



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN VERTICAL DE LOS CATIONES: K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ,
 Na^+ e H^+ EN SUELOS ALTOANDINOS DE LA MICROCUENCA
DEL RÍO ATILLO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: GILSON FABIO CASCO IBARRA

LUIS ROLANDO PATIÑO POMAVILLA

DIRECTOR: ING. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS MSc.

Riobamba-Ecuador

2021

© 2021, Gilson Fabio Casco Ibarra & Luis Rolando Patiño Pomavilla

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

Nosotros, GILSON FABIO CASCO IBARRA y LUIS ROLANDO PATIÑO POMAVILLA, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de noviembre de 2021.



Gilson Fabio Casco Ibarra

C.I. 060364005-3

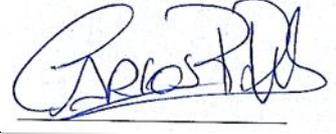


Luis Rolando Patiño Pomavilla

C.I. 030236733-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de titulación tipo: Proyecto de Investigación “**EVALUACIÓN VERTICAL DE LOS CATIONES: K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e H⁺ EN SUELOS ALTOANDINOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ATILLO**”, de responsabilidad de los señores: **GILSON FABIO CASCO IBARRA** y **LUIS ROLANDO PATIÑO POMAVILLA**. Ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce. MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2021-11-26
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos. MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2021-11-26
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo. MSc. MIEMBRO DE TRIBUNAL		2021-11-26

DEDICATORIA

A Dios, sin él no hubiese sido posible realizar y culminar dicha investigación en un período muy difícil que tocó enfrentar, dándonos fuerza y valor en todo momento.

De manera especial a mis padres Gloria y Sergio, quienes de manera incondicional han estado apoyándome en todo momento y han sabido brindarme su amor y el apoyo día tras día, han sido pilar fundamental y son parte de este logro, han depositado su confianza en mí para poder llegar hasta donde hoy estoy, por todo el sacrificio que han hecho para hoy permitirme concluir mi formación profesional, como padres son los mejores.

De igual forma a mis hermanas por el apoyo, confianza, preocupación e inspiración para no decaer y seguir con el proceso siendo más que mis hermanas, mis amigas en cada instante.

Patiño Luis

A Dios por ser mi guía, darme salud, fuerza en los momentos más difíciles de mi vida y sobre todo sabiduría en mi formación académica y en mi realización como persona.

A mis padres Milton y Azucena, por su amor, confianza, consejos, valores y principios que me han inculcado, por su apoyo incondicional para que yo pueda cumplir este sueño y que a pesar de las dificultades que vivimos hemos salido adelante juntos en el transcurso de la vida.

A mi hermana Jhoselin por ser mi apoyo y motivación para superarme que con su amor y su cariño siempre estuvo conmigo, a mi sobrina Sheryl quien es mi inspiración y fuente de motivación que con su cariño e inocencia alumbra mi vida, a mi familia en general quienes han sido parte de este proceso y de alguna forma me han ayudado con sus consejos y apoyo.

A mi Tío Julio Ibarra y mi abuela Rosa Salazar quienes desde el cielo me acompañan y viven dentro de mi corazón por siempre.

CascO Gilson

AGRADECIMIENTO

A Dios por siempre habernos guiado por un buen camino y protegido durante todo nuestro recorrido estudiantil y permitirnos con su bendición concluir esta etapa.

A nuestros padres Azucena Ibarra y Milton Casco; Gloria Pomavilla y Sergio Patiño por todo el apoyo y sacrificio incondicional que nos supieron brindar en cada etapa de nuestras vidas, gracias por el ejemplo de perseverancia, bondad y superación, por enseñarnos a ser fuertes y ser nuestro motor principal de motivación, para lograr nuestros sueños y de alcanzar todas nuestras metas.

Reiterar nuestro agradecimiento al Ing. Andrés Beltrán Dávalos, quien nos impartió valiosos conocimientos en las aulas como catedrático y como tutor en nuestro trabajo de titulación hoy culminado con mucha satisfacción y orgullo, por su comprensión, paciencia y amistad ofrecido durante todo el arduo período de ejecución del proyecto, siendo uno ejemplo de profesionalismo y calidad humana. De igual manera al Ing. Freddy Armijos Técnico del laboratorio de Investigación GIDAC, quién con sus conocimientos guio y coordinó el trabajo de campo. Al Dr. Mauricio Álvarez Técnico de Laboratorio de Análisis Instrumental quién incondicionalmente nos apoyó durante todo el proceso de Análisis en Espectrofotometría de AA.

A todos nuestros familiares quienes de una u otra forma nos apoyaron y contribuyeron en nuestra formación y ejecución del proyecto de investigación.

A nuestros queridos amigos, quienes han formado parte de nuestra carrera universitaria, siendo incondicionales, hospitalarios y por habernos brindado su amistad sincera en todo este tiempo.

A nuestra querida POLI, por todo el aprendizaje y experiencia profesional ofrecido, es y será un orgullo siempre llevar tu nombre en alto.

Gilson & Luis

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Usos de suelo	6
1.2.1. <i>Uso del suelo en Ecuador.....</i>	6
1.2.2. <i>Los suelos en los páramos del Ecuador.....</i>	6
1.2.3. <i>Agricultura y Ganadería en la provincia de Chimborazo.....</i>	6
1.2.4. <i>Características generales de la parroquia Cebadas</i>	7
1.2.4.1. <i>Zona Baja</i>	8
1.2.4.2. <i>Zona Media</i>	8
1.2.4.3. <i>Zona Alta.....</i>	8
1.2.5. <i>Uso del suelo en la parroquia Cebadas</i>	8
1.2.6. <i>Uso del suelo en la comunidad de Atillo</i>	11
1.3. Páramo	11
1.3.1. <i>Definición de páramo.....</i>	11
1.3.2. <i>Características generales de los Páramos</i>	12
1.3.3. <i>Papel de los páramos en el ciclo del agua</i>	12
1.3.4. <i>Pastos y cultivos.....</i>	13
1.3.5. <i>Cultivo en los páramos</i>	13
1.4. Definiciones y características que influyen en la composición del Suelo.....	14
1.4.1. <i>Definición de Suelo</i>	14
1.4.2. <i>Factores formadores del suelo</i>	14
1.4.2.1. <i>Organismos</i>	14
1.4.2.2. <i>Clima.....</i>	14

1.4.2.3.	<i>Material parental</i>	15
1.4.2.4.	<i>Relieve</i>	15
1.4.2.5.	<i>Tiempo</i>	15
1.4.3.	<i>Fases del suelo</i>	15
1.4.4.	<i>Clasificación de los suelos</i>	16
1.4.4.1.	<i>Tipos de suelo</i>	17
1.4.5.	<i>Perfil del suelo</i>	18
1.4.6.	<i>Horizontes y capas del Suelo</i>	18
1.4.7.	<i>Propiedades Físicas de los Suelos</i>	20
1.4.8.	<i>Propiedades Químicas de los Suelos</i>	23
1.4.9.	<i>Interferencias</i>	26
1.4.9.1.	<i>Interferencia química</i>	26
1.4.9.2.	<i>Interferencia por absorción no atómica</i>	26
1.4.9.3.	<i>Interferencia de ionización</i>	26
1.4.9.4.	<i>Interferencia espectral</i>	26
1.4.9.5.	<i>Interferencia por viscosidad</i>	26
1.4.9.6.	<i>Interferencia por inestabilidad de los elementos</i>	27
1.4.10.	<i>Métodos instrumentales</i>	27
1.4.10.1.	<i>Espectrofotometría de absorción atómica (AAS)</i>	27
1.5.	Determinación de cationes cambiables	29
1.5.1.	<i>Macro y Micronutrientes</i>	34
1.5.2.	<i>Nutriente Limitante</i>	37
1.5.3.	<i>Coloides del Suelo</i>	38
1.5.4.	<i>Lixiviación de Nutrientes en el Suelo</i>	40
1.6.	Gestión del Suelo	40
1.6.1.	<i>Agricultura Extensiva</i>	40
1.6.2.	<i>Agricultura Intensiva</i>	41
1.6.3.	<i>La degradación de los páramos</i>	41
1.6.4.	<i>Consecuencias de la degradación de los Páramos</i>	41
1.6.5.	<i>Manejo sustentable de los Páramos</i>	43
1.6.6.	<i>Plan de Manejo</i>	43
1.6.6.1.	<i>Planificación</i>	43
1.6.6.2.	<i>Manejo</i>	43

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	44
2.1.	Área de estudio	44
2.1.1.	<i>Ubicación geográfica</i>	<i>45</i>
2.1.2.	<i>Sistema periglaciario</i>	<i>45</i>
2.1.3.	<i>Climatología</i>	<i>46</i>
2.2.	Tipo y diseño de investigación.....	47
2.2.1.	<i>Tipo de Investigación</i>	<i>47</i>
2.2.2.	<i>Según el enfoque de estudio</i>	<i>48</i>
2.2.3.	<i>Según el área de estudio</i>	<i>48</i>
2.2.4.	<i>Según el método usado.....</i>	<i>48</i>
2.3.	Hipótesis de Investigación	49
2.3.1.	<i>Variables</i>	<i>49</i>
2.4.	<i>Población de estudio</i>	<i>49</i>
2.5.	Muestra	49
2.5.1.	Tamaño de la muestra	50
2.5.1.1.	<i>Descripción Perfil 1</i>	<i>50</i>
2.5.1.2.	<i>Descripción Perfil 2</i>	<i>51</i>
2.5.1.3.	<i>Descripción Perfil 3</i>	<i>51</i>
2.5.1.4.	<i>Descripción Perfil 4</i>	<i>52</i>
2.5.1.5.	<i>Descripción Perfil 5</i>	<i>52</i>
2.5.2.	<i>Diseño experimental.....</i>	<i>53</i>
2.6.	Equipos y Materiales	54
2.6.1.	<i>Equipos</i>	<i>54</i>
2.6.2.	<i>Materiales</i>	<i>54</i>
2.7.	Métodos	54
2.7.1.	<i>Metodología de muestreo</i>	<i>54</i>
2.7.2.	<i>Metodología para determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo.</i>	<i>55</i>
2.7.3.	<i>Análisis Estadísticos</i>	<i>62</i>
2.7.4.	<i>Hipótesis nula.....</i>	<i>62</i>
2.7.5.	<i>Hipótesis alternativa.....</i>	<i>62</i>
2.7.6.	<i>Análisis descriptivo de las variables en estudio</i>	<i>62</i>

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS....	64
3.1.	Análisis descriptivo	64
	CONCLUSIONES.....	84
	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Uso y cobertura de suelo en la parroquia Cebadas.....	9
Tabla 2-1:	Uso actual del suelo en el territorio parroquial.	10
Tabla 3-1:	Equivalencia de suelos entre la WRB-FAO y la USDA.	18
Tabla 4-1:	Equilibrio de la disociación del agua.....	24
Tabla 5-1:	Rangos de pH.	24
Tabla 6-1:	Rango de valores de Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g.suelo) ...	25
Tabla 7-1:	Rangos de interpretación de Conductividad Eléctrica para suelos de páramo. .	32
Tabla 8-1:	Interpretación del contenido de Materia orgánica en suelos según el clima.	33
Tabla 1-2:	Población de Estudio	49
Tabla 1-3:	Cationes Intercambiables Del Perfil 1 (mg/kg).....	64
Tabla 2-3:	Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 1	66
Tabla 3-3:	Cationes Intercambiables Del Perfil 2 (mg/kg).....	68
Tabla 4-3:	Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 2.....	70
Tabla 5-3:	Cationes Intercambiables Del Perfil 3 (mg/kg).....	71
Tabla 6-3:	Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 3.....	73
Tabla 7-3:	Cationes Intercambiables Del Perfil 4 (mg/kg).	74
Tabla 8-3:	Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 4.....	76
Tabla 9-3:	Cationes Intercambiables del Perfil 5 (mg/kg).....	77
Tabla 10-3:	Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 5.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Uso y cobertura de los suelos en la parroquia Cebadas.....	10
Figura 2-1:	Fuente de agua en los páramos.....	12
Figura 3-1:	Composición del suelo.	16
Figura 4-1:	Horizontes del suelo.	18
Figura 5-1:	Triángulo de texturas.....	22
Figura 6-1:	Tabla de Munsell para determinar color.....	23
Figura 7-1:	Equipos necesarios para el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Lab.....	28
Figura 8-1:	Curva de calibración del catión magnesio.....	29
Figura 9-1:	Balace de carbono en el suelo.	34
Figura 10-1:	Naturaleza fisicoquímica de las partículas minerales del suelo.	38
Figura 11-1:	Arcilla coloidal del suelo.....	39
Figura 12-1:	Arcilla Humus coloidal del suelo	39
Figura 13-1:	Paramización vs degradación del suelo por acción del hombre	42
Figura 1-2:	Mapa del área de muestreo Cebadas – Atillo	44
Figura 2-2:	Ubicación de los puntos de muestreo	46
Figura 3-2:	Perfil 1	50
Figura 4-2:	Perfil 2	51
Figura 5-2:	Perfil 3	51
Figura 6-2:	Perfil 4	52
Figura 7-2:	Perfil 5	52
Figura 8-2:	Perfil de muestreo y Recolección de Muestras.....	55
Figura 9-2:	Identificación de color en la Tabla de Munsell.	56
Figura 10-2:	Determinación de Conductividad eléctrica.	56
Figura 11-2:	Determinación de la densidad aparente.....	57
Figura 12-2:	Secado de Muestras	58
Figura 13-2:	Determinación de materia orgánica.....	59
Figura 14-2:	Determinación de pH.....	60
Figura 15-2:	Determinación de la textura del suelo.	60
Figura 16-2:	Análisis en Espectrofotometría de absorción Atómica.....	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Uso de suelo en el Ecuador.	6
Gráfico 2-1:	Uso del suelo provincia de Chimborazo.....	7
Gráfico 3-1:	Procedimiento para la extracción de suelo	30
Gráfico 1-3:	Media de la CIC por Perfil (Cmol/Kg).....	81
Gráfico 2-3:	Mediana de la CIC por Perfil (Cmol/Kg).....	81
Gráfico 3-3:	Media del % de Materia Orgánica por Perfil.....	82
Gráfico 4-3:	Mediana del % de Materia Orgánica por Perfil.....	83

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	24
Ecuación 1-2:	57
Ecuación 2-2:	59
Ecuación 3-2:	61

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** REPRESENTACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ATILLO EN ARCGIS.
- ANEXO B:** LITOLÓGÍA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ATILLO.
- ANEXO C:** ADECUACIÓN DE PERFILES DE MUESTREO.
- ANEXO D:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS, ROTULADO Y ETIQUETADO.
- ANEXO E:** SECADO Y TAMIZADO DE MUESTRAS EN LABORATORIO.
- ANEXO F:** DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.
- ANEXO G:** PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN EXTRACTORA ACETATO DE AMONIO ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) Y FILTRACIÓN DE MUESTRAS.
- ANEXO H:** PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN.
- ANEXO I:** DILUCIONES PARA DETERMINACIÓN DE CATIONES POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.
- ANEXO J:** ANÁLISIS DE MUESTRAS Y REGISTRO DE RESULTADOS.
- ANEXO K:** CURVA DE CALIBRACIÓN DEL CATION POTASIO.
- ANEXO L:** CURVA DE CALIBRACIÓN DEL CATION SODIO.
- ANEXO M:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CATION POTASIO.

RESUMEN

Los páramos altoandinos constituyen ecosistemas valiosos, conservan un alto potencial de almacenamiento y regulación hídrica. El uso inadecuado de los recursos naturales y el incremento demográfico han contribuido al avance de la frontera agrícola, cuyo impacto se ve reflejado en el abandono de parcelas agrícolas a pastos naturales. La investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar la concentración vertical de los cationes: K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e H^+ en suelos del sistema fluvial en la microcuenca del río Atillo, sistema periglacial dentro del parque Nacional Sangay. Se realizó mediante muestreo de perfiles previamente establecidos bajo un enfoque aleatorio y criterial. Mediante análisis de laboratorio estandarizados se determinó los parámetros como CIC obteniendo las medias entre perfiles, Perfil 1 (P1) 2,45 Cmol/Kg; Perfil 2 (P2) 5,22 Cmol/Kg; Perfil 3 (P3) 10,75 Cmol/Kg; Perfil 4 (P4) 6,46 Cmol/Kg y Perfil 5 (P5) 18,65 Cmol/Kg. En cuanto al % de MO por perfil se obtuvo los siguientes resultados en el perfil 1 (P1) 19,45; Perfil 2 (P2) 16,01; Perfil 3 (P3) 5,97; Perfil 4 (P4) 8,87; Perfil 5 (P5) 3,02%. Para el análisis estadístico se utilizó un ANOVA para determinar la normalidad de los datos, posterior se empleó la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para la comparación de las propiedades fisicoquímicas pH, CE y DA; mientras que para CIC y % MO se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis; de los 5 perfiles analizados el perfil 3 (P3) y perfil 5 (P5) son los que mayor CIC presentan, para MO (P1) y (P2) presentan mayor %. Se concluye que existe una heterogeneidad en cuanto la CIC y al % de Materia Orgánica por perfil analizado. Se recomienda que para futuras investigaciones se enfoquen en un área más extensa con mayor cantidad de perfiles para comparar con los resultados de la investigación.

Palabras clave: <HORIZONTES DEL SUELO>; <PERFIL DEL SUELO>; <PÁRAMO ALTOANDINO>; <CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO>; <CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO>.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Fecha: 2021.11.09 08:57:51
-05'00'



2057-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

High Andean moorlands constitute valuable ecosystems, since they have a high potential for storage and water regulation. The inadequate use of natural resources and the demographic increase have contributed to the expansion of the agricultural frontier, whose impact is reflected in the abandonment of agricultural plots to become natural grasslands. The research was carried out in order to evaluate the vertical concentration of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and H^+ cations in the fluvial system soils of Atillo River micro-basin and periglacial system in Sangay National Park. It was carried out through a previously established profile sampling under a criterial and randomized approach. By means of standardized laboratory analysis, CIC parameters were determined; this allowed obtaining the profiles mean, Profile 1 (P1) 2.45 Cmol / Kg; Profile 2 (P2) 5.22 Cmol / Kg; Profile 3 (P3) 10.75 Cmol / Kg; Profile 4 (P4) 6.46 Cmol / Kg and Profile 5 (P5) 18.65 Cmol / Kg. Regarding the percentage of OM per profile, the following results were obtained: profile 1 (P1) 19.45; Profile 2 (P2) 16.01; Profile 3 (P3) 5.97; Profile 4 (P4) 8.87; Profile 5 (P5) 3.02%. For the statistical analysis an ANOVA was used to determine the data normality; then, the non-parametric Kolmogorov-Smirnov test was used to compare pH, CE and DA physicochemical properties; while for CIC and MO percentage, the non-parametric Kruskal-Wallis test was used. Of the 5 profiles analyzed, profile 3 (P3) and profile 5 (P5) were the ones with the highest CIC and for OM, (P1) and (P2) are the ones with the highest percentage. It is concluded that there is a heterogeneity in terms of the CIC and percentage of Organic Matter per profile analyzed. The recommendation for upcoming research is to focus on a larger area with more profiles to be compared with the research results.

Keywords: <SOIL HORIZONS>; <SOIL PROFILE>; <HIGH ANDEAN MOORLAND>; <CATIONIC EXCHANGE CAPACITY>; <SOIL ORGANIC CARBON>.



Firmado electrónicamente por:

PAUL ROLANDO ARMAS PESANTEZ

INTRODUCCIÓN

Problemática

Los páramos altoandinos constituyen ecosistemas transcendentales valiosos para el desarrollo socioeconómico de las comunidades autóctonas de la microcuenca del río Atillo, ya que conservan un alto potencial de almacenamiento y regulación hídrica. Dentro de ellos nacen gran parte de las fuentes de agua que comprende la compleja red hidrológica de la región; garantizando la prestación de servicios ambientales esenciales que satisfagan las necesidades de los pobladores que incurren en el desarrollo agropecuario y cultivos productivos como fuente para su subsistencia (L. D. Llambí, 2014, p. 37).

El conjunto de actividades realizadas, el uso inadecuado de los recursos naturales sumado al incremento demográfico de los pobladores de estas zonas han contribuido al rápido avance de la frontera agrícola, cuyo impacto se ve reflejado principalmente en el abandono de parcelas agrícolas a pasturales naturales, ocasionado por la alteración de las propiedades físico – químicas del suelo tales como: baja productividad por la limitación de nutrientes esenciales, bajas concentraciones y disminución de cationes, pérdida de materia orgánica por lixiviación de macro y micro nutrientes, la alta acidez del suelo, que combinado al uso excesivo de fertilizantes inorgánicos limita el desarrollo de cultivos productivos frente a una deficiente gestión y planificación en el uso de la tierra por parte de los principales poblados de esta microcuenca del río Atillo que sufren altos índices de pobreza, en consecuencia a lo antes mencionado resulta común la búsqueda de asentamientos en zonas cada vez más elevadas que posean poca intervención antropogénica y favorezcan la explotación agrícola y ganadera en función de sus capacidades productivas. (Asanza & Barahona, 2015, p. 138).

Justificación

El alto valor socioeconómico de los páramos para la biodiversidad no está en la riqueza de sus especies, sino en su singularidad. Gracias a las adaptaciones a condiciones extremas, en el páramo se encuentran muchas especies que no existen en ninguna parte (R. Hofstede, 2001, pp. 161–185). El páramo ecuatoriano en el transcurso del tiempo se ha visto envuelto bajo una constante presión debido a las diversas actividades antropogénicas llevadas a cabo por los pobladores de las comunidades cercanas a estas zonas de interés. El sobrepastoreo, deforestación y la agricultura, son solo algunas de las acciones que amenazan la conservación de estas zonas. El estudio de los suelos del páramo representa un rol fundamental en la determinación de su comportamiento,

especialmente luego de ser utilizado por el ser humano, el cuál puede ser empleado para la recuperación de los suelos del páramo y de la evaluación de indicadores de calidad de suelos altoandinos (Podwojewski & Poulénard, 2000, pp. 10–14).

Por lo general el suelo de los páramos, es negro, "tierra generosa que alimenta el agua", no obstante, este suelo no es muy fértil, debido a que muchas sustancias ácidas detienen gran parte de los nutrientes y no los dejan utilizables para las plantas. Poseen gran contenido de materia orgánica, que se forma especialmente, por la descomposición, degradación de las plantas y que además es rica en carbono. Esta materia orgánica tiene las sustancias alimenticias, los nutrientes, que el suelo y las plantas de este ecosistema, necesitan para desarrollarse y vivir. Pero, hasta que la materia orgánica pase sus nutrientes al suelo, tarda mucho tiempo, ya que, por las bajas temperaturas y la humedad muy alta, el proceso se vuelve más lento todavía (Vargas & Linares, 2011, p. 183).

La Capacidad de Intercambio Catiónico en zonas altoandinas por su valor científico y ecológico concierne una oportunidad de interés para la sociedad, así como organismos de control, que a través de la evaluación vertical de los cationes en suelos de la microcuenca del río Atillo pretende gestionar el uso sustentable y ocupación del suelo, en los actores principales que aprovechan este espacio geográfico, de quienes depende su aprovechamiento productivo y conservación.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la concentración vertical de los cationes: K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e H^+ en suelos altoandinos del sistema fluvial, en la microcuenca del río Atillo.

