Quito, Ecuador, s.n., p. 9.

García, H., 2013. *Valoración de los bienes y servicios ambientales provistos por el Páramo de Santurbán*, Bogotá: s.n.

Haceb, 2019. *HACEB > Cocción > Estufas > Cocineta-Arandano-Azul-1P*. [En línea]
Available at: <https://www.haceb.com/Detalle/rvdsfpid/cocineta-arandano-azul-1p-536/rvdsfcid/estufas-20>

HACH, 2010. *sensION+ EC5 HACH 0710.indd - 1003352_4*. [En línea]
Available at: https://support.hach.com/ci/okcsFattach/get/1003352_4
[Último acceso: 2019].

Hernández Muñoz, C. I., 2018. *ESTIMACIÓN DEL SECUESTRO DE CARBONO EDÁFICO EN EL ECOSISTEMA HERBAZAL DE PÁRAMO DEL TERRITORIO HÍDRICO DEL RÍO CEBADAS, CHIMBORAZO, ECUADOR.*. Riobamba: s.n.

Hernández, M. E., 2010. Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Redalyc*, abril-junio, 28(2), pp. 139-147.

Hirmas, D. R. & Furquim, S. A. C., 2016. Simple Modification of the Clod Method for Determining Bulk Density of Very Gravelly Soils. *ResearchGate*, Junio, Issue 37, p. 899–906.

Hofstede, R. y otros, 2014. *LOS PÁRAMOS ANDINOS ¿Qué Sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. Quito(Pichincha): UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza).

Informática, T. &., 2019. *TECNOLOGÍA E INFORMATICA*. [En línea] Available at: <https://tecnologia-informatica.com/que-es-gps-como-funciona-aplicaciones/>

INIA, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias T., 2015. *Semana de la Ciencia y Tecnología*. Tacuarembó

Intergovernmental Panel on Climate Change., 2000 *IPCC Special Report Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Available at: http://98.131.92.124/sites/default/files/2000_Watson_IPCC.pdf.

Inventario Forestal Nacional (IFN)., 2014. *Procedimientos para la planificación, medición y registro de información del Inventario Forestal Nacional del Paraguay*. s.l.:ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.

Johnson, S., 2019. *@SCJGreenChoices*. [En línea] Available at: <https://www.whatsinsidescjohnson.com/us/en/brands/ziploc/ziploc-brand-sandwich-bags>

Lal, R., 2004. ‘Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change’. *Geoderma*, 123(1–2), pp. 1–22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032.

lapaca, 2017. [En línea] Available at: <http://www.lapacacr.com/images/Eijkelkamp/Barrenos-low.pdf> [Último acceso: 2019].

Lizcano Toledo, R., et.al., 2017. *Muestreo de Suelos, Técnicas de Laboratorio e Interpretación de Análisis de Suelos*. La Angostura(Huila): HULIA: Panamericana Formas e Impresos S.A.

López, A. J., 2006. *MANUAL DE EDAFOLOGÍA*. 2005-2006 ed. Sevilla: s.n.

MAE, 2012. *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: MINISTERIO DE AMBIENTE DEL ECUADOR.

Martínez , E., Fuentes , J. P. & Acevedo, E., 2008. CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *scielo*, pp. 68-96.

Martínez Ramosa, M., et.al., 2016. Anthropogenic disturbances jeopardize biodiversity conservation within tropical rainforest reserves. *Actividades humanas ponen en peligro la conservación de la biodiversidad en las reservas naturales*, 11 abril.

Mathur, M. & Awasthi, S., 2016. Carbon neutral village/cluster: a conceptual framework for envisioning. *CURRENT SCIENCE*, 10 04, 110(7), pp. 1208-1215.

Medina, G. & Mena Vásconez, P., 2001. *LA BIODIVERSIDAD DE LOS PÁRAMOS EN EL ECUADOR*. s.l.:s.n.

Mena Vásconez, P. & Hofstede, R., 2006. *Los páramos ecuatorianos*. Quito(Pichincha)

Minasny, B. et.al., 2017. ‘Soil Carbon 4 per Mille’. *Geoderma*, 292, pp. 59–86. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002.

Ministerio del Ambiente, 2015. *Reserva de Producción de Fauna Chimborazo*. [En línea] Available at: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-de-produccion-fauna-fauna-stica-chimborazo> [Último acceso: 2019].

Montes-Pulido, C. R., Ramos Miras, J. J. & San José Wery, A. M., 2016. Estimation of soil organic carbon (SOC) at different soil depths and soil use in the Sumapaz paramo, Cundinamarca - Colombia. *Acta Agronomica*, 19 01.p. 17.

Muñoz, E., 2008. *PROYECTO DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES DE CHIMBORAZO*, CHIMBORAZO, ECUADOR: CONSEJO PROVINCIAL DE CHIMBORAZO.