Objetivos específicos

- Identificar las propiedades físico y fisicoquímicas de perfiles de suelo de la microcuenca del río Atillo.
- Determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico en perfiles de suelos a distintas profundidades.
- Validar la geomorfología de la microcuenca baja del río Atillo mediante la variabilidad espacial y vertical de las propiedades físicas y químicas del suelo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

El suelo es considerado un cuerpo natural y dinámico que sufre determinados cambios a través del tiempo y el espacio. Es el soporte de una gran variedad de organismos y microorganismos como, por ejemplo, la vegetación; es considerada la más importante debido a que de ésta dependen las actividades agrícolas, fuente transcendental de alimento para la humanidad (Bautista, 1999, p. 7). Los cambios y alteraciones en la superficie terrestre que son producidas por actividades antropogénicas son de especial importancia en actualidad. Estos cambios son tan importantes que, combinados, pueden tener un efecto o impacto significativo a nivel global. Estos fenómenos son responsables de una notable pérdida, desequilibrio de la diversidad biológica, el cambio climático, además de la degradación de los suelos y de la pérdida de muchos servicios ecológicos (Sarmiento, 2011, p. 13).

Una de las importantes consecuencias a nivel local y global del cambio o alteración en el uso del suelo es su degradación, demostrándose que el efecto del uso puede producir cambios importantes en las propiedades físicas y químicas de estos, cambios que en algunos de los casos son irreversibles (Islam & Weil, 2000, pp. 5–10). Los suelos a nivel mundial se deteriorando cada vez más rápidamente a causa de la erosión, el agotamiento y pérdida de los nutrientes, disminución del carbono orgánico, el sellado del suelo (capa fina sobre la superficie del suelo entre 1-5 mm de espesor, producida por dos causas la primera el impacto de las gotas de lluvia y la segunda por las del riego por sistema por aspersión), entre otras amenazas (FAO, 2015, pp. 1–4). Los suelos son de trascendental importancia para la producción de cultivos, los mismos que filtran y limpian decenas de miles de km³ de agua anualmente. Además de su importancia por el almacén de carbono, los suelos también ayudan a regular las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, siendo por lo tanto fundamentales para la regulación del clima mundial, nacional y local.

(FAO, 2015, pp. 1–4), en su informe anual menciona que la mayor parte de los recursos a nivel mundial se encuentran en condición mala o muy mala y que las condiciones están empeorando día a día en muchos más casos de los que mejoran. Particularmente, el 33% de la tierra se encuentra de moderada a altamente degradada, esto debido a la erosión, salinización,

compactación, acidificación y la contaminación química de los suelos principalmente por actividad antropogénica.

En Ecuador históricamente han existido grandes procesos de colonización y ampliación de la frontera agrícola que han ocasionado la degradación, fragmentación y pérdida de los bosques naturales en las regiones Costa, Sierra y Amazonía. (Sierra, 2013). La redistribución de tierras durante dos períodos de la reforma agraria entre los años 1964 y 1971, impulsó el cambio de uso del suelo en las zonas altas (3500 m.s.n.m) de la región interandina, reemplazando drásticamente a los bosques nativos por áreas productivas para la agricultura y ganadería principalmente. A la par, el desarrollo productivo en la zona andina implicó la introducción y uso de especies forestales exóticas y forrajes (Jordán, 2003, pp. 285–290). Sin embargo, estudios locales han reportado indicios de más desventajas antes que beneficios dados por el establecimiento de plantaciones exóticas considerando diferentes aspectos tanto ambientales, sociales, así como económicos (Wouter Buytaert et al., 2007, pp. 23–29). Por tanto, el avance de la frontera agrícola está causando una fuerte presión hacia los pocos remanentes de bosque y páramo que aún conservan características propias de la zona, ubicados principalmente en las partes altas de las microcuencas, ya que se ha provocado un deterioro y pérdida inminente de los componentes agua, suelo, vegetación, flora y fauna.

En los Andes de Ecuador, las zonas de bosques montanos que se extienden desde los 500 hasta los 4000 msnm, son de gran importancia para la sociedad y han sido definidos como ecosistemas estratégicos por estar localizados en zonas de recarga de cuencas hidrográficas, que proveen de agua a los centros poblados andinos (Cuesta et al., 2009, pp. 5–6). Por mencionar que las ciudades de Quito y Cuenca en los Andes ecuatorianos cuya dotación de agua depende en gran medida de los páramos y bosques montanos (Mena & Hofstede, 2006, p. 105). Esto es posible gracias a las características que presentan los suelos de dichos ecosistemas y que difieren marcadamente de los suelos de ecosistemas cálidos de baja altitud (Kappelle, 2004, pp. 1782–1789).

Pese a su importancia, existen aún poco conocimiento sobre los impactos en el suelo causados por diferentes factores especialmente aquellos ocasionados por el ser humano y las actividades que realiza. Estudios relacionados con el tema a nivel de los Andes ecuatorianos, han enfatizado el impacto en los suelos causado por el cambio de uso, citando un ejemplo, al cambiar una cubierta vegetal endémico por una de aprovechamiento agropecuario o forestal. Así, los trabajos de (Farley, 2007); (Farley et al., 2004, pp. 729–739); han puesto énfasis en los impactos en los suelos en cuanto a contenido de nutrientes, carbono orgánico y propiedades de contenido de humedad de los suelos bajo ambientes altoandinos del norte del país al cambiar de la típica cobertura de pajonal a otras plantaciones.

Trabajos investigativos se han concentrado en las zonas de páramo, sus usos o coberturas de sus suelos (comparando pajonales con zonas forestadas); en tanto poco se ha estudiado o ha investigado sobre el impacto directo de estos por efecto de diferentes usos y tipos de cobertura del suelo en las distintas zonas (Quichimbo et al., 2012, pp. 138–153); (J. A. Ramírez et al., 2014, pp. 215–226). Esto enfatiza la necesidad de ampliar el estudio hacia otros ecosistemas localizados o situados en altitudes de páramos, es decir, las zonas de pajonales nativos, en donde las afecciones antrópicas también estarían causando impactos en la física y química de los suelos; en el estudio de (Quichimbo et al., 2016, pp. 14–25), reportaron cambios en las características del suelos, tanto en algunas propiedades hidro-físicas, como también en la conductividad hidráulica saturada del suelo y el contenido de humedad a punto de saturación, así como en algunas propiedades químicas como es la saturación de bases y el contenido de fósforo, en un estudio tomando en consideración áreas o zonas sujetas a cultivos anuales, generalmente pastos. También se ha podido notar que los impactos en gran medida dependerán de las condiciones originales del lugar, así como la calidad de sitio, tal como se puede evidenciar en zonas de bosques del sur de los Andes del Ecuador, donde la diversidad es notablemente amplia (Quichimbo et al., 2012, pp. 138–153).

No obstante, poco se conoce sobre cuáles son las características edáficas que se verían alteradas o afectadas debido a algún cambio específico de la tipología forestal, caso muy diferente al cambio de uso del suelo con fines agropecuarios, que según (Kappelle, 2004), estarían localizados a altitudes entre los 2400 y 3600 metros sobre el nivel del mar. Este cambio de tipología forestal estaría dado por una transición de bosques primarios a secundarios, en donde la influencia de plantaciones de especies exóticas, se encuentran ampliamente distribuidos en la región Sierra del Ecuador desde la mitad del siglo XX (Knoke et al., 2014, pp. 55–62), y han afectado la cantidad y calidad de los pajonales en el páramo andino ecuatoriano.

Con estos antecedentes surge la necesidad del estudio de la Evaluación vertical de cationes en el suelo. Los conocimientos generados conducirán a un mejor entendimiento de las relaciones suelo y el cambio a distintas profundidades en ambientes forestales que son relevantes por los servicios ambientales que proveen, una contribución que sin duda ayudará a la consecución del manejo sostenible y conservación del recurso forestal en esta zona ambientalmente importante como lo es Atillo, la cual forma parte del parque Nacional Sangay en el centro de la serranía del Ecuador, teniendo un gran valor no sólo local y nacional, sino regional debido a la gran biodiversidad existente en el lugar.

1.2. Usos de suelo

1.2.1. *Uso del suelo en Ecuador*

Conforme a la información publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Censo 2013, el uso del suelo rural del país se clasifica en: cultivos permanentes, cultivos transitorios y barbecho, descanso, pastos cultivados, pastos naturales, montes y bosques, páramos y otros usos (Larrea, 2016a, p. 20).

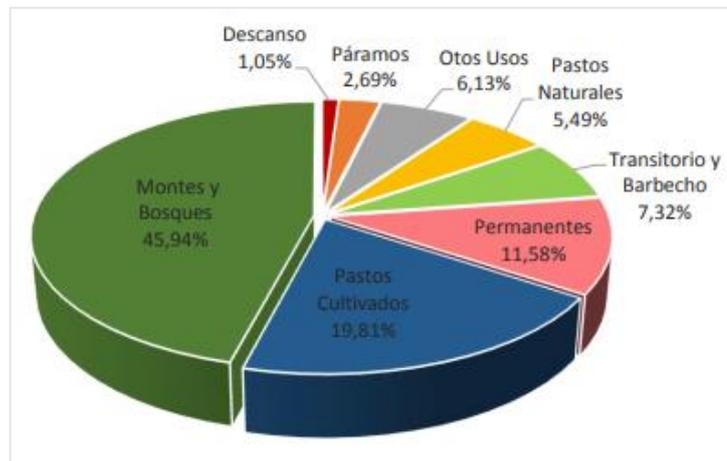


Gráfico 1-1: Uso de suelo en el Ecuador.

Fuente: INEC, (2017).

1.2.2. *Los suelos en los páramos del Ecuador*

Se han desarrollado esencialmente sobre los depósitos piroclásticos resultantes de las erupciones volcánicas (Zebrozuski et al., 1996, p. 422). Se trata en general de andisoles o vitrosoles, pero su morfología y propiedades varían considerablemente según los principales factores de la patogénesis, como la edad, la naturaleza, la composición química de los materiales y las condiciones climáticas. Presentan globalmente altas capacidades de retención de agua entre el 60 al 200 % y a menudo importantes acumulaciones de materia orgánica (Podwojewski, 1999, p. 14).

1.2.3. *Agricultura y Ganadería en la provincia de Chimborazo*

Agricultura

Chimborazo, es una de las provincias del Ecuador, ubicada en la Región Sierra, cuenta con una superficie 5278 Km² aproximadamente, equivalente al 2% del territorio nacional. (Guamán, 2016, p. 31). Conforme a los datos obtenidos en el censo realizado en el año 2010, esta provincia cuenta

con 452.352 habitantes, de quienes, el 61% viven en el área rural y el 39% en el área urbana (Guamán, 2016, p. 28).

Es una zona predominantemente agrícola, es testigo fiel del proceso, donde la pobreza, la desnutrición, la migración, la pérdida de identidad afectan negativamente la relación entre los pobladores y el medio ambiente. Sin embargo, las características naturales que posee la provincia muestran una extensa biodiversidad agrícola al encontrar productos como papas, ocas, chochos, habas, cebada, quinua, que dan significado e identidad a las personas, comunidades y regiones. En este sentido, la agricultura es parte activa de la forma de vida para muchas familias Chimboracenses, a través del uso de tierras con su conocimiento ancestral y patrimonio sociocultural, especialmente en las áreas rurales (Logroño et al., 2020, pp. 674–696).

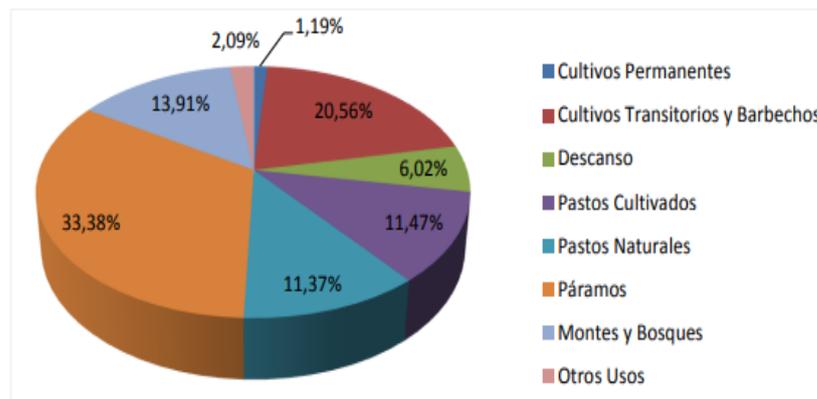


Gráfico 2-1: Uso del suelo provincia de Chimborazo

Fuente: INEC, (2014).

Ganadería

En el Gráfico 2-1 “Uso del suelo”, se observa que el porcentaje de pastos es de 11.47%. Asimismo, según la información obtenida en el Censo Agropecuario realizado en el año 2014, la provincia de Chimborazo cuenta con 246.787 cabezas de ganado de diferentes razas (Paredes & Guaman, 2020, pp. 31–32), en su trabajo de titulación determina que la provincia de Chimborazo lidera el sector pecuario, con ganado vacuno, con el 5.32% a nivel nacional.

1.2.4. Características generales de la parroquia Cebadas

Posee tres zonas latitudinales, descritas a continuación:

1.2.4.1. Zona Baja

Situada desde los 2.600 hasta los 2.950 m.s.n.m, la misma que se ubica hacia las cuencas hidrográficas de los ríos Cebadas y Guamote. La topografía de esta zona va de plana a ondulada con pendientes de 5 a 15 grados en algunos sitios con pendientes de hasta 30 grados (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 9).

1.2.4.2. Zona Media

Situada desde los 3.000 hasta los 3.200 m.s.n.m. Se localiza hacia los flancos y estribaciones de la cadena montañosa de los andes centrales. Esta zona posee bajas precipitaciones pluviales anuales, por este motivo la agricultura que se desarrolla es principalmente de sequío. Los suelos de esta zona se caracterizan por poseer pendientes que van desde los 15 hasta los 60 grados, lo que ha ocasionado junto al mal manejo de los suelos y el agua la erosión de estos (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 9).

1.2.4.3. Zona Alta

Situada desde los desde los 3.250 hasta los 4.640 m.s.n.m. Se localiza en las cimas de las montañas. Los suelos de esta zona poseen pendientes que van desde los 15 a los 30 grados de inclinación, y en algunos sectores son completamente escarpados con pendientes que superan los 60 grados. Esta zona posee suelos negros con altos contenidos de materia orgánica, de textura franca con buena capacidad de retención de humedad, y con altas precipitaciones pluviales anuales. (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 9).

El suelo de la parroquia Cebadas es de material parental, en su mayor parte de origen volcánico, el resto del suelo está constituido por material de origen metamórfico y sedimentario, el cual ha sufrido pequeños aportes superficiales de cenizas volcánicas (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 10).

1.2.5. Uso del suelo en la parroquia Cebadas

En conformidad con datos estadísticos publicados por el MAGAP en el año 2012, indica que la cobertura y uso de los suelos en la parroquia Cebadas, tiene la siguiente distribución: Áreas para la conservación y protección cubren una superficie aproximada de 40.852,6 hectáreas, que a su vez representa el 71,6%, en esta zona se ubica el entorno de páramo y pequeños reductos de vegetación arbustiva y bosques endémicos; y que también forma parte la superficie de la reserva nacional Sangay. El aprovechamiento del suelo referente a la producción agropecuaria en la

parroquia Cebadas ha experimentado modificaciones considerables en el transcurso de los últimos años. Las extensiones de terreno destinadas a pastizales cultivados o naturales han incrementado significativamente, mientras que cultivos de ciclo corto ha decrecido notablemente (PDyOT Cebadas, 2015b, p. 29).

Asimismo, el MAGAP menciona, que una extensión considerable de la parroquia que incluye una superficie de 6.408,6 hectáreas (11,2%) son terrenos improductivos, espacios abandonados y sitios ubicados en las cumbres pedregosas de las montañas. La parroquia Cebadas comprende una significativa reserva de agua dulce, debido a que las tres cuartas partes de la superficie se encuentra predominada por el ecosistema del páramo; este tipo de ecosistema comprende factores especiales de humedad, temperatura y vegetación los cuales lo hacen idóneo para la generación y almacenamiento del recurso hídrico. Eso se ve reflejado, en la dotación de agua para importantes proyectos de riego a nivel provincial (PDyOT Cebadas, 2015b, p. 29).

Tabla 1-1 Uso y cobertura de suelo en la parroquia Cebadas.

Uso de Suelo	Superficie (ha)	%
Agrícola	3.116,8	5,5
Pecuario y Agropecuario Mixto	6.391,2	11,2
Conservación y Protección	40.852,6	71,6
Tierras no productivas	6.408,6	11,2

Fuente: MAGAP,2012.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Empleando entrevistas a distintos actores sociales y de manera particular a los entes productores de cada una de las 37 organizaciones presentes en la parroquia; recalando que dicha información es inexacta, por lo que, no nos brinda una idea explícita de la condición actual del uso y cobertura del suelo en la parroquia antes mencionada. (PDyOT Cebadas, 2015b, pp. 30–31).

Tabla 2-1: Uso actual del suelo en el territorio parroquial.

TIPO DE USO	SUPERFICIE (ha)	%
Páramo	28.733,0	72,9
Pastos	7.177,3	18,2
Cultivos	2.218,5	5,6
Bosques	671,0	1,7
Área erosionada	85,0	0,2
Área abandonada	446,5	1,1
Vivienda	65,8	0,2
Total	39.397,0	100

Fuente: Equipo técnico Actualización del PD y OT, (2015).

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Para una mejor interpretación del uso y cobertura del suelo en la parroquia Cebadas, este territorio se divide en tres zonas, el mismo que se puede observar en la Figura 1-1. (PDyOT Cebadas, 2015b, pp. 29–30).

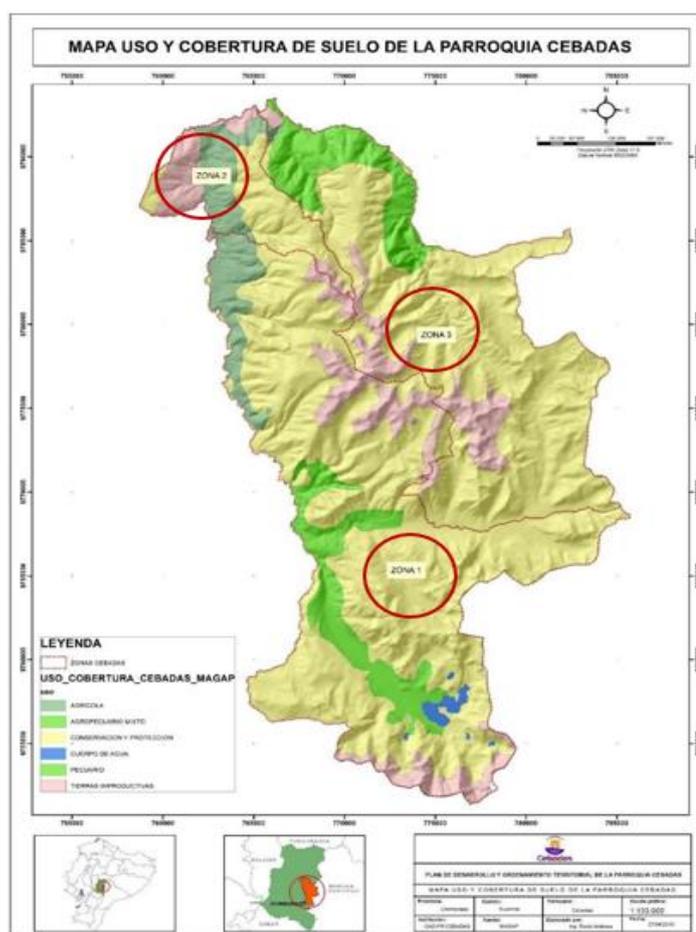


Figura 1-1: Uso y cobertura de los suelos en la parroquia Cebadas.

Fuente: Equipo técnico Actualización del PD y OT, (2015).

Las comunidades que poseen mayor superficie de páramo se localizan en la zona uno y tres. Atillo que cuenta con 2.200 hectáreas. De estas comunidades que representan la mayor extensión de pastos naturales o mejorados son: Atillo con 1.300,0 ha y Cooperativa Yasipan: 1.000,0 ha, en la Zona 1, siendo esta predominantemente ganadera (PDyOT Cebadas, 2015b, p. 33).

1.2.6. Uso del suelo en la comunidad de Atillo

La cuenca del río Atillo es muy importante, ya que de ella dependen para la irrigación de sus cultivos mediante canales de riego, las zonas de Pantus y Guano ubicadas río abajo. Sus aguas alimentan la represa del Agoyan (Bastidas, 2002a, p. 33).

La vegetación está compuesta básicamente de pajonales en los que se encuentran diversas especies de plantas. Entre las más representativas están el pumamaqui, el yagual, el mortiño, la valeriana, la chuquiragua, achupalla, chica, sunfo, caballo chupa, calaguala, tipillo, arquitecto, escorzonera y en los últimos años siembra de grandes extensiones de pino. Muchas especies, tanto herbáceas como arbustivas, son recolectadas por los habitantes de la comunidad, en las zonas alrededor de sus casas, para utilizarlas como leña (Bastidas, 2002b, p. 34).

En el sector o comunidad de Atillo existen animales como conejo, sachacuy, venado y oso de anteojos; aves como curiquingue, pato, perdiz y gaviota andina. Grandes extensiones de ganado vacuno en crecimiento. En los cursos de agua y ríos el pez predominante es la trucha. En la actualidad la comunidad de Atillo es más consciente de la importancia de cuidar esta fauna gracias al trabajo de educación ambiental que ha venido haciendo la Fundación Natura (Bastidas, 2002b, p. 36).

1.3. Páramo

1.3.1. Definición de páramo

La palabra "paramo" proviene de la expresión en latín "paramus" que significa lugar frío y desamparado. Lugar donde predomina la vegetación con gramíneas y frailejones, pero se encuentran también formaciones arbustivas bajas o manchas de bosque alto andino, presencia de Colorado (*Polylepys*) y Rodamonte (*Escanolia*), (Van der Hammen et al., 2002, p. 165).

1.3.2. Características generales de los Páramos

El páramo consta de llanuras escarpadas y de origen glaciario con una gran variedad de lagunas, humedales y pantanos. Debido a la poca presencia humana, la calidad del agua es excelente y los ríos que descienden del mismo tienen un caudal base alto y sostenido. La hidrología del páramo tiene características especiales, en comparación con las cuencas montañosas de otras regiones, los ríos que descienden de los páramos tienen un caudal base sostenido debido a la alta capacidad de regular el agua del páramo. Sin embargo, esta función se ve amenazada por actividades antropogénicas. Cada vez más, el páramo se utiliza para ganado de pastoreo intensivo, cultivos de manzano y plantaciones de pino, entre otros (W Buytaert et al., 2003, p. 2).

Una característica básica de Páramo es el almacenamiento y la regulación del agua que recibe del derretimiento de la nieve y el hielo que se encuentran en las precipitaciones y las tierras altas. Esta propiedad se debe principalmente a la gran acumulación de materia orgánica y a la morfología de algunas especies de plantas de páramo. Los suelos típicos de páramo andino son negros y húmedos, con un clima húmedo y frío que conduce a una potente descomposición de materia orgánica y la acumulación de gruesas capas de suelo orgánico (R. Hofstede et al., 2003, pp. 16-17-18).

1.3.3. Papel de los páramos en el ciclo del agua

Debido a la importante retención del agua en los suelos, el páramo puede funcionar como un medio para regular los flujos hídricos: almacenamiento en la etapa húmeda y liberación gradualmente en periodo seco. La alta capacidad de infiltración de dichos suelos controla además la intensidad de las crecidas. (Podwojewski, 1999, pp. 9-10).



Figura 2-1: Fuente de agua en los páramos.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

1.3.4. Pastos y cultivos

En el Ecuador es notable que la superficie de pastos es mayor que la de cualquier otro cultivo, la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC, 2019, p. 8), del INEC, indica que la superficie de labor agropecuaria fue de 5,3 millones de hectáreas, donde la mayor superficie de suelo cultivable está destinada a pastos cultivados y dentro de esta superficie, los pastos cultivados figuran en un 42% y los pastos naturales en un 15,4%. Es importante mencionar también que, respecto a la categoría de pastos cultivados presenta un crecimiento de 6,39 %, ocupando una superficie nacional de 2,45 millones de hectáreas el año 2017. (ESPAC, 2017, p. 6).

Estas modificaciones de uso de la tierra se explicarían por el calentamiento global y al incremento demográfico, que al aumentar la temperatura de los páramos, hacen más habitable y trabajable esta zona del país, ampliándose la frontera agrícola de la región interandina y también debido al cambio de uso de la tierra de agricultura a ganadería, como consecuencia de que la agricultura siendo mucho más rentable también es más peligrosa por estar sujeta a incertidumbres de demanda y precios en los mercados, cambios climáticos, y más, mientras que la ganadería ofrece más estabilidad. No obstante, a futuro la relación o proporción entre agricultura y ganadería, puede variar de acuerdo con los precios de los productos agrícolas y de la leche o carne. (Toro, 2018, p. 41).

En relación con el sector pecuario que se desarrolla en los pastizales del Ecuador, es una base muy importante del desarrollo social y económico, satisface las demandas de la población en alimentos tan fundamentales como la carne y leche, y es fuente primaria de generación de mano de obra e ingreso económicos. Sin embargo, a pesar de ser un importante aporte al producto interno bruto nacional, el sector pecuario tiene dificultades para conservar un desarrollo constante y sostenido debido a la mala y escasa alimentación suministrada a los bovinos, aun cuando nuestro país tiene condiciones favorables para producir pastos durante todo el año en estos pisos climáticos (Toro, 2018, p. 41).

1.3.5. Cultivo en los páramos

El riego en las montañas del Ecuador es una práctica muy antigua. En los tiempos precolombinos, la cultura Cañari y otras fueron muy activas en la construcción de grandes esquemas de riego. Casi la totalidad del riego en la Sierra ecuatoriana se hace con agua de páramo (W Buytaert et al., 2003, p. 12).

Lo realiza regularmente en pendientes pronunciadas, en la mayoría de los casos extensiones pequeñas de terreno, donde el frío restringe la variedad de cultivos como: papa, cebada, haba, entre otros, para su producción. Las utilidades son en general muy bajas, esto debido a las heladas que generalmente acaban con los cultivos en más de una ocasión al año y debido a la poca disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo, en algunos casos.

1.4. Definiciones y características que influyen en la composición del Suelo

1.4.1. Definición de Suelo

Se ha definido como un cuerpo natural constituido en capas denominados horizontes, los mismos que están compuestos de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el resultado de la influencia del tiempo en combinación con el clima, topografía, organismos entre los cuales tenemos: flora, fauna y ser humano y de materiales parentales como rocas y minerales (FAO, 2019).

1.4.2. Factores formadores del suelo

Hace referencia a las condiciones que influyen, han influido o pueden influir sobre el material del suelo con la potencialidad de cambiarlo (R. Ramírez, 1997, p. 6).

Dentro de las condiciones tenemos:

1.4.2.1. Organismos

Se encuentran los macroorganismos, mesoorganismos (hongos, musgos) y microorganismos, pudiendo ser de origen animal o vegetal. Afectan al suelo tanto física como químicamente, aportando material orgánico como fuente de nutrientes, transformando a otros compuestos. (R. Ramírez, 1997, p. 6).

1.4.2.2. Clima

Factor ambiental más activo y de mayor influencia en la evolución del suelo, ya que actúa de acuerdo con el grado de intensidad y frecuencia. Dentro del cual se encuentran la precipitación, viento, temperatura, evapotranspiración, entre otros y afecta directamente al pH (R. Ramírez, 1997, p. 6)

1.4.2.3. Material parental

Material el cual se deriva el suelo, sobre el cual influye el clima y los organismos, los cuales lo modifican y como resultado dan un tipo de suelo específico. De él se provienen las propiedades físicas y químicas (R. Ramírez, 1997, p. 6).

1.4.2.4. Relieve

Se refiere a las forma y pendiente del terreno. Afecta de manera directa a la acumulación o traslado de material, lo cual determina la profundidad del suelo, concentración de sales, erosión y más (R. Ramírez, 1997, p. 7)

1.4.2.5. Tiempo

Edad absoluta durante el cual han actuado los demás factores y que han llegado a formar el suelo, según el tiempo se encuentra suelos jóvenes, maduros o altamente evolucionados (R. Ramírez, 1997, p. 7). De la combinación de todos los factores anteriores se origina el suelo, los mismos que experimentan una serie de procesos y que caracterizan a cada uno.

1.4.3. Fases del suelo

El suelo exhibe diversas fases que son descritas a continuación.

Fase inorgánica. - Son fragmentos de rocas y minerales producto de la meteorización. Donde las Gravas > 2mm y arenas 2mm – 0,02 mm; limos 0,02 – 0,002 mm y las arcillas < 0,002. Estas últimas forman agregados con los humus que son de gran importancia para la fertilidad del suelo, tienen la capacidad de retener sales minerales (MELA, 1955, p. 1).

Fase orgánica. – Formada por materia orgánica provenientes de restos o residuos de seres vivos como excrementos, madera, en mayor o menor grado de descomposición. Cuando la descomposición está muy avanzada la materia orgánica se llama “humus”. La materia orgánica detiene más agua, beneficia la aireación del suelo al agrupar partículas minerales haciéndolo más poroso y acrecienta la fertilidad del suelo. Existe una inmensa variedad de organismos vivos, entre los que destacamos los descomponedores que degradan la materia orgánica a inorgánica y los que remueven el suelo permitiendo la aireación y evitando su endurecimiento (MELA, 1955, p. 1).

Fase líquida. - Hace referencia al agua que lleva en disolución sales minerales y coloides de arcillas y humus. Generalmente se encuentra en los poros del suelo de tamaño pequeño o mediano (agua absorbible), si los poros son demasiado pequeños no puede ser absorbida por las raíces (agua retenida que es la que no circula) y por el contrario, si los poros son demasiado grandes tampoco porque se escurre por gravedad (agua de gravitación) para formar parte del agua de acuíferos subterráneos (MELA, 1955, p. 1).

Fase gaseosa. - Es el aire que ocupa los poros de tamaño grande y aquellos en los que el agua se ha consumido, su composición es similar a la del aire atmosférico, pero con una menor proporción de O₂ (20%) y mucho mayor de CO₂ (0,5-1%), debido a la gran actividad biológica que se desarrolla en el suelo (respiración). La cantidad de CO₂ aumenta con la profundidad, con la presencia de materia orgánica y en condiciones de temperatura y humedad (MELA, 1955, p. 1).

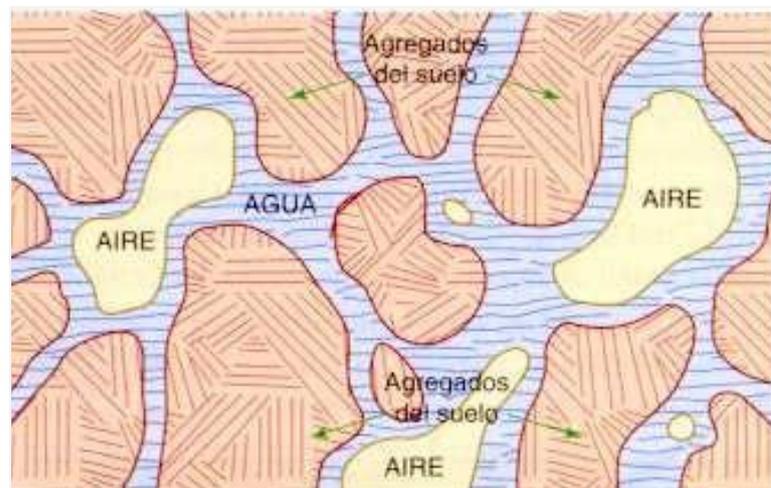


Figura 3-1: Composición del suelo.

Fuente: MELA, P. (1995).

1.4.4. Clasificación de los suelos

El primer sistema es en Base Mundial de Referencia para los Recursos de Suelo (WRB - FAO), ya que se adapta mejor a un análisis cartográfico, en escala intermedia y presenta un grado de dificultad menor para su comprensión; y el segundo, el sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), es más apropiado para los estudiosos edafológicos por su nivel de complejidad (L. Llambí et al., 2012, p. 249).

Los suelos más comunes del páramo son conocidos localmente, como suelos negros - andinos. El término Andosol, significa suelo negro (an = negro, do = suelo), y no tiene relación con "Andes"

como se suele conceptuar. De acuerdo a la Base Mundial de Referencia para los Recursos Suelo, en el páramo es posible encontrar varios tipos de suelo (L. Llambí et al., 2012, p. 249).

1.4.4.1. Tipos de suelo

Histosoles. - Suelos ricos en materia orgánica y residuos vegetales más o menos descompuestos, propios de zonas húmedas, con una densidad aparente baja.

Umbrisoles. - Suelos ácidos con un horizonte superficial grueso y rico en materia orgánica, se desarrollan especialmente sobre materiales de alteración de rocas silíceas.

Cambisoles. - Suelos que muestran alteración edáfica y que van desde débiles a moderadamente desarrollados.

Leptosoles. - Son suelos someros y pedregosos que pueden poseer roca continua en o muy cerca de la superficie. Encontrándose en diferentes tipos de climas secos, templados, húmedos y son especialmente comunes en las zonas montañosas (L. Llambí et al., 2012, pp. 250–251).

Regosoles.- Suelos muy jóvenes desarrollados sobre depósitos de roca no excesivamente consolidada (material suelto) (L. Llambí et al., 2012, pp. 250–251).

Dentro de la clasificación de la USDA, los nombres de algunos órdenes de suelos del páramo son:

Andisoles. - Equivalente a los Andosoles de la FAO (páramos de Ecuador, Colombia, Perú).

Inceptisoles.- Suelos jóvenes poco o medianamente desarrollados, con uno o más horizontes en donde algunos minerales como carbonatos han sido removidos, el desarrollo de los horizontes es mínimo (páramos de Venezuela, Perú, Ecuador, Colombia) (L. Llambí et al., 2012, pp. 250–251).

Entisoles. - Suelos minerales jóvenes, sin desarrollo de perfiles y de poca profundidad, (no poseen horizontes de diagnóstico). Pueden estar formados por material parental rocoso, suelos menos evolucionados, (páramos de Venezuela, Perú, Colombia, Ecuador) (L. Llambí et al., 2012, pp. 250–251).

Tabla 3-1: Equivalencia de suelos entre la WRB-FAO y la USDA.

ORGANIZACIÓN	
Según la WRB – FAO	Según la USDA
Andosoles	Andisoles
Regosoles, Leptosoles	Entisoles
Histosoles	Histosoles
Cambisoles	Inceptisoles
Histosoles	Histosoles

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

1.4.5. Perfil del suelo

De manera general se define como el conjunto de horizontes, es decir; a la sección que se vería al cortarlo desde su superficie hasta el sustrato rocoso, debido a la formación y evolución del suelo bajo la influencia de los factores y procesos pedogenéticos. La diferenciación de capas o estratos continuos de textura, de estructura, de color, densidad, entre otras propiedades, llamadas horizontes se encuentran relacionados genéticamente entre sí. (Pellegrini, 2014, p. 6).

1.4.6. Horizontes y capas del Suelo

Es definido como una capa aproximadamente paralelo a la superficie de la tierra, que se diferencian de las capas adyacentes relacionadas por sus diferentes propiedades tanto físicas, químicas y biológicas (Pellegrini, 2014, p. 6).

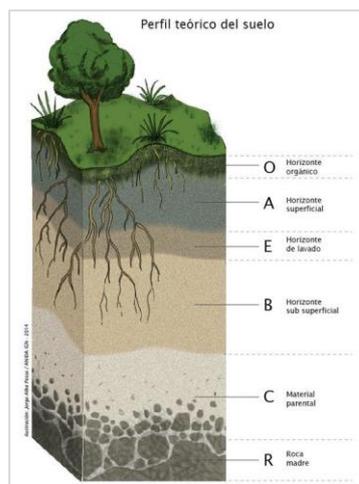


Figura 4-1: Horizontes del suelo.

Fuente: Alba, J. (2015).

Las letras mayúsculas O, L, A, E, B, C, R y W, son utilizadas para designar y representar a los principales horizontes y capas del suelo.

Horizonte O

Es la capa más superficial del horizonte A, llamado también capa de hojarasca debido a la acumulación de hojas, ramas, musgos generalmente se lo encuentra en bosques. Un horizonte O puede estar sobre la superficie de un suelo mineral o a cualquier profundidad debajo de la superficie si está enterrado. Algunos horizontes O consisten en restos vegetales no descompuestos o parcialmente descompuestos (Fao, 2009, p. 70).

Horizonte A o de lavado Vertical

Son horizontes minerales que se han formado en la superficie o abajo de un horizonte O. En estos horizontes han desaparecido totalmente o en su mayor parte la estructura de la roca madre, encontrándose las raíces de plantas, generalmente es de color negro oscuro, debido a la presencia de gran cantidad de materia orgánica o humus, acumulados ahí por el arrastre y lavado de compuestos finos solubles de la superficie (Fao, 2009, p. 70).

Horizonte E

Generalmente de color más claro que el horizonte B, horizontes minerales en los cuales el principal rasgo es la pérdida de arcillas silicatadas, hierro o aluminio, o alguna combinación de éstos, dejando una concentración de partículas de arena y limo. Estos horizontes presentan la desaparición total o de la mayor parte de la estructura del material original (Fao, 2009, p. 70).

Horizonte B o zona de precipitado

Capa en la cual carece de humus de ahí su coloración pardo o rojo, es la capa en la cual se acumulan partículas más grandes como arcilla, arena, óxidos, entre otros provenientes de la superficie.

Horizonte C o Subsuelo

Parte más alta constituido de material rocoso y sobre el cual está apoyado el suelo, existe fragmentación tanto mecánica como química.

Horizonte L

Son horizontes o capas límnicas que envuelven materiales minerales y orgánicos que fueron depositados por precipitación u organismos acuáticos como algas y diatomeas o bien derivados de plantas subacuáticas o flotantes y subsecuentemente transformados por la fauna acuática. El horizonte L incluye materiales con residuos fecales, tierras de diatomeas, y marga, pero solo ocurre en el orden de los Histosoles (Fao, 2009, p. 72).

Capa R

Denominado roca madre o material rocoso, es el material subyacente que no ha sufrido ninguna alteración química o física significativa. Las capas R son cementadas y muy difícil de excavar (Fao, 2009, p. 72).

Capa W

Este símbolo indica capas de agua en o abajo del suelo. Si está permanentemente congelada se designa como Wf, no se utiliza para hielo o nieve sobre la superficie (Fao, 2009, p. 73).

Horizontes de Transición

Generalmente se da cuando no existe una separación visible o notables entre horizontes, es decir; en el límite de los horizontes es difuso, pudiendo encontrar denominaciones como: (AE, EB, BE, BC, CB, AB, BA, AC y CA), Así la primera letra indica el horizonte principal al cual se parece el de transición (Fao, 2009, p. 73).

Horizontes mezcla

Aquellos horizontes mezclados, están formados por distintas zonas en cada una de las cuales se puede identificar a un horizonte principal, es decir; en la misma capa aparecen trozos de horizontes cercanos. Se designan de la siguiente forma: (E/B, B/C), la primera letra indica el horizonte principal que predomina (Fao, 2009, p. 73).

1.4.7. Propiedades Físicas de los Suelos

La condición física de un suelo determina en gran parte, la capacidad de aprovechamiento que el ser humano obtiene del suelo. Al hablar de la condición física hace referencia a factores como:

la rigidez, la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la aptitud de drenaje, de acumulación de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Vega, 2011, p. 30).

La importancia de reconocer las condiciones físicas que presenta un suelo nos permite determinar a qué condiciones puede estar sujeto el cultivo, conocimiento que es esencial en el desarrollo y rendimiento de las plantaciones agrícolas. También permite conocer cuáles son los mejores parámetros agrícolas como el laboreo, la fertilización, disponibilidad de nutrientes, el drenaje, la irrigación, así como, el manejo adecuado de los residuos generados en el sitio (Leanne & Urriola, 2020, p. 2).

Densidad Aparente

Es la relación que existen entre la masa y el volumen de suelo, en este volumen está considerado todo el espacio poroso existente. Es una propiedad que nos facilita reconocer las condiciones actuales que se encuentra el suelo con relación a la compactación, la porosidad, la disponibilidad de agua y de oxígeno, etc. Los suelos cuentan con una densidad aparente que oscila entre 1.2 a 1.95 g/ cc. (Carvajal, 1997, p. 9).

$$\text{Densidad} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \text{Masa seca (g)} / \text{Volumen (cm}^3\text{)}$$

Textura

(Orsag, 2010, pp. 9–10), menciona a la textura como el contenido porcentual de arena, limo y arcilla que contiene el suelo. Como estas fracciones tienen diferentes condiciones para transmitir o retener agua, aire, nutrientes y otros elementos. Las mezclas de estas fracciones en diferentes concentraciones le propician al suelo una fertilidad diversa. Los suelos con proporciones equilibradas de arena, limo y arcilla en general son suelos de mejor fertilidad que sus extremos (arenosos o arcillosos) debido a que existe una mejor relación entre los poros capilares, los cuales se encargados de retener el agua.

El Diagrama textural de la USDA es una herramienta que permite obtener las clases texturales en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla.

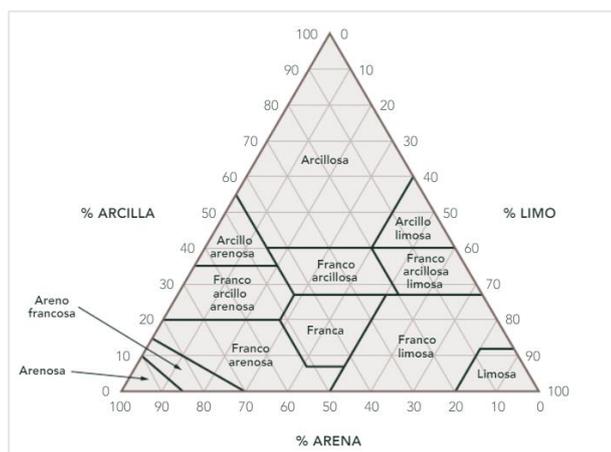


Figura 5-1: Triángulo de texturas.

Fuente: U.S.D.A.,1977.

Estructura

Se entiende como estructura del suelo al ordenamiento de las partículas individuales en partículas secundarias o agregados y el espacio poroso que llevan asociados, como el resultado de interacciones fisicoquímicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica. Las partículas finas del suelo suelen estar unidas formando agregados o aglutinaciones, en la mayor parte de casos gracias a la acción de la materia orgánica, es decir; unión del complejo arcilloso-húmico. Los espacios entre estos agregados se llaman poros, a través de estos circulan aire y agua. Lo cual determina hasta el 50% del volumen del suelo (Miranda & Caballero, 2015, p. 6).

Color

Es una propiedad física la cual está relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz. La coloración del suelo generalmente es el resultado de sus componentes más abundantes como: humus, óxidos, sulfatos, carbonatos, sulfuros, roca caliza, silicatos, entre otros. Los colores del suelo pueden ser uniformes o variados desde negros, pardos, hasta grisáceos. Mientras que en el perfil del suelo también pueden encontrarse variantes visibles con relación a la profundidad, debidas posiblemente a la intensidad con que se presenten los procesos de coloración (Miranda & Caballero, 2015, p. 7). También es una de las características que guarda relación directa con la temperatura, la dinámica de los elementos y la movilidad del agua en el suelo, el contenido de materia orgánica, la cantidad de organismos, la evolución de los suelos y más. (R. Ramírez, 1997, p. 11).

El color del suelo ayuda a identificar la clase de suelo, esto sea nivel de campo o laboratorio, asimismo indica la oxidación o reducción química en el suelo, pasado o presente del lecho rocoso debido a la erosión. El color puede oscurecerse debido a la materia orgánica, adquirir un color amarillo, marrón o rojo ante la presencia de óxidos férricos y puede adquirir un color negro debido a la presencia de manganeso y otros óxidos (FAO, 2016, pp. 1–2).

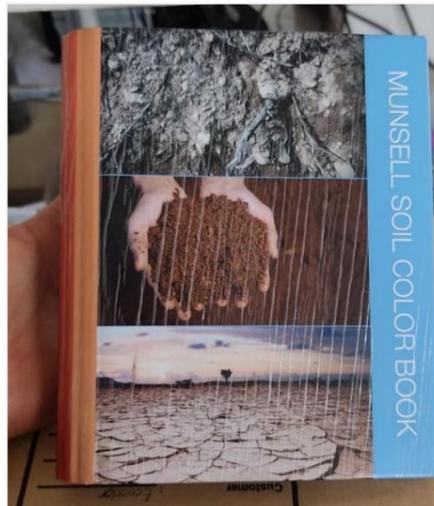


Figura 6-1: Tabla de Munsell para determinar color.

Fuente: GIDAC, 2021.

1.4.8. Propiedades Químicas de los Suelos

La agricultura desde sus inicios se basa en la explotación del suelo. En diversos lugares debido al mal uso que se da a recurso suelo, ha ocasionado la pérdida de fertilidad o a su vez lo han contaminado de manera que en la actualidad atraviesan altos índices de pobreza y deficiencia de nutrientes (Pereira et al., 2011, p. 52).

El pH

Es una propiedad química de gran importancia que indica el nivel de acidez o alcalinidad en la cual se encuentra el suelo, de donde las raíces y los microorganismos suelen tomar sus nutrientes. La escala de medición del pH se encuentra en un rango que fluctúa entre 0 a 14. Se basa en el principio de que la constante de equilibrio de la disociación del agua es 10^{-14} (Osorio, 2012, p. 1).

Tabla 4-1: Equilibrio de la disociación del agua.

Disociación del Agua
$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$
$K_w = 10^{-14}$
$K_{eq} = 10^{-14} = [H^+] [OH^-] \div [H_2O]$

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Como la actividad del agua se considera igual a 1, entonces el producto de las actividades de los iones H^+ y OH^- en el agua es de 1×10^{-14} (Osorio, 2012, p. 1).

$$1 \times 10^{-14} = [H^+] [OH^-] = K_w$$

Ecuación 1-1:

Núñez (2006), El grado de acidez o basicidad de los suelos se puede cuantificar, mediante el valor del pH de la disolución del suelo (Paredes & Guaman, 2020, pp. 40–41).