Muñoz Jácome, E. A., et.al., 2015. Metodología para la evaluación del nivel tecnológico del cultivo de Rye grass en los Andes ecuatorianos.

OHAUS, 2019. *Balanzas Analíticas.* [En línea]
Available at: <https://mx.ohaus.com/es-mx/products/balances-scales/analytical-balances>

Pouwut, P., et.al., 2013. Water in Ecuador - ARTICLE III. En: *Climate of Ecuador*. s.l.:s.n., p. 23.

Rucks, L., et.al., 2004. *Propiedades Físicas del Suelo*. MONTEVIDEO

Salamanca Jiménez, A. & Sadeghian Khal, S., 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. 56(4), pp. 381-397.

Scientific, F., 2012. *fisher-scientific-accumet-ab-series-instruction-manual-spanish.pdf*. [En línea]
Available at: https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/user-manuals/fisher-scientific-accumet-ab-series-instruction-manual-spanish.pdf
[Último acceso: 2019].

Simón, M., Peralta, N. & Costa, J. L., 2013. RELACION ENTRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA APARENTE CON PROPIEDADES DEL SUELO Y NUTRIENTES. En: Mar de Plata: AACS, pp. 45-55.

Sistema de Indicadores Sociales del Ecuador, 2015. *Páramos en el Ecuador*. [En línea]
Available at: http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/SIDENPE/ficsdp_paramo.htm

Solís Hernández, A. y otros, 2014. Carbono orgánico del Suelo en rodales Silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. *Radalyc*, Septiembre-Diciembre, Issue 63, pp. 5-11.

Torres G., A. M., et.al., 2012. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BIOMASA VEGETAL EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA DE COLOMBIA. *BOLETÍN CIENTÍFICO - CENTRO DE MUSEOS*, 16(1), pp. 132-142.

Universidad Nacional Autónoma de México, 2010. *Manual de Procedimientos Analíticos - Laboratorio de Suelos*. s.l.:s.n.

University of Calgary, 2016. *Vulnerability and Adaptation to Drought: The Canadian Prairies and South America*. Calgary(Alberta)

White, R.E. et.al., 2018. ‘A Critique of the Paper “Soil Carbon 4 per Mille” by Minasny et Al. (2017)’’. *Geoderma*, 309(May), pp. 115–117. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.05.025.

www.imagenesmi.com, s.f. *Soil Probes For Testing*. [En línea]
Available at: <https://www.imagenesmi.com/im%C3%A1genes/soil-probes-for-testing-86.html>
[Último acceso: Febrero 2019].

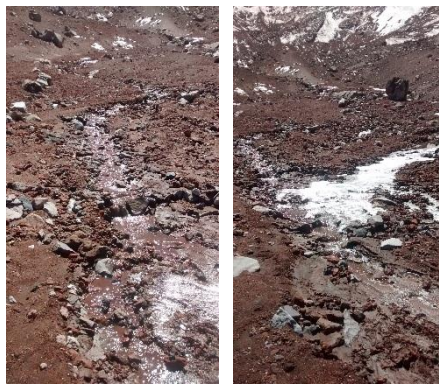
Zotarelli, L. et al., 2007. ‘Impact of Tillage and Crop Rotation on Light Fraction and Intra-Aggregate Soil Organic Matter in Two Oxisols’. *Soil and Tillage Research*, 95(1–2), pp. 196–206. DOI: 10.1016/j.still.2007.01.002.

ANEXOS

Anexo A. Volcán Chimborazo visto desde la vía Chimborazo-Guaranda



Anexo B. Nacimiento de Río Chimborazo



Anexo C. Modelo de etiquetas para rotular las fundas Ziploc

Uso de Suelo	: Páramo	Profundidad de la muestra	: 0-30 cm
Tipo de Muestra	: Suelo	Conglomerado	: C4
Responsable	: Equipo Técnico Espoch	Parcela	: A
Fecha de muestreo	:	Muestra	: 1
Observaciones:			

Anexo D. Páramo de pajonal



Anexo E. Muestreo en pastizales.



Anexo F. Muestreo en cultivos de ajo.



Anexo G. Muestreo en cultivos de papa.



Anexo H. Toma de muestras en el páramo de pajonal.



Anexo I. Equipo de trabajo.



Anexo J. Clasificación de las muestras en el laboratorio.



Anexo K. Medición de conductividad.



Anexo L. Secado de muestras



Anexo M. Medición del volumen desplazado



Anexo N. Pesaje de muestras para análisis de pH.



Anexo O. Preparación de la mufla para análisis de M.O.



Anexo P. Tamizado de muestras.



Anexo Q. Aplicación de encuestas.