Tabla 5-1: Rangos de pH.

PARÁMETRO	RANGO	INTERPRETACIÓN
pH	<4	Extremadamente ácido
	4,0 – 4,9	Fuertemente ácido
	5,0 – 5,9	Medianamente ácido
	6,0 – 6,9	Ligeramente ácido
	7,0	Neutro
	7,0 – 8,0	Ligeramente alcalino
	8,1 – 9,0	Medianamente alcalino
	9,1 – 10	Fuertemente alcalino
	>10,1	Extremadamente alcalino

Fuente: (Núñez, 2006, p.10).

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La Capacidad de Intercambio Catiónico se expresa como la cantidad de cargas negativas presentes en la superficie de los minerales (arcillas e hidróxidos) y componentes orgánicos (materia orgánica) del suelo y representa la cantidad de cationes que la superficie total pueden retener elementos como Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , entre otros (FAO, 2019) .

Es la capacidad del suelo para retener e intercambiar diferentes elementos minerales. Esta capacidad aumenta notablemente con la presencia de materia orgánica y podría decirse que es la

base de lo que llamamos la fertilidad del suelo (Miranda & Caballero, 2015, p. 8). La concentración de arcilla es esencial, ya que estas pequeñas partículas cuentan con una relación alta de área superficial a volumen, los diferentes tipos de arcillas presentan diferentes valores de Capacidad de Intercambio Catiónico. (R. Ramírez, 1997, p. 13), menciona que aumentos en el pH traen como consecuencia un incremento en las cargas negativas ya que el aluminio precipita, la concentración de hidrogeniones disminuye, por lo tanto, la Capacidad de Intercambio Catiónico aumenta.

La CIC muestra la capacidad de los suelos para retener cationes y, por lo tanto, la disponibilidad y cantidad potencial de nutrientes para la planta. La unidad de medida de la capacidad de Intercambio Catiónico se expresa en centimoles de carga por kg de suelo (Cmol/kg de suelo) o miliequivalentes de carga por cada 100 g de suelo (meq/100g de suelo). Los valores para la CIC adecuados oscilan entre 15 y 25 Cmol/kg o meq/100g de suelo. Los suelos arenosos y/o deficientes de materia orgánica generalmente suelen tener baja CIC (FAO, 2015, pp. 1–2). Valores Menores a 10 meq/ 100 g.s, son bajos entre 10 y 20 medios, de 20 a 30 altos y mayores a 30 meq/100 g.s muy altos.

Los suelos presentan en su mayoría CIC menor a 10 meq/100 g.s. evidenciándose en este valor la baja cantidad de cargas negativas debido a la escasez de materia orgánica y a la presencia de arcillas. (R. Ramírez, 1997, p. 12). Está estrechamente relacionada con el complejo arcilla - humus, es la capacidad de este complejo de ceder nutrientes a las plantas por medio de la captación de partículas minerales que el vegetal posteriormente va a absorber (Rioja, 2002, p. 94).

Tabla 6-1: Rango de valores de Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g.suelo).

< 6	Muy bajo
6 – 12	Bajo
12 – 25	Medio
25 – 40	Alto
>40	Muy alto

Fuente: (Rioja, 2002).

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

1.4.9. Interferencias

1.4.9.1. Interferencia química

Es la más común y se produce cuando el elemento de interés se encuentra en combinación molecular con otros átomos y la llama no tiene el calor suficiente como para disociar la molécula (Sadsawka & Zagal, 2007, p. 39).

1.4.9.2. Interferencia por absorción no atómica

Se debe a la presencia de altas concentraciones de sólidos disueltos en la muestra y se detecta haciendo la medida con una radiación a la que no absorba el elemento de interés. Cuando se analizan muestras con un contenido de sólidos sobre 1%, especialmente si la línea de resonancia principal del elemento de interés está bajo 240 nm, es recomendable usar corrección de fondo (fuente continua, Zeeman o Smith-Hieftje) (Sadsawka & Zagal, 2007, p. 39).

1.4.9.3. Interferencia de ionización

Se produce cuando la temperatura de la llama es lo suficientemente alta como para eliminar un electrón de un átomo neutro produciendo un ión cargado positivamente. Este tipo de interferencia generalmente se puede controlar agregando a las soluciones de la muestra y de los estándares una concentración alta (1.000 mg/L) de un elemento fácilmente ionizable como K, Na, Li o Cs (Sadsawka & Zagal, 2007, p. 39).

1.4.9.4. Interferencia espectral

Ocurre cuando la longitud de onda absorbente de un elemento presente en la muestra, pero distinto al de interés, cae en el ancho de la línea de absorción del elemento de interés, causando una sobreestimación de la concentración del elemento. Puede ocurrir un problema similar cuando una impureza metálica en la lámpara de cátodo o en la lámpara multielemental se encuentra también en la solución y cae en el ancho de banda permitido por el slit. Puede solucionarse el problema reduciendo el slit (Sadsawka & Zagal, 2007, p. 40).

1.4.9.5. Interferencia por viscosidad

Las soluciones de las muestras y de los estándares deben monitorearse para detectar diferencias en la viscosidad que puedan alterar la velocidad de aspiración (Sadsawka & Zagal, 2007, p. 40).

1.4.9.6. Interferencia por inestabilidad de los elementos

Los elementos no son igualmente estables en el digerido, en especial si contiene solamente ácido nítrico. Por lo tanto, debe realizarse el análisis tan pronto como sea posible (Sadsawka & Zagal, 2007, p. 40).

1.4.10. Métodos instrumentales

1.4.10.1. Espectrofotometría de absorción atómica (AAS)

Método instrumental de la Química analítica que determina una gran variedad de elementos al estado fundamental como analitos. El método de es muy utilizado para determinar la concentración de cationes en una muestra que debe estar en solución acuosa. En general este método de análisis se aplica para contenidos menores de 35% respecto al analito, ya que valores mayores induce a resultados erróneos. Su mayor aplicación es para determinar elementos a nivel de ppm. A diferencia del flamómetro que trabaja con la luz emitida por los átomos, método por emisión atómica, en la absorción atómica se emplea una radiación luminosa que es absorbida por un átomo para que se produzca una transición desde el estado fundamental hasta el estado excitado, esta radiación tiene la frecuencia característica del átomo en cuestión.

Se emplean dos tipos de flama, óxido nitroso (N₂O)-acetileno (C₂H₂) y aire-acetileno. La temperatura que se alcanza con estas flamas es superior a las 1800 °C. Utilizar este tipo de flamas como fuente de excitación de los átomos permite que los espectros de longitud de onda sean muy sencillos, debido a la baja energía de excitación de la llama que da lugar a pocas líneas de emisión y que los resultados cuantitativos tienden a ser más replicables. Esto disminuye las interferencias espectrales de otros elementos y además no implica la necesidad de un monocromador de alta resolución.

En la Figura 7-1 se muestra un diagrama de los principales componentes del equipo. Para la flama de baja temperatura, el combustible es acetileno y el oxidante el oxígeno del aire, con este tipo de flama se emplea una cabeza de quemador de 10 cm. Para la flama de óxido nitroso-acetileno se emplea una cabeza de quemador más pequeña. La fuente de luz es una lámpara de cátodo hueco, en la que el cátodo es del elemento que se va a determinar (Martínez, 2011, p. 104).



1. Lámpara de cátodo hueco (HCL)
2. Chopper, monocromador y sistema óptico
3. Combustible
4. Oxidante
5. Flama
6. Nebulizador
7. Dispositivo de Lectura
8. Muestra

Figura 7-1: Equipos necesarios para el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Lab. Análisis Instrumental, Fac. Ciencias, ESPOCH.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Inicialmente se estabiliza la flama regulando la velocidad de entrada del combustible y del oxidante. Esta operación se realiza aspirando solución “blanco”, generalmente agua desionizada, para ajustar el valor a cero. Seguido se introducen los estándares de calibración del equipo para que internamente relacione la concentración y la intensidad de luz que llegará al detector, es decir la curva de calibración (ver Figura 7-1). Al introducir la muestra el equipo detecta la cantidad de luz emitida por el elemento, la compara con la curva de calibración y se encuentra la concentración de la muestra.

Este método requiere de mayor cuidado al analizar las muestras, por el tipo de gases empleados para alcanzar la temperatura de atomización de la muestra. Al igual que en el método de flamometría, se requiere de un buen cuidado en la limpieza del material para evitar contaminación de las muestras. Para el caso del calcio y del magnesio es necesario controlar la ionización, y una cuidadosa relación combustible – oxidante para que la lectura sea correcta, se puede cambiar de flama o de longitud de onda de resonancia, pero la sensibilidad disminuye (Martínez, 2011, p. 104).

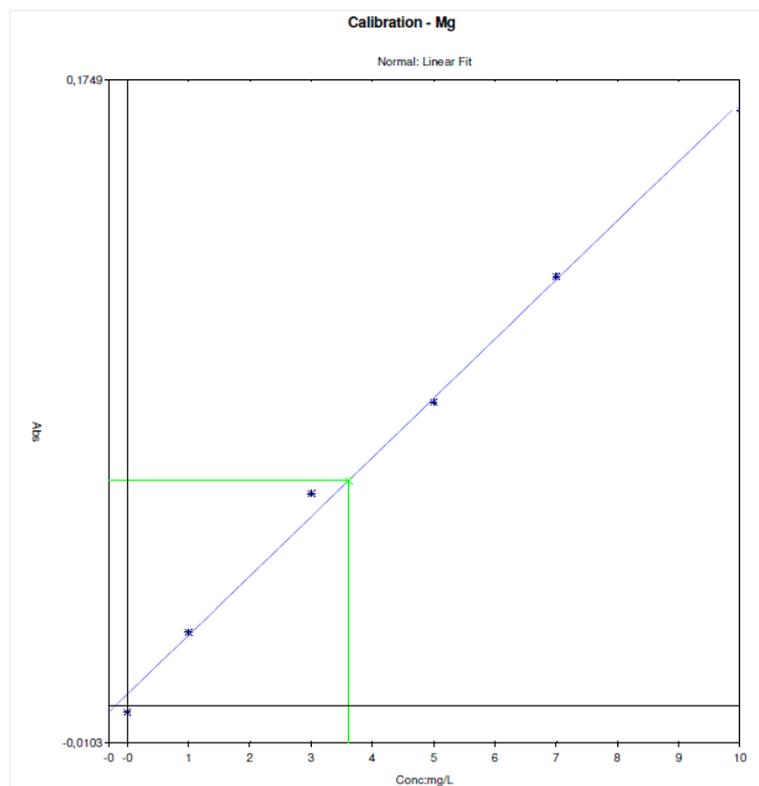


Figura 8-1: Curva de calibración del catión magnesio.

Fuente: ESPOCH, Fac. Ciencias, Lab. Análisis Instrumental, 2021.

El método del fotómetro de flama es un método sencillo de análisis de soluciones y requiere de muchos cuidados, como:

- El material debe ser minuciosamente lavado, el agua de la llave, y algunos detergentes contaminan el material de vidrio de uso en el laboratorio.
- No es recomendable leer soluciones con alta concentración, se pueden sedimentar y ocluir el paso de la solución problema y de los gases (Martínez, 2011, p. 104).

1.5. Determinación de cationes cambiabiles

La determinación de cationes cambiabiles se la realiza en suelos con pH 5.4 – 7.0, con carga no dependiente del pH y no calcáreos, no salinos.

Obtención del Extracto de Suelo para: Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio.

Reactivos

- Acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1 M, pH 7 Pesar 77.08 g de acetato de amonio y disolver por completo en 500 ml de agua doblemente desionizada o destilada y completar volumen a 1 litro.
- Pesar 77.08 g de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ y disolver en 500 mL de agua. Aforar a un volumen de 1 L con agua destilada (Salinas & Garcia, 1979, p. 30).

Procedimiento

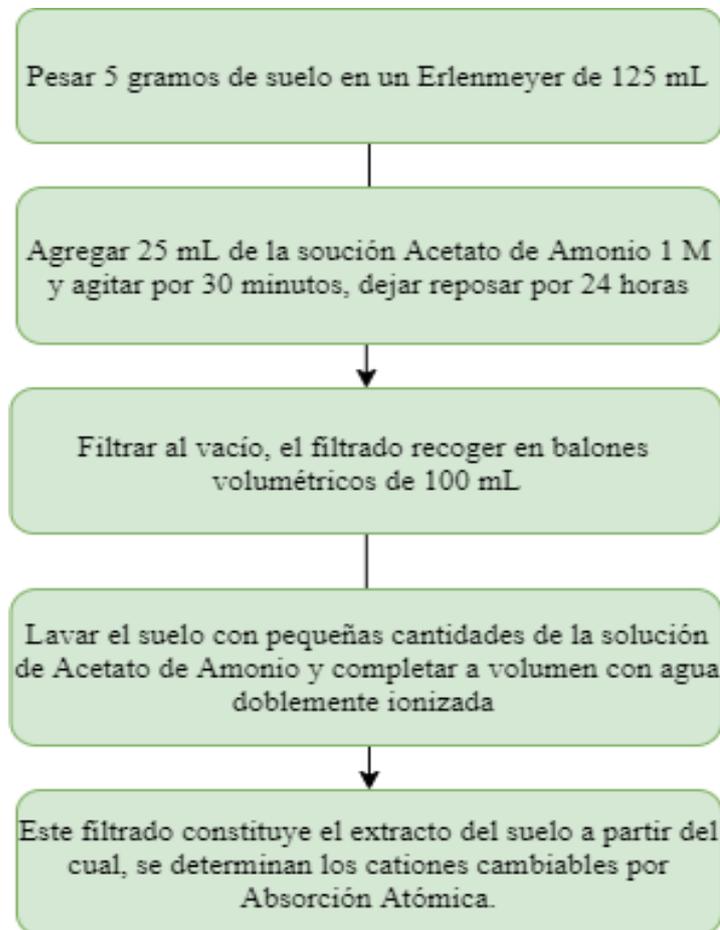


Gráfico 3-1: Procedimiento para la extracción de suelo.

Fuente: (Salinas & Garcia, 1979).

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K)

Determinación

La transmitancia se lee directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica, usando una curva calibrada cuyo estándar más alto es de 50 ppm Ca, los estándares de Ca han recibido el mismo tratamiento que las muestras, de tal forma que las concentraciones utilizadas fueron desde los 5 ppm, 15 ppm, 30 ppm, 40 ppm y 50 ppm de Ca respectivamente. Se usa la llama óxido nítrico-acetileno para la lectura de Ca. En caso de que las lecturas superen el rango del espectro, diluir la muestra del extracto original por medio de una micropipeta, tomar 2 ml de filtrado (extracto) y 50 ml de agua doblemente desionizada dependiendo el rango de lectura (Salinas & Garcia, 1979, p. 31).

Para la determinación de Magnesio, emplear la misma solución diluida indicada en el procedimiento de Ca. Se procede a leer la transmitancia en el equipo espectrofotómetro de absorción atómica usando estándares de magnesio previamente comprobado, de tal forma que la concentración más alta no exceda de los 10 ppm Mg. Se usa la llama aire-acetileno para la lectura de Magnesio (Salinas & Garcia, 1979, p. 31).

En el caso de determinación de Potasio, se utiliza el extracto de acetato de amonio que se obtuvo para la determinación de Ca y Mg, se lee directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica usando estándares de K que cubran un rango entre 0 - 2 ppm K. Se usa la llama aire-acetileno (Salinas & Garcia, 1979, p. 31).

Preparación de Estándares de Ca, Mg y K

Preparar a partir de una solución de 1.000 ppm de Ca (solución preparada comercialmente), estándares de 0, 4, 10, 30, 50 ppm Ca tomando de la solución concentrada las cantidades siguientes: 0.1, 2.5, 7.5 y 12.5 ml y diluirlas a 50 ml con H₂O doblemente desionizada o destilada. Al momento de utilizarlas en el espectrofotómetro de absorción atómica deben diluirse de la manera siguiente: Tomar 2 ml de cada una por separado y diluirlas a volumen final de 20 ml con la solución de NaCl obteniéndose las siguientes concentraciones: 0, 0.4, 1.0, 3.0 y 5.0 ppm Ca, las cuales se usan para la curva patrón (Salinas & Garcia, 1979, p. 32).

Conductividad Eléctrica (CE)

Es la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la conductividad eléctrica (CE) permite medir la concentración de sales solubles contenidas en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más difícil se mueve dicha corriente a través del mismo suelo por una concentración más elevada de sales (Martinez, 2009, p. 1).

Según la guía para la evaluación de la calidad y salud de un suelo. Los valores para CE que garantizan un buen crecimiento de los cultivos varían de 0,0 a 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ coincidiendo con los valores que propone el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi).

De acuerdo con (Díaz et al., 2020, p. 30), las interpretaciones de la conductividad eléctrica en el suelo son las siguientes:

Tabla 7-1: Rangos de interpretación de Conductividad Eléctrica para suelos de páramo.

PARÁMETRO	RANGO ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	INTERPRETACIÓN
Conductividad Eléctrica	<20	No salino
	20-40	Ligeramente salino
	40-80	Salino
	80-160	Fuertemente salino
	>160	Extremadamente salino

Fuente: Hoom & Alphen.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Materia Orgánica (MO)

Proviene de los residuos vegetales y animales, ya sea en forma de sus desechos durante su ciclo de vida o sus tejidos después de muertos y una vez degradados. La materia orgánica se encuentra en diferentes grados de descomposición y se distinguen dos fracciones: lábil y recalcitrante (FAO, 2015, pp. 2–4). La fracción frágil suele ser la primera en digerir para los microorganismos, y por ende tiene un tiempo de resiliencia más corto en el suelo. La fracción orgánica o humus, presenta mayor estabilidad debido a que está compuesta de compuestos químicos complejos como: ácidos húmicos, fúlvicos y humanas; por lo que su persistencia en el suelo se da por un lapso más largo en comparación con la fracción lábil. Algunos procesos donde interviene el humus son: regulación del pH, disminución de la lixiviación de nutrientes, aumento en la retención del agua, entre otros. (Hazelton & Murphy, 2007, p. 77).

De acuerdo con (Díaz et al., 2020), los suelos agrícolas presentan valores de concentración de materia orgánica entre 2 y 6 % . Sin embargo, los suelos de páramos están mejor relacionados con la materia orgánica debido a bajas temperaturas que permiten la formación de complejos muy fuertes entre la parte mineral y la parte orgánica, presentando valores superiores a 40 % indicados en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Interpretación del contenido de Materia orgánica en suelos según el clima.

CLIMA	Porcentajes de materia orgánica en el suelo		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Frío	<5,0	5 – 10	>10

Fuente: (LABRADOR, 2001).

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Carbono orgánico del Suelo (COS)

El carbono orgánico del suelo es una pequeña parte del ciclo global del carbono, el cual comprende el ciclo del carbono a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera. Se estima que la reserva de COS almacena 1 500 PgC (1 PgC = 1 Peta-gramo de carbono = 1000 millones de toneladas), en el primer metro de suelo, lo cual supone más carbono que el contenido en la atmósfera (aproximadamente 800 PgC) y la vegetación terrestre (500 PgC) combinados. Este reservorio de COS no es estático, sino que está constantemente circulando entre las diferentes reservas mundiales de carbono en formas moleculares diversas (Lefevre, 2017, pp. 1–2).

El páramo es un auténtico depósito de carbono, ya que lo retiene en el suelo, esto debido a que las bajas temperaturas no permiten que se descomponga la materia orgánica, entonces el carbono se almacena bajo tierra. Los especialistas en suelos de páramos mencionan que estos suelos pueden tener una edad de miles de años, y que, para un suelo, significa que todavía es joven. En el transcurso de todos esos años, el suelo va acumulando cada vez carbono. El carbono que está en el suelo del páramo proviene especialmente, de la materia orgánica, que van produciendo las plantas, y que bastante lento, muy lento, va formando parte del suelo. (Vargas & Linares, 2011, p. 44).

El porcentaje de carbono orgánico en suelos de páramo es muy elevado. Después del histosol (turba), es el suelo que más carbono contiene. Esto se explica por la baja temperatura promedio y la formación de un complejo orgánico-aluminio muy estable, parcialmente tóxico para algunos microorganismos que degradan la materia orgánica (Podwojewski & Poulencard, 2000, pp. 29–31).

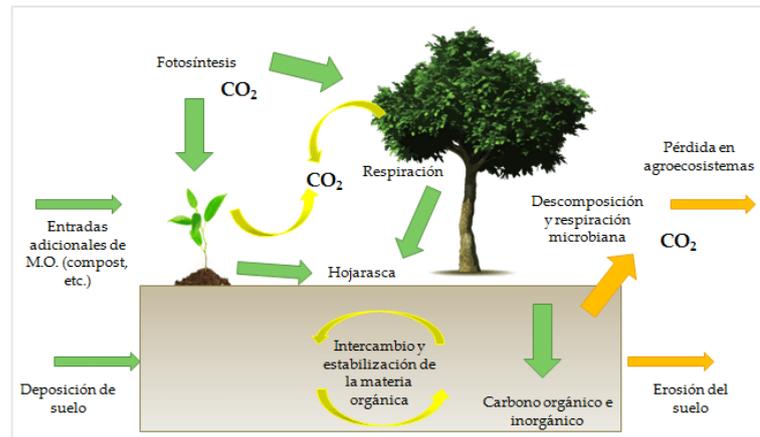


Figura 9-1: Balance de carbono en el suelo.

Fuente: Laila, M. s/f.

1.5.1. Macro y Micronutrientes

Se refiere a la disponibilidad de nutrientes contenidos en el suelo, lo cual determina el potencial que este posee para suministrar alimento a las plantas que se desarrollarán sobre el mismo (Alfonso & Paez, 2016, p. 10). La división se lo ha realizado de forma convencional, esta lista en dos partes: los llamados macronutrientes y los micronutrientes. El criterio es sencillamente la cantidad presente en la planta, así tenemos:

Los Macronutrientes

Son aquellos que se encuentran en cantidades grandes, entre ellos podemos mencionar los siguientes: Calcio, Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Magnesio.

Calcio (Ca)

Elemento responsable de mantener unida las paredes celulares de las plantas, su absorción es pasiva no requiere de energía. Dado que el Ca existe como catión, este nutriente está dominado por el mismo intercambio de cationes que los otros cationes y permanece unido como Ca⁺⁺ intercambiable a la superficie del coloide cargado negativamente. Suele ser el principal catión del suelo, incluso a valores de pH bajos (Pereira et al., 2011, p. 74).

Las fuentes de calcio son calcita, dolomita, yeso, superfosfato simple y superfosfato triple. El Ca es absorbido por las plantas como Ca⁺⁺ y estimula el crecimiento de las raíces de las hojas, que es un compuesto de la pared celular. Reduce los nitratos (NO₃⁻) en vegetales, activa varios sistemas enzimáticos y neutraliza los ácidos orgánicos vegetales. Al reducir la acidez del suelo,

afecta directamente la asimilación y reduce la solubilidad y toxicidad del magnesio, cobre y aluminio (Pereira et al., 2011, p. 75).

Nitrógeno (N)

El nitrógeno es absorbido por plantas y microorganismos como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+), pero se encuentra en diversas formas en el suelo. Su pérdida se debe a la lixiviación, evaporación, recolección y erosión. El mayor depósito de nitrógeno en el suelo se encuentra en los microorganismos, bacterias, hongos y nematodos. El N promueve el crecimiento vegetativo, la jugosidad y las hojas verdes. Su deficiencia hace que las hojas se vuelvan de color verde claro y amarillo. En cantidades excesivas este elemento retarda la maduración, debilita las plantas, reduce la calidad de los cultivos y las hace más susceptibles a plagas, enfermedades, viento, lluvia y granizo (Pereira et al., 2011, pp. 69–70).

Fósforo (P)

Involucrado en muchos procesos bioquímicos a nivel celular, contribuyendo al rápido crecimiento de raíces en la plántula y mejorando la tolerancia a temperaturas. Aumenta la eficiencia del agua y contribuye a la resistencia a enfermedades en las plantas. El P ingresa al suelo al agregar fertilizantes que contienen fuentes de fósforo, el mismo se pierde debido a la minería, la agricultura, la erosión, los vertidos y la escorrentía. El exceso de P limita el rendimiento del cultivo. Su deficiencia ocasiona deterioro de hojas con bordes secos. La floración es débil y las raíces no tienen un buen desarrollo (Pereira et al., 2011, pp. 72–73).

Potasio (K)

Se deriva de la meteorización de minerales (relacionado con el tipo de material parental y la pedogénesis), minerales arcillosos, residuos orgánicos del mineral y fertilizantes. EL K es un elemento esencial para todos los organismos y juega un papel importante en la activación enzimática, la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y carbohidratos, la promoción del crecimiento y la regulación de la homeostasis. El potasio aumenta la resistencia de la planta a la sequía y al frío. Una deficiencia de K se presenta principalmente en suelos arenosos y suelos con alto contenido de calcio (Pereira et al., 2011, p. 74).

Magnesio (Mg)

Derivado de minerales como biotita, dolomita y clorita. Forma parte en soluciones de suelo y se absorbe en la superficie de arcillas y materia orgánica. Los suelos generalmente tienen menos magnesio que Calcio, ya que los coloides del suelo no lo absorben fácilmente y pueden perderse sencillamente por lixiviación. Los síntomas de deficiencia de Mg se observan en las hojas viejas, espacio entre las nervaduras de color amarillo, posteriormente afecta a las hojas jóvenes (Pereira et al., 2011, p. 76).

Los Micronutrientes

Aquellos elementos que se encuentran en pequeñas cantidades entre ellos tenemos: el Hierro, Manganeso, Boro, Cobre, Zinc y Molibdeno (Sanchez, 1984). Este tipo de nutrientes las plantas utilizan en forma de trazas. En la mayoría de los casos, el suelo contiene suficiente para las plantas, pero también puede haber una deficiencia o exceso de estos, en este último caso causando problemas de toxicidad.

La disponibilidad de estos micronutrientes para las plantas también está directamente relacionada con el pH. Cuando el pH es ácido (menor a 7,0), el contenido de hierro, zinc, boro y manganeso aumenta y el contenido de molibdeno disminuye. Si el pH es muy ácido (menos de 5,5), el hierro, el manganeso, el zinc y el boro son tóxicos para las plantas y el molibdeno es bajo. A niveles básicos de pH (superiores a 7,0), el molibdeno reduce a la inversa su disponibilidad, mientras el hierro, zinc, boro y manganeso están más disponibles para las plantas. Si el pH es muy alto o alcalino, la disponibilidad de hierro, manganeso, zinc y boro será muy baja y deficiente (Toledo, 2016, pp. 76–78).

Hierro (Fe)

Es esencial para el crecimiento del cultivo y para la producción de alimento (catalizador en la formación de clorofila), ya que forma parte de muchas enzimas responsables de la transferencia de energía, reducción y fijación de nitrógeno, y formación de lignina (Reho, 2018, p. 5).

Manganeso (Mn)

Activa varias reacciones metabólicas importantes y desempeña una función directa en la fotosíntesis. Por esta razón, los expertos opinan que acelera la germinación y maduración, al tiempo que incrementa la disponibilidad de fósforo (P) y calcio (Ca) (Reho, 2018, p. 5).

Boro (B)

Contribuye a la integridad estructural y funcional de las membranas celulares. Por ello, es importante en los puntos de rápido crecimiento y estructuras reproductivas. Es importante destacar que el margen entre carencia y exceso es muy estrecho, por lo que la precisión es clave en la aplicación de este elemento (Reho, 2018, p. 4).

Molibdeno (Mo)

Es requerido para la síntesis y actividad de la enzima nitrato reductasa y vital para el proceso de fijación simbiótica del nitrógeno por las bacterias rizobios en las raíces de leguminosas. (Reho, 2018, p. 5).

Cobre (Cu)

Activa las enzimas y cataliza reacciones en varios procesos de crecimiento del cultivo. La presencia de Cu se asocia a la producción de vitamina A y contribuye a asegurar el éxito en la síntesis de proteínas (Reho, 2018, p. 5).

Zinc (Zn)

Es fundamental para obtener un alto rendimiento de cultivos, ya que es requerido en la síntesis de proteínas y en procesos de crecimiento (Reho, 2018, p. 5).

1.5.2. Nutriente Limitante

Las limitaciones agro-productivas son factores del entorno geográfico, que en cierta etapa determinado inciden de manera negativa en el desarrollo de los cultivos. Dichos factores son diversos, los mismos que deben agruparse en: factores limitantes que se relacionan con el entorno geográfico, factores limitantes que resultan de características edafológicas y factores limitantes que son el resultado de algún proceso de degradación del suelo por modificación antropogénica (Morell et al., 2008, pp. 1–2).

Considerando al suelo un recurso no renovable, es decir; la tasa o tiempo de regeneración está infinitamente por debajo de la tasa o ritmo al que se destruye (Moncayo, 2012). Este fenómeno refleja un crecimiento preocupante en el Ecuador evidenciándose a lo largo del Callejón Interandino extensas superficies improductivas (Tayupanta, 1993, pp. 1–14). Los factores que participan en el

proceso son el agua, viento y las actividades antrópicas (I. García et al., 2000, pp. 159–168), sin embargo, cabe recalcar que el agua es considerada uno de los agentes predominantes de la erosión (Yáñez et al., 2017, pp. 1–2), causando la lixiviación de nutrientes y pérdida de su fertilidad (Montagnini & Alice, 2004, pp. 17–24).

El hombre, al realizar prácticas inadecuadas de manejo de suelo, agua, cultivos, destrucción de la cobertura vegetal, entre otros, ha contribuido a que se pierda la fertilidad rápida del suelo (Borja & Castells, 2003, pp. 2–3). Pese a que se continúan ejecutando trabajos de conservación, la mayoría de estos están orientados a terrenos altamente erosionados, mientras no han sido tomados en cuenta los efectos imperceptibles ocasionados por el agua (Yáñez et al., 2017, p. 2).

1.5.3. Coloides del Suelo

Es un estado de la materia orgánico (humus), inorgánico (Arcilla) con partículas de tamaño muy pequeño y, por tanto, con gran área superficial, que usualmente presentan propiedades intercambiables formando el conocido complejo coloidal, con partículas de dimensiones coloidales (menores de 1 o 2 μm). Las partículas dispersas pueden ser sólidas, macromoléculas, gotas de líquido o burbujas de gas y el solvente puede ser un líquido o un gas. Respecto al sistema coloidal del suelo, están involucradas las arcillas, los óxidos y las sustancias húmicas (HM, 2018, pp. 3–4). Como orgánicos tenemos el humus y como inorgánico: arcilla, óxidos de Fe y Al, y alófano (aluminosilicato hidratado). Se encuentran principalmente en la fracción arcilla y también en la fracción limo.



Figura 10-1: Naturaleza fisicoquímica de las partículas minerales del suelo.

Fuente: Vásquez, V. (2015).

En la figura se aprecia que las arenas y limos no presentan cargas eléctricas, lo cual reafirma su naturaleza rocosa, la arcilla de tamaño menor presentan cargas eléctricas negativas, por consiguiente, atraen iones de carga positiva, lo cual indica que las arcillas han dejado de ser rocas, para transformarse en coloides mineral y como tal favorece la formación de agregados en el suelo (Vazquez, 2015, p. 4).

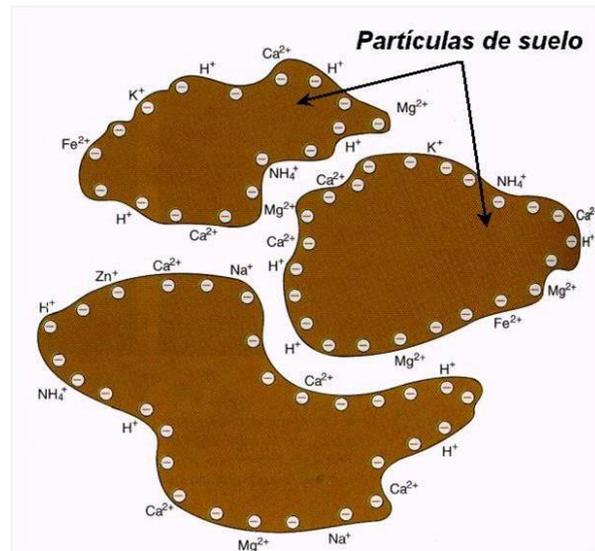


Figura 11-1: Arcilla coloidal del suelo.

Fuente: Vásquez, V. (2015).

A más de contribuir a la formación de agregados en el suelo, las arcillas por su carga negativa contribuyen a la retención de iones positivos o cationes, como se observa en la imagen. También de las arcillas, coloides minerales derivados de la roca, el suelo, también presenta coloides orgánicos, principalmente el humus, derivado de la descomposición microbiológica de la materia aportada por los organismos vivos al suelo (Vazquez, 2015, p. 5).

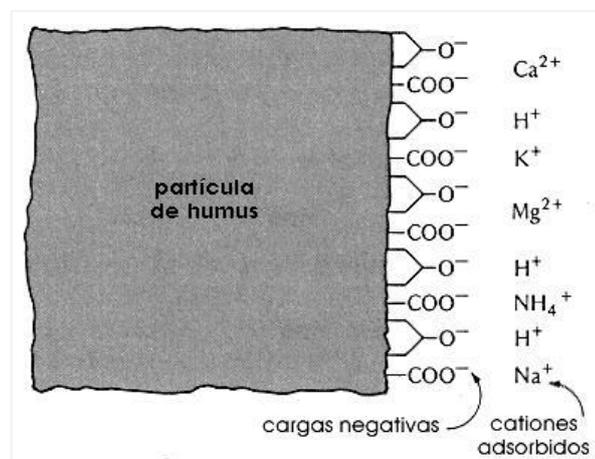


Figura 12-1: Arcilla Humus coloidal del suelo.

Fuente: Vásquez, V. (2015).

El humus, al igual que las arcillas, también presenta cargas eléctricas negativas, como se observa en la imagen. Debido a sus cargas negativas, el humus también retiene iones positivos o cationes (Vazquez, 2015, p. 6).

1.5.4. Lixiviación de Nutrientes en el Suelo

La contaminación de las fuentes de agua puede tener consecuencias tanto medioambientales como de salud pública, especialmente en las comunidades rurales. En algunos casos los agricultores cultivan sus huertos cerca de las fuentes de agua provocando la lixiviación o movimiento de nutrientes en el suelo por escorrentía y arrastre. El fósforo y el nitrógeno son los nutrientes que tienden a lixivarse más fácilmente, particularmente cuando no existen prácticas de conservación de suelo adecuadas (Villasanti et al., 2013, pp. 19–21).

El nitrógeno se puede encontrar de diversas formas en la naturaleza, así tenemos: en amonio (NH_3), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) o nitrógeno puro (N_2). Así mismo las actividades humanas son las principales responsables de la alteración del ciclo, y esto genera una acumulación excesiva en el agua. Las formas más significativas del nitrógeno son los nitratos y amoníaco, esto debido a su alta solubilidad y lo vulnerables que son a lixivarse, generando así contaminación de fuentes de agua (Iñón, 2017, pp. 1–10). El nitrato es un agregado con la característica de mover con mucha facilidad sobre la tierra por escorrentía en la época de lluvias, ya que las arcillas no pueden fijarlo fácilmente.

1.6. Gestión del Suelo

Conforme al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (IUCN, 1980, pp. 18–20), se indica que los territorios áridos utilizados de manera inapropiada y con poca capacidad son altamente susceptibles a procesos de desertificación, a la destrucción gradual o a la disminución de las aptitudes de la tierra para la agricultura y la ganadería. Con relación a los sistemas existentes de uso del suelo, los territorios áridos están sometidos a la sobreexplotación y uso excesivo de los recursos naturales.

1.6.1. Agricultura Extensiva

Esto sucede cuando la explotación agraria está basada en una gran cantidad de tierra, mano de obra deficiente y pocos rendimientos. Aunque también se puede dar en el riego, se localiza fundamentalmente en sistemas de cultivo de secano. Después de la crisis de la agricultura

tradicional se ha sometido a una amplia tecnificación y mecanización, donde está la que no ha continuado con este proceso o se ha perdido o a su vez está dentro de la agricultura a tiempo parcial (Larrea, 2016b, p. 6).

1.6.2. Agricultura Intensiva

Implica obtener la máxima cantidad de productos por unidad de superficie, incluyendo la obtención de diferentes cosechas para cada explotación. Esta es una forma típica de agricultura en áreas con alta densidad de población, debido al uso extensivo de fertilizantes químicos, pesticidas y al agotamiento del suelo, se dispone de varios cultivos cada año. Sin embargo, este método se transforma gradualmente en plagas resistentes, y es necesario aumentar la dosis de productos químicos que se agregan al suelo, que se volverá impotente con el tiempo (Larrea, 2016a, p. 7).

1.6.3. La degradación de los páramos

El páramo es básicamente un medio natural antropizado. Se observa en zonas una colonización progresiva importante, que se ha acelerado en los últimos años y que adopta diversos aspectos en función de las condiciones ecológicas y de los diferentes tipos de población involucrados (Zebrozuski & Quantin, 1997). Como la presión demográfica ha aumentado en el siglo XX, la población rural ha buscado aumentar las superficies productivas. En el entorno indígena, el método de distribución de las tierras por herencia ocasiona una disminución considerable de las superficies, donde los campesinos ya no logran cubrir su autosuficiencia alimentaria. En el entorno mestizo, la mejora de las condiciones laborales contribuye a la expansión de las superficies cultivadas (Podwojewski, 1999, pp. 10–11) .

1.6.4. Consecuencias de la degradación de los Páramos

La degradación antrópica de los suelos se debe principalmente a tres tipos de factores como las actividades humanas (construcción de carreteras, construcción y fugas de canales de riego, paso de vehículos pesados). Respecto al 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. De forma indirecta la capa vegetal tiende a desaparecer y de forma directa el pisoteo que compacta el suelo. Asimismo, este sobrepastoreo puede generar fuertes condiciones hidrofóbicas en el suelo.

La humedad del suelo y su capacidad de retención de agua pueden disminuir considerablemente. En cuanto al fuego que son la principal causa que genera procesos de degradación en las formaciones vegetales. Se produce de forma natural, el cual se rejuvenece y regula el ecosistema y más repetitivo el producido por el ser humano el mismo que causa efectos casi permanentes, el fuego produce también una disponibilidad de algunos elementos fertilizantes como el potasio, pero no produce ninguna fertilización de suelo a largo plazo. Por el contrario, el fuego disminuye la cobertura vegetal que sirve de freno al impacto de la lluvia. La desaparición parcial de la cobertura vegetal que capta agua y dispersa su energía, produce un incremento de zonas desnudas que se transforman en caminos preferenciales para el escurrimiento del agua (Podwojewski, 1999, p. 13).

Además, la paramización (sustitución de bosques altos a páramo), también contribuye al cambio y degradación del suelo de páramo. (L. Llambí et al., 2012, pp. 38–40).

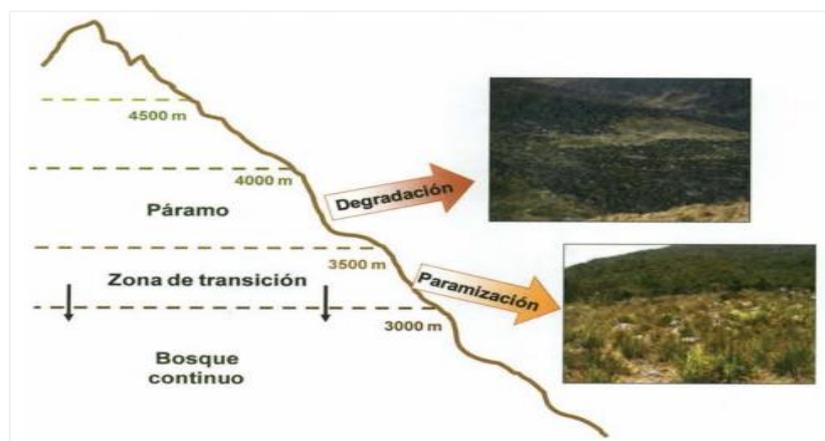


Figura 13-1: Paramización vs degradación del suelo por acción del hombre.

Fuente: Proyecto Páramo Andino y autores, (2012).

A nivel de todas las zonas Andinas Ecuatorianas, se calcula que cerca del 30% de la superficie que ocupa el páramo, se encuentra en condiciones naturales, el 40% se encuentra transformado y el 30% se encuentra degradado. (L. Llambí et al., 2012, p. 71).

La degradación del suelo ocasiona que la acidez se vea reducida considerablemente debido al aporte de cationes, fundamentalmente Ca, Mg, K, Si y P, así como determinados microelementos óxidos y carbonatos contenidos en las cenizas. La humectación de estas produce la hidrólisis de los cationes básicos que las contienen y, consecuentemente, el incremento del pH. El aumento de cenizas minerales provoca un crecimiento notable de la salinidad del suelo, mientras que la reducción en los porcentajes de materia orgánica genera un descenso de la capacidad de intercambio catiónico, se puede constatar la correlación entre la cantidad de materia orgánica y la

disminución de la capacidad de intercambio catiónico. De esta manera, parte de los cationes liberados no podrán ser retenidos en el complejo adsorbente, siendo lixiviados con mayor facilidad hacia horizontes profundos en el perfil del suelo o arrastrados sobre la superficie del mismo. (Solera, 2000, pp. 60–61).

1.6.5. Manejo sustentable de los Páramos

Las prácticas empleadas en el manejo sostenible incluyen la agricultura, orgánica y la agroecología, que proporcionan notables beneficios locales, regionales y globales, contribuyen positivamente a los servicios esenciales del ecosistema, como la regularización de los ciclos del agua, el secuestro de carbono y la preservación y conservación de la agrobiodiversidad. Los páramos sirven como suministro a las poblaciones que los habitan y viven en sus alrededores, de recursos vegetales como: leña, plantas alimenticias y medicinales, espacios para el pastoreo, fauna silvestre y otros recursos vivos, sino que cumplen funciones ecológicas muy importantes para la sociedad (Tapia et al., 2011, p. 5).

1.6.6. Plan de Manejo

Conocidos también como "Planes de conservación y uso sostenible de la tierra", básicamente, un plan es un conjunto de pasos a realizar para conseguir uno o varios objetivos. Cuando hablamos de Planes de Manejo de páramos hace referencia a dos conceptos básicos: "Planificación" o "planeación" y "Manejo" (Tapia et al., 2011, p. 8).

1.6.6.1. Planificación

Se entiende como un proceso gradual, por el cual se establecen un conjunto de actividades, para cumplir con objetivos fijados. Mediante la planificación se establecen los recursos y esfuerzos necesarios y se define la forma y el tiempo en los que se pretende alcanzar esos objetivos.

1.6.6.2. Manejo

Debe ser analizado, puesto que la sola idea de que podamos o debamos "manejar" los páramos o cualquier otro ecosistema, no es tan evidente como se podrían pensar. Partiendo de aquello se puede manifestar que el "Manejo" es un instrumento, una herramienta, un documento guía, un proceso, una ruta, la cual permite de alguna forma mitigar la transformación que sufre el páramo (Tapia et al., 2011, p. 9).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudio

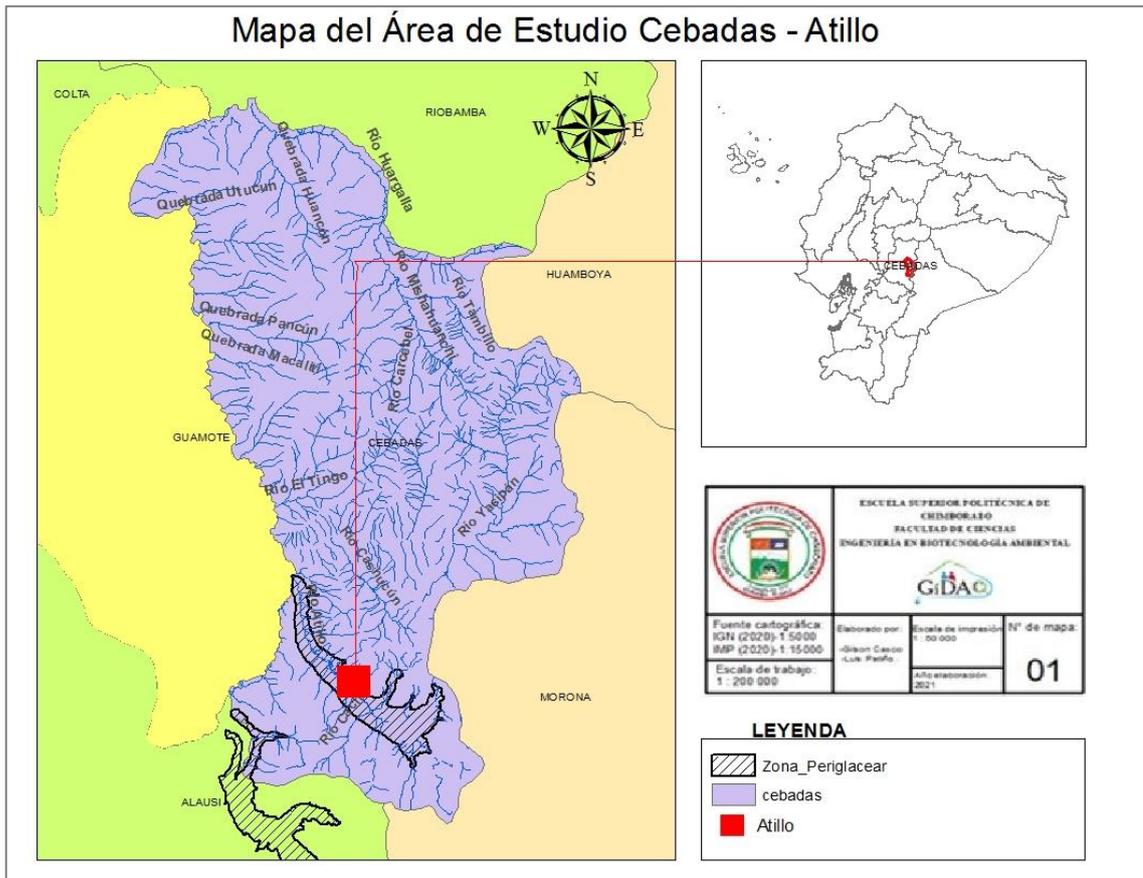


Figura 1-2: Mapa del área de muestreo Cebadas – Atillo.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Creado bajo Acuerdo el Ministerial No. 190 del 16 de junio de 1975 como Reserva Ecológica Sangay. Posteriormente, el 26 de Julio de 1979 fue categorizado como Parque Nacional, finalmente en 1983 la (UNESCO) declaró al Parque Nacional Sangay, su extensión es de 502 067 hectáreas. (MAE, 2019, pp. 21–23).

El complejo lacustre Atillo que corresponde a las zonas Alta, Media y Baja de la microcuenca del río Atillo se encuentra localizado en la provincia de Chimborazo, cantón Guamote, parroquia de Cebadas, a una altitud que va desde los 2600 hasta 4640 m.s.n.m., entre las lomas: loma Punta,

loma Mesa Rushca, laguna Cuyug, loma Filo Cuyug Hanua y Atillo Grande, el acceso a dicho lugar se lo realiza a través de la carretera Guamote-Macas (Delgado Yáñez et al., 2019, pp. 2–3).

Posee dos estaciones climáticas, temporada de lluvias y la seca. La primera empieza en el mes de mayo y termina en septiembre, mientras que la segunda va desde el mes de octubre hasta abril. De junio a septiembre es temporada de vientos fuertes en el páramo, mientras que entre octubre y diciembre caen con frecuencia heladas y granizadas que afectan gravemente las parcelas agrícolas que en esta época del año se encuentran en la etapa inicial de su desarrollo. (Bastidas, 2002a, p. 33).

Debido a que es una zona alta, la agricultura en Atillo es prácticamente inexistente en la actualidad, pero hay mucho interés por ampliarla. El valle en que se sitúa Atillo, está rodeado por cerros altos de pendientes pronunciadas. La comunidad es en realidad un territorio diverso en donde la gente distingue características diferentes en la zona más alta y relativamente más baja. Los comuneros de Atillo describen sus suelos como color negro y textura arcillosa. (Bastidas, 2002a, p. 33).

2.1.1. Ubicación geográfica

La comunidad de Atillo está ubicada en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Sangay. Con las siguientes coordenadas: Latitud: 02°10' 55.7" S y 78°32'42.6" W. (Paña, 2015, p. 19).

2.1.2. Sistema periglacial

La palabra Periglacialismo hace referencia a las áreas que bordeaban los grandes casquetes glaciares, se extienden en zonas de alta montaña de forma discontinua (*Zona permafrost Alpino*). (P. F. García, 2014, p. 2).

Conforme los glaciares retroceden, la superficie periglacial incrementa gradualmente, debido a la pérdida de la cobertura de hielo que expone el material del sustrato y la formación de la superficie a otros procesos. En la parte inferior de la escala, debido al aumento de temperatura, genera un proceso de fitocolonización con especies precursoras herbáceas del páramo. No obstante, de acuerdo a las observaciones hechas, la velocidad de fitocolonización y formación de suelos son menores a la del desarrollo del área periglacial en el extremo superior por la recesión glacial (Ideam, 2010, pp. 40–43).

Así, el sistema periglacial crece hasta su límite superior mientras los glaciares retroceden y, al mismo tiempo, el aumento de las temperaturas hace que los páramos se eleven y colonicen súper páramos, perdiendo así espacio en el límite inferior. En condiciones donde el glaciar desaparece, pero el piso periglacial persiste, el mismo crecerá progresivamente en altitud, hasta que se quede sin espacio, donde el páramo avanzará hasta que el glaciar desaparezca y los pisos periglaciales ocupen todo el espacio (Ideam, 2010, pp. 40–43).

En el presente trabajo de investigación, el sistema periglacial se definió desde la cota 3520 m.s.n.m determinado por la Laguna Magdalena /Atillo hasta la cota 3320 m.s.n.m en la unión con el río Ozogoché.

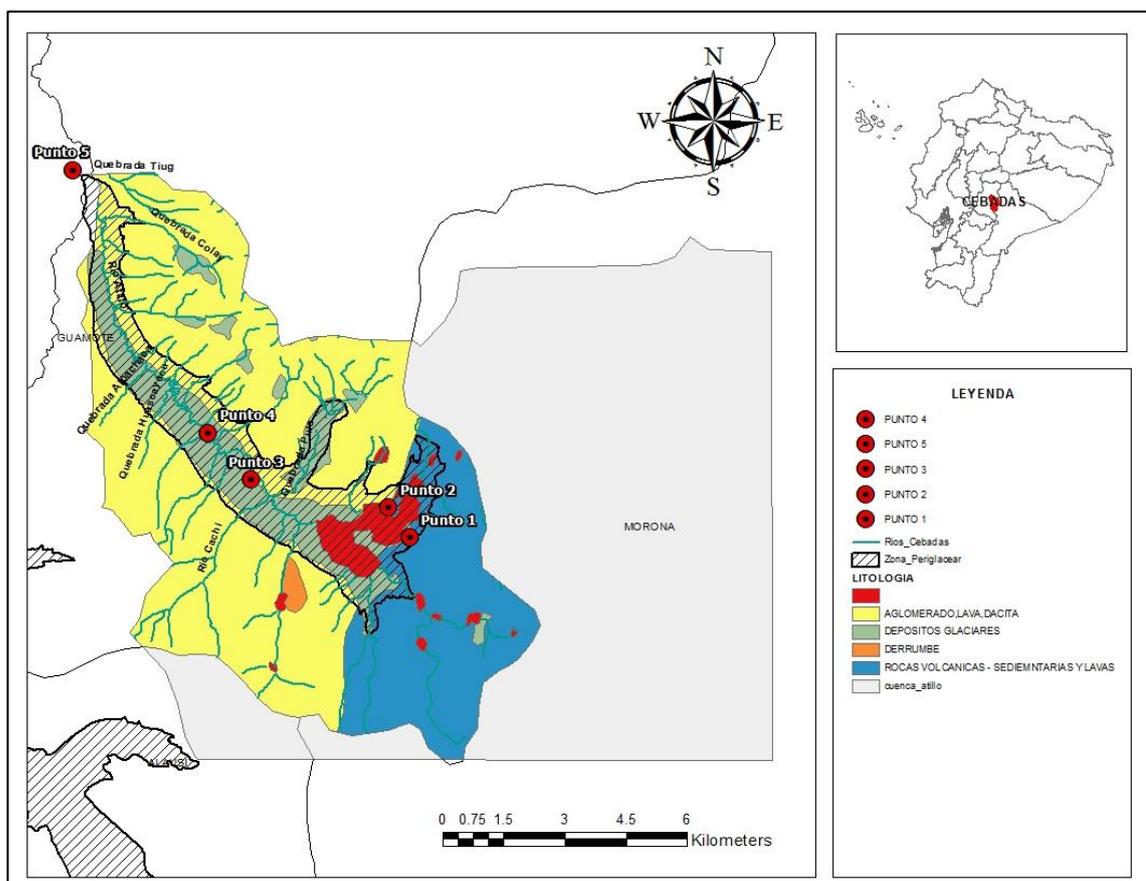


Figura 2-2: Ubicación de los puntos de muestreo.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

2.1.3. Climatología

Precipitación anual

En la parroquia Cebadas las diferentes zonas y comunidades poseen diferentes regímenes de lluvia, que va desde los 250mm en las comunidades secas, a los 2.500 mm de precipitación media

anual en las zonas húmedas, generalmente hacia el ecosistema de páramo. En zonas o comunidades con niveles de 250 a 500 mm de precipitación, existe un déficit de humedad para el desarrollo de los cultivos. En la parroquia se ha identificado las riberas del río Cebadas, en el sector noroccidental, con este nivel de precipitación, representando apenas el 5,3% del territorio. (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 16).

A medida que trepamos a los páramos, el nivel de precipitación se aumenta, teniendo niveles desde 750 a 1000 mm; las comunidades que se encuentran en este régimen de lluvias representan el 28,8% del territorio de la parroquia. En el rango de precipitación entre 1.000 a 2.500 mm anuales se encuentran zonas que cubren el 40,82% del territorio parroquial; constituyen zonas de páramo húmedo, ubicados en toda la parte oriental de la parroquia. Aquí se encuentra la mayor reserva de agua de la parroquia y del cantón Guamate.(PDyOT Cebadas, 2015a, p. 16).

Temperatura media anual

En función del mapa de Isotermas de la parroquia Cebadas, el rango de temperatura va desde los 4°C a los 12°C. La mayor parte del territorio (94,2%) posee temperaturas entre los 4°C a 10°C, en tanto que apenas el 5,8% de toda la parroquia poseen temperaturas entre los 10°C a 12°C, llegando a una temperatura media anual de 13,7°C. (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 9).

Humedad relativa

Hace referencia a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. Debido a los dos tipos de climas: Invierno húmedo frío en los meses de octubre a mayo y verano cálido, seco, ventoso de junio a septiembre; la humedad relativa de la zona es del 96,8%, una nubosidad de 3.1 horas/día, según datos de INAMHI para el año 2014 (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 9).

2.2. Tipo y diseño de investigación

2.2.1. Tipo de Investigación

La investigación realizada en el presente proyecto fue tanto de campo, como técnico, por lo que se considera no experimental con metodología descriptiva, documentada y explicativa, enfocada en identificar y analizar la problemática ambiental de la zona de estudio.

Para obtener datos en el lugar de estudio y en tiempo real, se utilizó el método de observación directa, con la finalidad de que ninguna de las variables se vea influenciada en los diferentes estratos del suelo.

Mientras que para la investigación documental fue utilizada como herramienta para proporcionar técnicas e instrumentos para el trabajo en campo, sujeta en fuentes bibliográficas como libros, investigaciones, artículos, y normativas nacionales e internacionales.

2.2.2. *Según el enfoque de estudio*

Mixto

De tipo mixto debido a que el presente trabajo de investigación se centra en algunas variables con enfoques cuantitativos, partiendo de la recolección de datos (parámetros fisicoquímicos, Capacidad de Intercambio Catiónico); y cualitativos (perfiles del suelo, profundidad, entre otros), mismos que una vez evaluados permitieron obtener resultados fiables, lo cual permitió aceptar la hipótesis alternativa.

2.2.3. *Según el área de estudio*

Descriptiva

La presente investigación tiene un enfoque Descriptivo debido a que se emplearon técnicas y métodos para determinar propiedades y características de los cationes: K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e H^+ en suelos altoandinos de la parroquia Cebadas, comunidad Atillo, procedimiento que se llevó a cabo mediante el método de observación sin que alguna de las variables se vea influenciada en los diferentes estratos del suelo.

2.2.4. *Según el método usado*

Explicativo

De acuerdo con el nivel de profundización en el objeto de estudio la investigación es de carácter explicativo debido a que por medio del análisis se evaluó la capacidad de intercambio de los cationes mencionados en suelos altoandinos dentro la localidad de Atillo, poniendo énfasis en la presencia de los nutrientes en distintas profundidades del suelo, su proceso de lixiviación e influencia sobre las zonas de conservación y explotación agrícola y ganadera.

2.3. Hipótesis de Investigación

- La variabilidad vertical de los iones intercambiables de la microcuenca baja del río Atillo permite la identificación de la zona periglacial.

2.3.1. Variables

- **Variable dependiente:** Capacidad de Intercambio Catiónico.
- **Variable independiente:** Profundidad

2.4. Población de estudio

El área de interés del proyecto de investigación está comprendida por la microcuenca del río Atillo cuya extensión es de 9091,20 ha y el sistema periglacial comprendida en una extensión de 2166.30 hectáreas.

Tabla 1-2: Población de Estudio

Zona	Área (ha)	Porcentaje %
Microcuenca	9.091,20	80,76
Periglacial	2.166,30	19,24
TOTAL	11257,50	100

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Para la selección de las muestras se estableció de uno a dos perfiles por cada región de la microcuenca Atillo, también se consideró un proceso probabilístico, tomando en cuenta las curvas de nivel, es decir; la altitud a la cual se encuentra cada una de las zonas de estudio, así como la altura del perfil seleccionado que oscila entre los tres y cuatro metros de profundidad, luego se define la altura en la cual se procede a tomar las distintas muestras, esto considerando los horizontes y la transición entre ellos, para así obtener una muestra representativa y significativa.

2.5. Muestra

Está fundamentada en tres estratos de la microcuenca del río Atillo, que comprenden las zonas Alta cubierta por un sistema montañoso y varias lagunas con un suministro de agua abundante, la zona media la cual abarca una extensión considerable de pasto natural que es aprovechado para la producción de ganado lechero, dicha extensión dividida por el río que lleva el nombre de la

comunidad, finalmente la zona baja al igual que la zona anterior formado por extensiones grandes de terreno con producción de pasto natural e introducido por los comuneros, ya que es adaptable por estar en una menor altura respecto a la zona uno y dos, el territorio está formado también por ríos que subministran gran cantidad de agua como es el Ozogoche y el Yasipan por el otro extremo, formando la subcuenca del Cebadas río abajo.

2.5.1. *Tamaño de la muestra*

2.5.1.1. *Descripción Perfil 1*

Con una altitud de 3440 msnm, con coordenadas UTM 776560.00 m E (X) y 9756984.00 m S (Y).

La corteza terrestre del territorio de Cebadas se formó en la era Terciaria, en los períodos Jurásico y parte en el Cretácico; se encuentran constituidas por rocas metamórficas y en menor proporción por rocas ígneas y sedimentarias. Se hallan localizadas en la Cordillera Real (Oriental) de los Andes y en los Valles Interandinos (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 11). Su edafología es un área no intervenida cubierta de pajonal propio del lugar y partes muy pequeñas herbazal, consta también de áreas pequeñas donde la vegetación es polylepis propio de esta zona, la cual forma parte de la Reserva Ecológica Sangay. En la parroquia Cebadas existen cuatro tipos de suelos: Inceptisoles, Molisoles, Entisoles e Histosoles, incurriendo el perfil 1 en un suelo de tipo Andosol (PDyOT Cebadas, 2015a), debido a las características que presenta el mismo, su textura Areno Franco. Este perfil está ubicado en la parte norte a 100 metros aproximadamente de la laguna Magdalena, entre dos espacios exuberantes de polylepis y a una distancia 1,5 km de la vía Riobamba-Macas.



Figura 3-2: Perfil 1.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

2.5.1.2. Descripción Perfil 2

Con una altitud de 3440 msnm, con coordenadas UTM 776042.00 m E (X) y 9757732.00 m S m S (Y).

La corteza terrestre del territorio de Cebadas se formó en la era Terciaria, en los períodos Jurásico y parte en el Cretácico; se encuentran constituidas por rocas metamórficas y en menor proporción por rocas ígneas y sedimentarias. Se hallan localizadas en la Cordillera Real (Oriental) de los Andes y en los Valles Interandinos (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 11). Su edafología es un área intervenida cubierta con poco pajonal propio del lugar y partes pequeñas herbazal, ubicado en la transición del herbazal con gran cantidad de agua y una colina no tan pronunciada, con vegetación arbustiva y algunas plantas de polylepis, forma parte también de la Reserva Ecológica Sangay. Así mismo, dentro de los diferentes tipos de suelos, el perfil 2 encontrándose en un suelo de tipo Andosol, debido a las características que presenta el mismo y su textura Franco Arenoso en los 3m de profundidad. Este perfil está ubicado a 50 m del extremo de la Laguna Magdalena, junto a la vía Riobamba-Macas, a 100 metros de dos viviendas abandonadas.



Figura 4-2: Perfil 2.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

2.5.1.3. Descripción Perfil 3

Con una altitud de 3440 msnm, con coordenadas 772687.00 m E (X) y 9758417.00 m S (Y).

La corteza terrestre del territorio de Cebadas se formó en la era Terciaria, en los períodos Jurásico y parte en el Cretácico; se encuentran constituidas por rocas metamórficas y en menor proporción por rocas ígneas y sedimentarias. Se hallan localizadas en la Cordillera Real (Oriental) de los Andes y en los Valles Interandinos (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 11). Su edafología es un área intervenida presenta gran cantidad de agua debido a que se trata de una zona de humedal y de pastoreo, zona herbazal y pequeños residuos de pajonal, forma parte también de la Reserva Ecológica Sangay. Así mismo, dentro de los diferentes tipos de suelos, el perfil 3 recae en un tipo de suelo Andosol, debido a las características que presenta el mismo y su textura Franco Arenosa y Limo Arcilloso en los 3m de profundidad. Este perfil está ubicado junto a un espacio



Figura 5-2: Perfil 3.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

pantanosos y una pequeña quebrada desemboca en el río Atillo, a 30 m del río Atillo, el cual nace de la Laguna Magdalena, frente al Cementerio de la comunidad, a 500 m en línea recta de la vía Riobamba-Macas, paradero “RANCHITO LA POSADA”.

2.5.1.4. Descripción Perfil 4

Con una altitud de 3440 msnm, con coordenadas 771624.00 m E (X) y 9759566.00 m S (Y).

La corteza terrestre del territorio de Cebadas se formó en la era Terciaria, en los períodos Jurásico y parte en el Cretácico; se encuentran constituidas por rocas metamórficas y en menor proporción por rocas ígneas y sedimentarias. Se hallan localizadas en la Cordillera Real (Oriental) de los Andes y en los Valles Interandinos (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 11). Su edafología es un área intervenida presenta gran cantidad de agua debido a que se trata de una zona de humedal y de pastoreo, zona herbazal y pequeños residuos de pajonal, forma parte también de la Reserva Ecológica Sangay. Así mismo, dentro de los diferentes tipos de suelos, el perfil 4 recae en un tipo de suelo Entisol, el perfil 4 recae en tipo de suelo andosol, debido a las características que presenta el mismo y su textura Franco Arenoso y Franco Arcillo limoso en los 4.50m de profundidad, recalcar que a excepción del perfil 5 los demás no han sido modificados ya que la toma de muestras se realizó con ese objetivo. Este perfil está ubicado junto al río Atillo, a 1 km aproximadamente del perfil 3, cerca de la comunidad de Atillo Bajo, a 600 m aproximadamente en línea recta de la vía Riobamba-Macas.



Figura 6-2: Perfil 4.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

2.5.1.5. Descripción Perfil 5

Con una altitud de 3440 msnm, con coordenadas 768315.00 m E (X) y 9766047.00 m S (Y).

La corteza terrestre del territorio de Cebadas se formó en la era Cuaternaria, en los períodos Jurásico y parte en el Cretácico; se encuentran constituidas por rocas metamórficas y en menor proporción por rocas ígneas y sedimentarias. Se hallan localizadas en la Cordillera Real (Oriental) de los Andes y en los Valles Interandinos (PDyOT Cebadas, 2015a, p. 11). Su edafología es un área intervenida presenta gran cantidad de agua debido a que se trata de una zona de humedal y de pastoreo, zona herbazal y pequeños residuos de pajonal, forma parte también de la Reserva Ecológica Sangay con una geología volcánica y



Figura 7-2: Perfil 5.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

glaciar con pendientes suaves característicos de depósitos glaciares isomésico. Dentro de los diferentes tipos de suelos, el perfil 5 recae en un tipo de suelo Inceptisol debido a las características que presenta el mismo y su textura Franco Arcilloso y Franco Arenoso en los 3m de profundidad. Su cobertura es característica natural con vegetación arbustiva y herbácea denominada tierra agropecuaria. este perfil está ubicado a 300 m aproximadamente entre la unión de los ríos Atillo y Ozogoché cruzando un puente de hormigón, dentro de una zona intervenida donde se encuentra grandes extensiones de pasto sembrado por los comuneros y también sembríos de pino, a 500 m aproximadamente en línea recta de la vía Riobamba - Macas. De vegetación arbustiva y herbácea tierra agropecuaria.

2.5.2. *Diseño experimental*

Selección de los puntos de muestreo

En cuanto al método de muestreo se empleó el Estratificado criterial este tipo de muestreo es un procedimiento en el que la población se divide en segmentos y se selecciona una muestra para cada segmento, luego una muestra aleatoria simple se seleccionará de cada segmento (estrato), con un enfoque criterial debido a que se realizará un reconocimiento previo de las zona alta , media y baja en búsqueda de los lugares potenciales en cuanto a cortes de suelo, de la zona de estudio y una identificación de los puntos a muestrear.

Muestreo

Para el muestreo de los puntos seleccionados se procedió de la siguiente manera: Identificamos los perfiles del suelo, se procede con la remoción de la cobertura vegetal y cavado vertical del suelo, se observa la coloración y transición entre horizontes, de acuerdo a esto procedemos a recolectar aproximadamente un extracto de 1-2 kg de suelo iniciando desde la parte superficial a los 0-30 cm la primera muestra, luego a los 30-60 cm, después a los 60-90 cm, así hasta una alcanzar una profundidad de 3 m o más, conforme varíe las capas u horizontes del suelo, con lo cual obtendremos un total de 10 a 15 muestras por cada punto seleccionado, el número de muestras dependerá del perfil y sus transiciones, es decir; la variabilidad que este posee, lo cual es fácil diferenciar visualmente, luego las muestras representativas obtenidas serán sometidas a su respectivo análisis bajo los parámetros y variables anteriormente descritos.

2.6. Equipos y Materiales

2.6.1. Equipos

- Multiparámetro
- GPS Garmín 64 st.
- Balanza analítica Adventurer® marca OHAUS.
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica iCE 3000 SERIES

2.6.2. Materiales

- Palas
- Pico
- Flexómetro
- Cilindros de acero inoxidable (Anillo de Kopecky).
- Fundas Ziploc
- Cinta Film
- Rotuladores

2.7. Métodos

2.7.1. Metodología de muestreo

La georreferenciación de la zona de estudio se efectuó en el transcurso de las salidas de campo, empleando el equipo GPS, con el cual se obtuvieron las coordenadas de los puntos requeridos para consecutivamente conformar la ubicación geográfica del área de estudio. Las salidas fueron planificadas con semanas de anticipación y coordinadas por el técnico encargado del grupo de investigación de campo, previamente se realizó un reconocimiento de la zona conjuntamente con el guía del proyecto, quien estuvo a cargo de dirigir, guiar y reconocer los puntos de muestreo, otra persona estuvo a cargo de las fichas de campo y del etiquetado de las muestras, y otras dos a cargo de la recolección de las muestras con el apoyo de herramientas adecuadas para la remoción de suelo en campo, para posteriormente transportar al laboratorio.

Para el muestreo de los puntos seleccionados se procedió de la siguiente manera: Se identificó los horizontes del suelo, de acuerdo a esto procedemos a recolectar aproximadamente un extracto de 2 kg de suelo iniciando desde la parte superficial de 0-30 cm la primera muestra, luego de 30-60

cm que será la segunda muestra, después de 60-90 cm la tercera muestra respectivamente, y así hasta una alcanzar una profundidad de 300 cm o más, dependiendo de los horizontes y sus transiciones, con lo cual obtendremos un total de entre 10 y 15 muestras por cada perfil seleccionado, las muestras representativas obtenidas serán sometidas a su respectivo análisis bajo los parámetros y variables anteriormente descritos.



Figura 8-2: Perfil de muestreo y Recolección de Muestras.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

2.7.2. Metodología para determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Color

Para la determinación de color se tomó 2 gramos de muestra de suelo con una espátula, se colocó sobre una superficie blanca (hoja de papel), ubicamos la muestra bajo la tabla de Munsell con la circunferencia, hasta asemejar visualmente un tono similar, comparamos el color de los patrones hasta encontrar el que más se asemeje, luego interpretamos los valores correspondientes a chroma en el eje "X" y value en el eje "Y", reportamos el valor del punto de intercepción, el mismo que indica el color correspondiente. Como se indica en la metodología establecida en Munsell Soil Color Chart (Munsell Color Company Inc, 1994, pp. 2–29).



Figura 9-2: Identificación de color en la Tabla de Munsell.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Conductividad eléctrica

Se pesó 25 gramos de la muestra de suelo y colocamos en un vaso de precipitación de 50 ml, posterior agregamos 45 ml de agua destilada y homogenizamos la solución por 10 minutos, se mantiene hasta que sedimente durante 30 a 60 minutos, llevamos la solución al conductímetro, previo un lavado con agua destilada del electrodo, introducimos el electrodo en la muestra, sin tocar el sedimento y reportamos el valor reflejado.



Figura 10-2: Determinación de Conductividad eléctrica.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Densidad aparente (D_a)

Se sacó la muestra húmeda del cilindro y se pesó, se midió por triplicado tanto diámetro externo como el interno y se sacó un promedio, se encontró el volumen y el área despejando fórmulas, se aplicó la fórmula D_a , se registró los valores obtenidos.



Figura 11-2: Determinación de la densidad aparente.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Fórmulas

$$\begin{aligned}D_a &= m \div v \\v &= A \times h \\A &= \pi \times r^2\end{aligned}$$

Ecuación 1-2:

Donde:

D_a = densidad aparente

m = masa

v = volumen

A = área del cilindro

r = radio del cilindro

Humedad

Para la determinación del contenido de humedad en el suelo, se colocó el contenido de los cilindros en una bandeja de aluminio y se pesó, luego se llevó las bandejas a una estufa para el secado durante 24 horas a una temperatura de 105 °C, posterior se volvió a pesar las bandejas y se determinó el valor por diferencia de pesos. De acuerdo con la metodología establecida por el Grupo de Investigación y Desarrollo para el Cambio Climático (GIDAC).



Figura 12-2: Secado de Muestras.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Materia orgánica del Suelo (MOS)

Se tamizó la muestra de suelo utilizando un tamiz de 150 μm de diámetro, luego se tomó 5 gramos de suelo y almacenó en un recipiente, después se tomó un crisol para cada muestra, se esterilizó en la mufla durante una hora a una temperatura de 800 $^{\circ}\text{C}$, se enfrió en el desecador durante 30 minutos, se rotuló y pesó (P1), se colocó los 5 gramos de muestra en cada crisol y pesamos (P2), A continuación, llevamos a la estufa durante 24 horas a 105 $^{\circ}\text{C}$, se sacó al desecador por 30 minutos y se registró su peso (P3), Luego introdujo a la mufla por 2 horas a 360 $^{\circ}\text{C}$, se sacó y se registró el último peso (P4), Finalmente se aplicó la fórmula y se encuentra el % de Materia Orgánica. Tal como indica la metodología de LOI, establecida por Grupo de Investigación y Desarrollo para el Cambio Climático (GIDAC).



Figura 13-2: Determinación de materia orgánica.

Fuente: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Fórmula

% materia orgánica = ((peso crisol + muestra después de 24 horas, estufa) - (peso de crisol + muestra luego de la mufla)) *100

$$\%MO = [((P3 - P4) \div (P3 - P1)) \times 100]$$

Ecuación 2-2:

Donde:

P1= Crisol vacío

P2= Crisol + 5 g de muestra

P3= Peso crisol estufa 105 °C

P4= Peso del horno mufla 360 °C

pH

Se pesó 5 gramos de la muestra de suelo y colocamos en un vaso de precipitación de 50 ml, luego agregamos 45 ml de agua destilada y mezclamos la solución por 10 minutos, Dejamos que sedimente durante 30 minutos, después llevamos la solución al pH-metro, previo un lavado con agua destilada el electrodo para evitar alteraciones en las lecturas, por último, introducimos el electrodo en la muestra, sin tocar el sedimento, reportamos cada uno de los valores arrojados.



Figura 14-2: Determinación de pH.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Textura

Se tomó una muestra pequeña de suelo, colocarla en la palma de la mano, colocar una pequeña cantidad de agua hasta que se forme una masa moldeable, realizar una bola tamaño de una caneca, colocarla entre los dedos índice y pulgar, ejercer una pequeña presión tratando de formar una cinta la cual debe ser de espesor y tamaño uniforme, si no se forma la cinta se obtendrá un suelo Arenoso Franco, si se forma una cinta pequeña de menos de 2,5 cm, sintiendo al suelo muy arenoso (grueso), este será un suelo Franco Arenoso, si no se siente el suelo muy suave se obtendrá un suelo Franco Limoso y si no se siente el suelo ni muy grueso ni muy suave se obtendrá un suelo Franco. Como indica la metodología establecida por Grupo de Investigación y Desarrollo para el Cambio Climático (GIDAC).



Figura 15-2: Determinación de la textura del suelo.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La determinación de la CIC consistió en la suma de las bases más la acidez intercambiable. La suma de los cationes Al^{3+} e H^+ representa la acidez intercambiable.

$$CICE = [(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+) + (Al^{3+} + H^+)]$$



Figura 16-2: Análisis en Espectrofotometría de absorción Atómica.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Cálculos

.

$$CICE = \Sigma [(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+) + (Al^{3+} + H^+)]$$

$CICE = \text{Cmol} / \text{Kg suelo}$

Ecuación 3-2:

Donde:

CICE = Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva.

2.7.3. *Análisis Estadísticos*

2.7.4. *Hipótesis nula*

No existe variabilidad vertical y espacial en la concentración de los macronutrientes en relación con la profundidad del suelo dentro de la localidad de Atillo.

2.7.5. *Hipótesis alternativa*

Existe variabilidad vertical y espacial en la concentración de los macronutrientes en relación con la profundidad del suelo dentro de la localidad de Atillo.

2.7.6. *Análisis descriptivo de las variables en estudio*

Los parámetros que fueron seleccionados para el análisis estadístico fueron las variables físico y físico químicas como densidad aparente (DA), Humedad, Conductividad Eléctrica (CE), Textura, Color, el pH, % de materia orgánica (MO), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). También se determinó la media, la mediana, curtosis, coeficiente de variación, máximo, mínimo, error rango y desviación estándar; se emplearon los diagramas de caja (Box – plots) para ver su comportamiento respecto a la media y mediana. Se identificaron valores atípicos al comparar los valores de cada variable respecto a ± 2 veces la desviación estándar. Sin embargo, se corrió el análisis sin eliminarlos de la base datos. Una vez armada la base de datos, se procedió a utilizar la prueba de normalidad de Shapiro – Wilks al 5% para verificar si las variables son normales. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias.

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de P1 - C.I.C dentro de cada uno de los 5 niveles de PERFIL son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango promedio para los datos de cada nivel. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente

diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, se elegirá la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias.

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de P1-MO dentro de cada uno de los 5 niveles de PERFIL son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango promedio para los datos de cada nivel. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Análisis descriptivo

Tabla 1-3: Cationes Intercambiables Del Perfil 1 (mg/kg).

CAT.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
K+	38,70 ± 0,04	4,49	114,61%	157,40	15,40	141,99	34,64
Ca ²⁺	152,96 ± 0,09	3,16	37,53%	202,87	7,77	195,09	57,41
Mg ²⁺	69,26 ± 0,07	3,04	39,41%	137,44	37,45	99,99	27,29
Na+	31,21 ± 0,05	6,33	111,01%	129,46	15,06	114,40	44,35
H+	0,88 ± 0,01	-1,15	5,41%	0,94	0,81	0,13	0,05
C.I.C (Cmol/Kg)	2,45 ± 0,09	1,22	11,00%	3,05	2,10	0,95	0,27

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio

En la tabla 1-3 se muestra los cationes correspondientes a los suelos de páramo del perfil 1 presentando valores que se categorizan como niveles de concentración bajos. Para el calcio, los valores a las distintas profundidades presentan un promedio de 152,96 mg/Kg ($\pm 0,09$) de suelo, comprendido en un rango entre 195,09 de suelo, clasificándose como suelos de contenido bajo de calcio; en este caso las 10 muestras son de contenido muy bajo, es decir; no mayor a 600 mg/Kg. El magnesio a distintas profundidades de manera general muestra un contenido muy bajo, ya que (Rioja, 2002, pp. 93–94), menciona que suelos con contenido de magnesio menores a 72 mg/Kg son considerados como muy bajos.

El promedio de contenido de magnesio es de 69,26 mg/Kg ($\pm 0,07$) de suelo con un máximo de 137,44 mg/Kg de suelo (P1 0-30 cm) y mínimo 37,45 mg/Kg de suelo (P1 90 -120 cm). Para el potasio según la clasificación brindada por (Rioja, 2002, p. 92), menciona que de 0 a 117 mg/Kg de suelo son considerados como suelos con contenido muy bajo de potasio, la muestra (P1 0-30 cm) presenta un contenido bajo y las 9 restantes de contenido muy bajo; en esta zona el valor promedio fue de 38,70 mg/Kg ($\pm 0,04$) de suelo, con un máximo de 157,40 mg/Kg de suelo (P1 180 – 210 cm) y mínimo de 15,40 mg/Kg (90 – 120 cm) de suelo. Como consta en la Tabla 19, la muestra

(P1 0 -30 cm), posee el valor más alto de potasio, que, aunque clasificados como de contenido bajo, esto puede ser ocasionado por la dispersión excesiva de los coloides perdiéndose la estabilidad de los agregados. Otro factor es el fuego que produce disponibilidad de algunos elementos fertilizantes como el potasio, pero no produce ninguna fertilización al suelo a largo plazo. (Podwojewski P.* et al., 2009, pp. 53–54). En el caso del sodio (Rioja, 2002, p. 91), manifiesta que valores entre 0 – 69 mg/Kg son considerados como muy bajos, el valor promedio es de 31,21 mg/Kg de suelo, con un máximo de 129,46 mg/Kg de suelo (P1 270-300 cm) y mínimo de 15,06 mg/Kg de suelo (P1 90-120 cm); según lo cual los puntos (P1 270 - 300 cm) corresponden a suelos con bajo contenido de sodio, y las demás profundidades corresponden a suelos de muy bajo contenido.

Los niveles de calcio, magnesio, potasio y sodio son bajos en este perfil de suelo analizado. El potasio, junto con el magnesio, son elementos que se lixivian rápidamente en comparación con el calcio (Podwojewski P.* et al., 2009), como el caso de los suelos de páramo. (Estupiñán et al., 2009, p. 88), afirman que la deficiencia de bases es una característica inherente al tipo del suelo del páramo, ocasionada por su baja fuerza de retención catiónica.

H⁺

El suelo del perfil 1 presentaron valores de pH promedio de 7,56; lo que permite clasificarlos como ligeramente ácido a ligeramente alcalino y a su vez deriva en la presencia de acidez y aluminio intercambiable con niveles medios como se indica en la Tabla 1-3; confirmando que a pH bajos se ve favorecida la solubilidad de cationes ácidos como el Al³⁺ y el H⁺ (Carreño & Chaparro, 2013, pp. 284–286). El suelo presentó los valores promedio de H⁺ 0,876 mg/Kg de suelo; no necesariamente asociados con los valores más altos para acidez 0,94 mg/Kg de suelo (P1 – 60-90cm) y aluminio intercambiable, en comparación con 0,810 mg/Kg de suelo (P1 210-240cm); demostrando la variabilidad de la acidez del suelo y su necesidad de ser caracterizada.

CIC

La Tabla 1-3, muestran los datos correspondientes al perfil 1, donde: estos suelos tienen un valor promedio de 2,45 Cmol/Kg ($\pm 0,09$), con un valor mínimo de 2,10 Cmol/Kg en la muestra (P1 - 240-270 cm) y máximo de 3,050 Cmol/Kg en la muestra (P1 270-300 cm). Según la interpretación de la capacidad de intercambio catiónico definido por (Rioja, 2002, p. 94), los suelos en estudio tienen una capacidad de intercambio catiónica muy baja, por sus valores menores al 6 meq/100g. La baja capacidad de intercambio catiónico puede ser ocasionado por el tipo de textura de los suelos en estudio, las texturas arenosas suelen mostrar menor CIC por la facilidad en la que pierden

nutrientes. Para el perfil 1 el predominio es de clase textural areno-franco, para el perfil 2 predomina el franco-arenoso, para el perfil 3 el predominio es limo-arcilloso, para el perfil 4 y perfil 5 predominan el franco-arenoso, con contenidos de arena altos.

Las partículas de arena son inertes (sin carga) y no reaccionan; mientras que las partículas de arcilla (con carga negativa), retienen y liberan nutrientes cargados positivamente. (Abrego, 2012, pp. 2-5), afirma que, a mayor contenido de arcillas en el suelo, mayor será su capacidad de intercambio. Teniendo en cuenta que, mientras mayor sea el contenido de materia orgánica mayor también será su capacidad de retención de cationes (Valero, 1993, pp. 5-7), los resultados obtenidos no coinciden con este criterio: los suelos en estudio son calificados como altos en su contenido de materia orgánica, a pesar de lo cual su capacidad para intercambiar cationes es baja. Esta particularidad puede ser ocasionada también como se explicaba en los párrafos antepuestos, por el elevado contenido de arena de los suelos.

Tabla 2-3: Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 1.

Prop.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Fís y Quí							
pH	7,56 ± 0,25	-1,12	10,71%	8,73	6,46	2,27	0,80
CE (µS/cm)	15,08 ± 1,10	1,21	23,04%	22,89	11,38	11,51	3,47
%MO	19,45 ± 1,68	-0,67	27,30%	25,97	10,41	15,56	5,31
DA (g/cm³)	1,07 ± 0,04	-0,58	11,54%	1,21	0,85	0,36	0,12

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

pH

Como se observa en la Tabla 2-3, en suelos correspondientes al perfil 1 el pH mínimo fue 6,46 en la muestra (P1 210-240 cm) y máximo de 8,73 en la muestra (P1 60-90cm), con un promedio general de 7,56 (± 0,26), estos valores según (Paredes & Guaman, 2020, pp. 40-41), corresponden a suelos ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos. Finalmente, los suelos correspondientes a la zona periglacial son clasificados como andosoles alofónicos, por su pH superior a 5 (Podwojewski P.* et al., 2009), estos valores son comunes de los suelos derivados de cenizas volcánicas, por sus altos contenidos de aluminio y hierro. (Estupiñán et al., 2009, p. 80), mencionan que cuando un suelo es de débil a fuertemente ácido, es por la presencia predominante de la alófana.

CE

Como se muestra en la Tabla 2-3, los valores reportados para conductividad eléctrica en suelos de perfil 1 se encuentran entre 22,89 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como valor máximo (P1 0-30 cm) y 11,38 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P1 270-300 cm) como valor mínimo y con un promedio de 15,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($\pm 1,10$). Los suelos en análisis corresponden a suelos no salinos, como lo reportado por (Díaz et al., 2020, pp. 54–55), donde los suelos no salinos son aquellos con valores de conductividad eléctrica menores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Considerando las variables asociadas como la materia orgánica, los resultados obtenidos muestran ser inconsistentes, a pesar de que los suelos en estudio tienen en su mayoría un alto contenido de materia orgánica, su conductividad es baja y mientras mayor sea el contenido de materia orgánica mayor debería ser la capacidad de este para conducir la electricidad (Lal, 2004, pp. 1624–1626), afirma que algunos componentes de la materia orgánica son responsables de la formación y estabilización de los agregados del suelo, generando poros y macroporos que, a su vez aumentan la capacidad de conducir la corriente eléctrica del suelo.

Por su parte los puntos (P1 0-30cm) y (P1 180-210cm), muestran los resultados más acertados, pues son los puntos que poseen entre mayor contenido de materia orgánica y mayor conductividad eléctrica (Fonseca, 2015, p. 65), explicaron que la fuerte correlación entre la conductividad eléctrica y la materia orgánica es debido a que la materia orgánica ya que mantiene las propiedades físicas del suelo y, que la materia orgánica está asociada a una acumulación de nutrientes y retención de agua, factores que tienen relación directa con la conductividad eléctrica.

% MO

Como se observa en la Tabla 2-3, para suelos del perfil 1 existe un valor promedio de materia orgánica de 19,45% ($\pm 1,68$) con un valor mínimo de 10,41% correspondiente a la muestra (P1 90-120cm) y máximo de 25,97% en la muestra (P1 180-210cm). (LABRADOR, 2001, pp. 3–5), otorga una clasificación para el porcentaje de materia orgánica del suelo como medio aquellos valores reportados entre 5 a 10 y alto para todos aquellos con valores superiores al 10%. De los suelos en análisis de la zona periglaciaria a excepción de (P1 90-120cm) son considerados como de contenido medio, y el resto de los puntos se clasifican como suelos de alto contenido de materia orgánica.

Como se observa en la Tabla 2-3 la distribución del contenido (%) de materia orgánica es similar de acuerdo con las zonas de muestreo. Al poseer un porcentaje mayor al 8% toda el área está conformada por andosoles (Mena et al., 2000, p. 60), corroborando la validez del estudio. Cuando existe acumulación de materia orgánica la densidad aparente de un suelo se reduce, existiendo

una relación inversa entre estos indicadores (Daniel, 2002, pp. 190–191). En suelos del perfil 1, aquellos con una densidad aparente menor a 1,0 g/cm³, fueron los suelos con los valores más altos de materia orgánica (mayor a 10%). De manera general en las áreas intervenidas al momento de la toma de muestras, la presencia de desechos animales pudo influir en el reporte del análisis, mostrando valores elevados de materia orgánica.

Densidad aparente

Como se puede observar en la Tabla 2-3, en suelos del perfil 1 existe un promedio de densidad aparente de 1,066 g/ cm³ ($\pm 0,04$) , con un valor máximo de 1,21 gr/cm³ en la muestra (P1 0-30 cm) y mínimo de 0,85 gr/ cm³ correspondiente a la muestra (P1 0-30 cm); (L. Llambí et al., 2012, p. 212), afirman que, para en suelos de páramo, los rangos típicos están entre 0,4 y 0,8 g/cm³; por otro lado la (Soil Survey Staff, 1999, pp. 58–59), ha establecido como densidad aparente promedio para los andosoles, valores menores a 0,90 g/ cm³.

La densidad aparente es un indicador directo de la compactación del suelo, mientras mayor sea su valor, mayor será el grado de compactación del mismo; como lo establecido por (Vásconez & Hofstede, 2001, pp. 8–15) quien afirma que, valores mayores de densidad aparente son ocasionados por alteraciones en la estructura del suelo, como la ocasionada por la compactación provocada por el pisoteo de los animales de pastoreo. Los suelos de páramo, por su alto contenido de materia orgánica en condiciones normales son sueltos, lo facilita la compactación causada por el peso de los animales. (R. G. M. Hofstede, 1995, pp. 112–117).

Tabla 3-3: Cationes Intercambiables Del Perfil 2 (mg/kg).

CAT.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
K+	85,74 \pm 14,47	0,47	65,35%	185,51	24,70	160,81	56,03
Ca²⁺	435,23 \pm 76,29	-1,02	67,88%	922,35	133,16	789,19	295,46
Mg²⁺	207,51 \pm 40,80	-0,97	76,15%	472,17	38,58	433,59	158,02
Na+	56,72 \pm 14,36	-0,84	98,02%	161,13	-0,95	162,08	55,60
H+	0,85 \pm 0,01	-1,43	4,72%	0,89	0,79	0,10	0,04
C.I.C	5,22 \pm 0,79	-1,06	58,86%	10,16	1,93	8,23	3,07

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio

En la Tabla 3-3 se muestra los cationes correspondientes a los suelos de páramo del perfil 2 presentando valores que se categorizan como bajos y muy bajos. Para el calcio, los valores a las

distintas profundidades presentan un promedio de 435,23 mg/Kg ($\pm 76,29$) de suelo, con un valor máximo de 922,35 mg/Kg y un valor mínimo de 133,16 mg/Kg; comprendido en un rango entre 789,19 de suelo, clasificándose como suelos de contenido bajo de calcio los puntos (P2 200 – 220 cm, 220-240 cm, 2,40 – 260 cm y 260 – 280 cm), las demás muestras son consideradas de contenido muy bajo, es decir; no mayor a 600 mg/Kg según (Rioja, 2002, pp. 93–94).

El magnesio a distintas profundidades de manera general muestra un contenido normal, ya que (Rioja, 2002, pp. 93–94), menciona que suelos con contenido de magnesio entre 180 y 300 mg/Kg son considerados como normales. El promedio de contenido de magnesio es de 207,51 mg/Kg ($\pm 40,80$) de suelo con un máximo valor de 472,17 mg/Kg de suelo (P2 240 – 260 cm) y mínimo de 38,58 mg/Kg de suelo a una profundidad de (P2 100 -120 cm). Para el potasio según la clasificación brindada por (Rioja, 2002, p. 92) menciona que valores de 0 a 117 mg/Kg de suelo son considerados como suelos con contenido muy bajo de potasio, la muestras (P2 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm) presenta un contenido bajo de potasio y las 12 restantes son de contenido muy bajo; en esta zona el valor promedio fue de 85,74 mg/Kg ($\pm 14,47$) de suelo, con un máximo de 185,51 mg/Kg de suelo a una profundidad de (P2 40 – 60 cm) y mínimo de 24,70 mg/Kg a una profundidad de (P2 100 – 120 cm) de suelo.

En el caso del sodio (Rioja, 2002, p. 91), manifiesta que valores entre 0 – 69 mg/Kg son considerados como muy bajos, valores entre 69 y 138 mg/Kg considerados como bajos y de 138 a 230 considerados como normal; el valor promedio es de 56,72 mg/Kg ($\pm 14,36$) de suelo, con un máximo de 161,13 mg/Kg de suelo (P2 220-240 cm) y mínimo de -0,95 mg/Kg de suelo (P2 80-100 cm); según lo cual el punto (P2 220 - 240 cm) corresponden a suelos con contenido normal de sodio, los puntos (P2 200 -220 cm, 240 – 260 cm, 160 – 280 cm y 280 - 300 cm) considerados como bajo, mientras que las demás profundidades corresponden a suelos de muy bajo contenido.

H+

El suelo del perfil 2 presentaron valores de pH promedio de 7,05 ($\pm 0,01$); lo que permite clasificarlos como ligeramente ácido a ligeramente alcalino y a su vez deriva en la presencia de acidez y aluminio intercambiable con niveles medios como se indica en el Tabla 4-3; confirmando que a pH bajos se ve favorecida la solubilidad de cationes ácidos como el Al^{+3} y el H^{+} (Carreño & Chaparro, 2013, pp. 284–286). El suelo presentó los valores promedio de H^{+} 0,85 mg/Kg de suelo; no necesariamente asociados con los valores más altos para acidez 0,89 mg/Kg de suelo (P2 – 200-220cm) y aluminio intercambiable, en comparación con 0,79 mg/Kg de suelo (P2 60-80cm); demostrando la variabilidad de la acidez del suelo y su necesidad de ser caracterizada.

CIC

La Tabla 3-3, muestran los datos correspondientes al perfil 2, donde: estos suelos tienen un valor promedio de 5,22 Cmol/Kg ($\pm 0,79$), con un valor mínimo de 1,93 Cmol/Kg en la muestra (P2 - 100-120 cm) y máximo de 10,16 Cmol/Kg en la muestra (P2 - 240-260 cm). Según la interpretación de la capacidad de intercambio catiónico definido por (Rioja, 2002, p. 94), los suelos en estudio tienen una capacidad de intercambio catiónica muy baja, por sus valores menores al 6 meq/100g, a excepción de los puntos (P2 200-220 cm, 220-240 cm, 240-260 cm, 260-280 cm y 280-300cm) los cuales son considerados con una capacidad de intercambio baja por encontrarse entre 6- 12 meq/100g.

Tabla 4-3: Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 2.

Prop.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Fís y Quí							
pH	7,05 \pm 0,16	-1,40	9,01%	7,70	6,12	1,58	0,63
CE (μS/cm)	22,42 \pm 2,19	-1,24	37,78%	34,06	11,20	22,86	8,47
%MO	16,01 \pm 0,90	-0,82	21,67%	20,85	9,48	11,37	3,47
DA (g/cm³)	1,19 \pm 0,03	2,85	10,76%	1,41	0,84	0,57	0,13

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

pH

Como manifiesta en la Tabla 4-3, en suelos correspondientes al perfil 2 el pH mínimo fue 7,70 en la muestra (P2 120 – 140 cm) y máximo de 8,73 en la muestra (P2 60 - 80cm) y con un promedio general de 7,05 ($\pm 0,16$), estos valores según (Paredes & Guaman, 2020, pp. 40–41), corresponden a suelos ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos.

CE

Como se muestra la Tabla 4-3, los valores reportados para conductividad eléctrica en suelos de perfil 2 se encuentran entre 34,06 μ S/cm a una profundidad de (P2 120-140cm) como valor máximo y 11,38 μ S /cm como valor mínimo a una profundidad de (P2 270-300cm) con un promedio de 22,42 μ S /cm ($\pm 2,19$). Los suelos en análisis corresponden a suelos no salinos, como lo reportado por (Díaz et al., 2020, pp. 54–55), donde los suelos no salinos son aquellos con valores de conductividad eléctrica menores a 2000 μ S/cm.

% MO

Como se observa en la Tabla 4-3, para suelos del perfil 2 existe un valor promedio de materia orgánica de 16,01% ($\pm 0,90$) con un valor mínimo de 9,48% correspondiente a la muestra (P2 100-120cm) y máximo de 20,85% en la muestra (P2 240-260cm). (LABRADOR, 2001, pp. 3-5), otorga una clasificación para el porcentaje de materia orgánica del suelo como medio aquellos valores entre 5 – 10 y alto para todos aquellos con valores superiores al 10%. De los suelos en análisis de la zona periglaciaria a excepción de (P2 100-120cm) son considerados como de contenido medio, y el resto de los puntos se clasifican como suelos de alto contenido de materia orgánica.

Densidad aparente

Como se puede observar en la Tabla 4-3, en suelos del perfil 2 existe un promedio de densidad aparente de 1,19 g/ cm³ ($\pm 0,03$) , con un valor máximo de 1,41 g/cm³ en la muestra (P2 100 - 120 cm) y mínimo de 0,84 g/ cm³ correspondiente a la muestra (P2 80-100 cm); (L. Llambí et al., 2012), afirman que, para en suelos de páramo, los rangos típicos están entre 0,4 y 0,8 g/ cm³ ; por otro lado la (Soil Survey Staff, 1999), ha establecido como densidad aparente promedio para los andosoles, valores menores a 0,90 g/ cm³.

Tabla 5-3: Cationes Intercambiables Del Perfil 3 (mg/kg).

CAT.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
K+	185,51 \pm 25,77	-0,45	53,81%	386,09	61,53	324,56	99,81
Ca²⁺	725,67 \pm 71,28	4,41	38,04%	1557,58	458,35	1099,23	276,08
Mg²⁺	623,13 \pm 59,44	-1,16	36,95%	975,27	317,83	657,44	230,22
Na+	134,45 \pm 10,13	0,205	29,17%	205,25	62,23	143,02	39,22
H+	0,86 \pm 0,01	2,09	2,99%	0,89	0,80	0,09	0,03
C.I.C (Cmol/Kg)	10,75 \pm 0,80	0,17	28,75%	17,83	7,42	10,41	3,09

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio

En la Tabla 5-3 se muestra los cationes correspondientes a los suelos de páramo del perfil 3 presentando valores que se categorizan como bajos y muy bajos. Para el calcio, los valores a las distintas profundidades presentan un promedio de 725,67 mg/Kg ($\pm 71,28$) de suelo, con un valor máximo 1557,58 a una profundidad de (P3 180 – 200 cm) y un valor mínimo de 458,35 mg/Kg a

una profundidad de (P3 40 – 60 cm); comprendido en un rango entre 1099,23 de suelo, clasificándose como suelos de contenido bajo de calcio los puntos (P3 100 – 120 cm, 120-140 cm, 140 – 160 cm, 160 – 180 cm, 180 – 200 cm y 280 – 300 cm), las demás muestras son consideradas de contenido muy bajo, es decir; no mayor a 600 mg/Kg según (Rioja, 2002).

El magnesio a distintas profundidades de manera general muestra un contenido muy alto, ya que (Rioja, 2002), menciona que suelos con contenido de magnesio mayores a 480 mg/Kg son considerados como muy altos. El promedio de contenido de magnesio es de 623,13 mg/Kg ($\pm 59,44$) de suelo con un máximo valor de 975,27 mg/Kg de suelo (P3 180 – 200 cm) y mínimo de 317,83 mg/Kg de suelo a una profundidad de (P3 260 -280 cm). Para el potasio según la clasificación brindada por (Rioja, 2002), menciona que valores de 0 a 117 mg/Kg de suelo son considerados como de contenido muy bajo de potasio, valores de 117 a 234 mg/Kg de suelo son considerados como suelos con contenido bajo de potasio, los valores entre 234 a 351 mg/Kg de suelo son considerados como contenido normal de potasio y valores de 351 a 585 mg/Kg de suelo son considerados como contenido alto de potasio; así la muestras de profundidad (P3 0 – 100 cm) presenta un contenido muy bajo de potasio y la muestra de profundidad (P3 280 – 300 cm) es considerad como contenido alto de potasio; en esta zona el valor promedio fue de 185,51 mg/Kg ($\pm 25,77$) de suelo, con un máximo de 386,09 mg/Kg de suelo a una profundidad de (P3 280 – 300 cm) y mínimo de 61,53 mg/Kg a una profundidad de (P3 40 – 60 cm) de suelo.

En el caso del sodio (Rioja, 2002), manifiesta que valores entre 0 – 69 mg/Kg son considerados como muy bajos, valores entre 69 y 138 mg/Kg considerados como bajos y de 138 a 230 considerados como normal; el valor promedio es de 134,45 mg/Kg ($\pm 10,13$) de suelo, con un máximo de 205,25 mg/Kg de suelo (P3 140-160 cm) y mínimo de 62,23 mg/Kg de suelo (P3 260-280 cm); según lo cual el punto (P3 260 - 280 cm) corresponde a suelo con contenido muy bajo de sodio, los puntos (P3 0 -20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm, 60 - 80 cm, 160 – 180 cm, 180 – 200 cm, 220 – 240 cm y 280 – 300 cm) considerados como suelos de contenido bajo, mientras que las demás profundidades corresponden a suelos de contenido normal de potasio.

H⁺

El suelo del perfil 3 presentaron valores de pH promedio de 7,32; lo que permite clasificarlos como ligeramente ácido a ligeramente alcalino y a su vez deriva en la presencia de acidez y aluminio intercambiable con niveles medios como se indica en el Tabla 6-3; confirmando que a pH bajos se ve favorecida la solubilidad de cationes ácidos como el Al³⁺ y el H⁺ (Carreño & Chaparro, 2013, pp. 284–286). El suelo presentó los valores promedio de H⁺ 0,86 mg/Kg ($\pm 0,006$) de suelo; no necesariamente asociados con los valores más altos para acidez 0,89 mg/Kg de suelo

(P3 – 0-20 cm) y aluminio intercambiable, en comparación con 0,80 mg/Kg de suelo (P3 100-120cm); demostrando la variabilidad de la acidez del suelo y su necesidad de ser caracterizada.

CIC

La Tabla 5-3, muestran los datos correspondientes al perfil 3, donde: estos suelos tienen un valor promedio de 10,75 Cmol/Kg ($\pm 0,80$), con un valor mínimo de 7,42 Cmol/Kg en la muestra (P3 - 40-60 cm) y máximo de 17,83 Cmol/Kg en la muestra (P3 - 180-200 cm). Según la interpretación de la capacidad de intercambio catiónico definido por (Rioja, 2002, p. 94), los suelos en estudio tienen una capacidad de intercambio baja, por sus valores entre 6-12 meq/100g, a excepción de los puntos (P3 20-40 cm, 100-120 cm, 120-140 cm y 140-160 cm) los cuales son considerados con una capacidad de intercambio media por encontrarse entre 12-25 meq/100g.

Tabla 6-3 Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 3.

Prop.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Fís y Quí							
pH	7,322 \pm 0,10	1,60	5,46%	7,69	6,38	1,31	0,40
CE (μS/cm)	30,37 \pm 2,84	-0,93	36,19%	51,01	17,72	33,29	10,99
%MO	5,97 \pm 1,61	-0,86	104,40%	16,78	0,65	16,13	6,23
DA (g/cm³)	1,62 \pm 0,09	-1,12	21,33%	2,04	1,03	1,01	0,35

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

pH

Como manifiesta en la Tabla 6-3, en suelos correspondientes al perfil 3 el pH mínimo fue 6,38 en la muestra (P3 100 – 120 cm) y máximo de 7,69 en la muestra (P3 0 – 20cm), y con un promedio general de 7,32 ($\pm 0,10$); estos valores según (Paredes & Guaman, 2020, pp. 40–41), corresponden a suelos ligeramente ácido a ligeramente alcalino.

CE

Como se muestra en la Tabla 6-3, los valores reportados para conductividad eléctrica en suelos de perfil 3 se encuentran entre 51,01 μ S/cm a una profundidad de (P3 280-300 cm) como valor máximo y 17,72 μ S/cm como valor mínimo a una profundidad de (P3 40-60cm) con un promedio de 30,37 μ S/cm ($\pm 2,84$). Los suelos en análisis corresponden a suelos no salinos, como lo reportado por (Díaz et al., 2020, pp. 54–55), donde los suelos no salinos son aquellos con valores de conductividad eléctrica menores a 2000 μ S/cm.

% MO

Como se observa en la Tabla 6-3, para suelos del perfil 3 existe un valor promedio de materia orgánica de 5,97% ($\pm 1,61$) con un valor mínimo de 0,65% correspondiente a la muestra (P3 160-180cm) y máximo de 16,78% en la muestra (P3 20-40 cm). (LABRADOR, 2001), otorga una clasificación para el porcentaje de materia orgánica del suelo como medio aquellos valores entre 5 – 10 y alto para todos aquellos con valores superiores al 10%. De los suelos en análisis de la zona periglaciara desde la profundidad de (P3 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm) son considerados como de contenido alto, los puntos (P3 80-100 cm y 280-300 cm) se clasifican como suelos de contenido medio de materia orgánica y los restantes se considera como contenido bajo.

Densidad aparente

Como se puede observar en la Tabla 6-3, en suelos del perfil 3 existe un promedio de densidad aparente de 1,62 g/ cm³ ($\pm 0,09$) , con un valor máximo de 2,04 g/cm³ en la muestra (P3 140 - 160 cm) y mínimo de 1,03 g/ cm³ correspondiente a la muestra (P3 20-40 cm); (L. Llambí et al., 2012), afirman que, para en suelos de páramo, los rangos típicos están entre 0,4 y 0,8 g/ cm³ ; por otro lado la (Soil Survey Staff, 1999), ha establecido como densidad aparente promedio para los andosoles, valores menores a 0,90 g/ cm³.

Tabla 7-3: Cationes Intercambiables Del Perfil 4 (mg/kg).

CAT.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
K+	197,69 \pm 38,16	2,59	66, 86%	541,42	64,93	476,49	132,18
Ca ²⁺	460,25 \pm 40,40	1,84	30,40%	810,80	324,35	486,45	139,93
Mg ²⁺	285,45 \pm 26,64	-0,57	32,34%	417,63	122,06	295,570	92, 30
Na+	94,21 \pm 13,56	-1, 49	49,872%	150,36	36,44	113,920	46,99
H+	0,865 \pm 0,01	-1, 40	2,58%	0,89	0,84	0,05	0, 02
C.I.C (Cmol/Kg)	6,461 \pm 0,43	-0,15	22, 91%	9,26	4,21	5,05	1,48

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio

En la Tabla 7-3 se muestra los cationes correspondientes a los suelos de páramo del perfil 4 presentando valores que se categorizan como bajo y muy bajos. Para el calcio, los valores a las distintas profundidades presentan un promedio de 460,25 mg/Kg ($\pm 40,40$) de suelo, con un valor máximo 541,42 a una profundidad de (P4 410 – 430 cm) y un valor mínimo de 324,35 mg/Kg a

una profundidad de (P4 380 – 410 cm); comprendido en un rango entre 486,45 de suelo, clasificándose como suelos de contenido bajo de calcio al punto (P4 410 – 430 cm), las demás muestras son consideradas de contenido muy bajo, es decir; no mayor a 600 mg/Kg según (Rioja, 2002).

El magnesio a distintas profundidades de manera general muestra un contenido normal, ya que (Rioja, 2002), menciona que suelos con contenido de magnesio entre 180 a 300 mg/Kg son considerados de contenido normal. El promedio de contenido de magnesio es de 285,45 mg/Kg ($\pm 26,64$) de suelo con un máximo valor de 417,63 mg/Kg de suelo a una profundidad de (P4 410 – 430 cm) y mínimo de 122,06 mg/Kg de suelo a una profundidad de (P4 380 -410 cm). Para el potasio según la clasificación brindada por (Rioja, 2002), menciona que valores de 0 a 117 mg/Kg de suelo son considerados como de contenido muy bajo de potasio, valores de 117 a 234 mg/Kg de suelo son considerados como suelos con contenido bajo de potasio, los valores entre 234 a 351 mg/Kg de suelo son considerados como contenido normal de potasio y valores de 351 a 585 mg/Kg de suelo son considerados como contenido alto de potasio; así 4 muestras de profundidad (P4 0 – 170 cm) presenta un contenido muy bajo de potasio, la muestra de profundidad (P4 240 – 270 cm) es considerada como contenido normal de potasio, la muestra de profundidad (P4 320 – 380 cm) es considerada como contenido alto de potasio, y las 7 muestras restantes son consideradas como de contenido bajo; en esta zona el valor promedio fue de 197,68 mg/Kg ($\pm 38,156$) de suelo, con un máximo de 541,42 mg/Kg de suelo a una profundidad de (P4 320 – 380 cm) y mínimo de 64,93 mg/Kg a una profundidad de (P4 30 – 70 cm) de suelo.

En el caso del sodio (Rioja, 2002), manifiesta que valores entre 0 – 69 mg/Kg son considerados como muy bajos, valores entre 69 y 138 mg/Kg considerados como bajos y de 138 a 230 considerados como normal; el valor promedio es de 94,21 mg/Kg ($\pm 13,56$) de suelo, con un máximo de 150,36 mg/Kg de suelo (P4 110-170 cm) y mínimo de 36,44 mg/Kg de suelo (P4 70-110 cm); según lo cual los puntos a las profundidades de (P4 270 - 320 cm, 410 – 430 cm y 430 – 450 cm) corresponde a suelo con contenido bajo de sodio, los puntos (P3 110 a 270 cm) de profundidad, son considerados como suelos de contenido normal, mientras que 6 muestras restantes corresponden a suelos de contenido muy bajo de potasio.

H+

El suelo del perfil 4 presentaron valores de pH promedio de 7,34 ($\pm 0,01$); lo que permite clasificarlos como ligeramente ácido a ligeramente alcalino y a su vez deriva en la presencia de acidez y aluminio intercambiable con niveles medios como se indica en el Tabla 8-3; confirmando que a pH bajos se ve favorecida la solubilidad de cationes ácidos como el Al^{+3} y el H^{+} (Carreño

& Chaparro, 2013, pp. 284–286). El suelo presentó los valores promedio de H⁺ 0,87 mg/Kg de suelo; no necesariamente asociados con los valores más altos para acidez 0,89 mg/Kg de suelo (P4 270-320cm) y aluminio intercambiable, en comparación con 0,84 mg/Kg de suelo (P4 410-430cm); demostrando la variabilidad de la acidez del suelo y su necesidad de ser caracterizada.

CIC

La Tabla 7-3, muestran los datos correspondientes al perfil 4, donde: estos suelos tienen un valor promedio de 6,46 Cmol/Kg ($\pm 0,43$), con un valor mínimo de 4,21 Cmol/Kg en la muestra (P4 380-410 cm) y máximo de 9,26 Cmol/Kg en la muestra (P4 410-430 cm). Según la interpretación de la capacidad de intercambio catiónico definido por (Rioja, 2002, p. 94), los suelos en estudio tienen una capacidad de intercambio baja, por sus valores entre 6-12 meq/100g, a excepción de los puntos (P4 30-70 cm, 70-110 cm, 320-380 cm y 380-410 cm) los cuales son considerados con una capacidad de intercambio muy baja encontrarse valores inferiores a 6 meq/100g.

Tabla 8-3: Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 4.

Prop.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Fís y Quí							
pH	7,343 \pm 0,11	-1,34	5,40%	7,85	6,84	1,01	0,40
CE (μS/cm)	30,00 \pm 5,22	2,34	60,28%	76,40	16,330	60,07	18,08
%MO	8,87 \pm 1,74	-0,56	67,78%	19,04	0,56	18,48	6,01
DA (g/cm³)	1,29 \pm 0,08	-0,50	21,48%	1,83	1,04	0,79	0,28

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

pH

Como manifiesta en la Tabla 8-3, en suelos correspondientes al perfil 4 el pH mínimo fue 6,84 en la muestra (P4 100 – 120 cm) y máximo de 7,85 en la muestra (P4 0 – 20 cm), y con un promedio general de 7,34 ($\pm 0,11$); estos valores según (Paredes & Guaman, 2020, pp. 40–41), corresponden a suelos ligeramente ácido a Ligeramente alcalinos.

CE

Como se muestra Tabla 8-3, los valores reportados para conductividad eléctrica en suelos de perfil 4 se encuentran entre 76,40 μ S/cm a una profundidad de (P4 380-410cm) como valor máximo y 16,33 μ S/cm como valor mínimo a una profundidad de (P4 70-110cm) con un promedio de 29,99 μ S/cm ($\pm 5,22$). Los suelos en análisis corresponden a suelos no salinos, como lo reportado por

(Díaz et al., 2020, pp. 54–55), donde los suelos no salinos son aquellos con valores de conductividad eléctrica menores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

% MO

Como se observa en la Tabla 8-3, para suelos del perfil 4 existe un valor promedio de materia orgánica de 8,87% ($\pm 1,74$) con un valor mínimo de 0,56% correspondiente a la muestra (P4 380-410cm) y máximo de 19,04% en la muestra (P4 0-30 cm). (LABRADOR, 2001, pp. 3–5), otorga una clasificación para el porcentaje de materia orgánica del suelo como medio aquellos valores entre 5 – 10 y alto para todos aquellos con valores superiores al 10%. De los suelos en análisis de la zona periglacial desde la profundidad de (P4 270-320, 320-380, 380-410cm) son considerados como de contenido bajo, mientras que los puntos (P4 70-110 cm, 210-240 cm, 240-270 cm y 430-450 cm) se clasifican como suelos de contenido medio de materia orgánica y los restantes se considera como contenido alto.

Densidad aparente

Como se puede observar en la Tabla 8-3, en suelos del perfil 4 existe un promedio de densidad aparente de 1,29 g/cm^3 ($\pm 0,08$), con un valor máximo de 1,83 g/cm^3 en la muestra (P4 380 - 410 cm) y mínimo de 1,04 g/cm^3 correspondiente a la muestra (P4 110-170 cm); (L. Llambí et al., 2012), afirman que, para en suelos de páramo, los rangos típicos están entre 0,4 y 0,8 g/cm^3 ; por otro lado la (Soil Survey Staff, 1999), ha establecido como densidad aparente promedio para los andosoles, valores menores a 0,90 g/cm^3 .

Tabla 9-3: Cationes Intercambiables del Perfil 5 (mg/kg).

CAT.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
K+	877,55 \pm 71,69	0,12	25,83%	1250,04	481,48	768,56	226,71
Ca²⁺	1355,14 \pm 182,19	1,25	42,52%	2345,79	160,07	2185,72	576,14
Mg²⁺	911,68 \pm 74,22	0,86	25,75%	1414,12	683,31	730,81	234,72
Na+	268,69 \pm 23,60	-0,38	27,78%	388,73	158,24	230,49	74,63
H+	0,82 \pm 0,01	0,43	4,30%	0,88	0,78	0,10	0,04
C.I.C	18,65 \pm 1,40	0,39	23,69%	27,70	13,03	14,67	4,42

(Cmol/Kg)

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio

En la Tabla 9-3 se muestra los cationes correspondientes a los suelos de páramo del perfil 5 presentando valores que se categorizan como bajos y un normal. Para el calcio, los valores a las distintas profundidades presentan un promedio de 1355,14 mg/Kg (\pm 182,19) de suelo, con un valor máximo 2345,79 a una profundidad de (P5 30 – 60 cm) y un valor mínimo de 160,07 mg/Kg a una profundidad de (P5 60 – 90 cm); comprendido en un rango entre 2185,70 de suelo, clasificándose como suelo de contenido normal de calcio al punto (P5 30 – 60 cm), mientras que las demás muestras son consideradas de contenido bajo, es decir; se encuentran entre 600 - 2000 mg/Kg según (Rioja, 2002, pp. 92–96).

El magnesio a distintas profundidades de manera general muestra un contenido muy alto en todas las muestras, ya que (Rioja, 2002, pp. 93–94), menciona que suelos con contenido de magnesio mayores a 480 mg/Kg son considerados de contenido muy alto. El promedio de contenido de magnesio es de 911,68 mg/Kg (\pm 74,22) de suelo, en un rango de 730,81. Para el potasio según la clasificación brindada por (Rioja, 2002, p. 92), menciona que valores entre 351 a 585 mg/Kg de suelo son considerados como contenido alto de potasio y valores de 585 a 936 mg/Kg de suelo son considerados como contenido muy alto de potasio; así el punto de profundidad (P5 0 – 30 cm) presenta un contenido alto de potasio, la demás muestras (11) son consideradas como de contenido muy alto de potasio; en esta zona el valor promedio fue de 877,55 mg/Kg (\pm 71,691) de suelo, entre un rango de 768,56. En el caso del sodio (Rioja, 2002, p. 91), manifiesta que valores de 138 a 230 mg/Kg son considerados como normal, valores de 230 a 345 mg/Kg con considerados como de contenido alto y valores mores 345 mg/Kg son considerados de contenido muy alto; el valor promedio para el sodio es de 268,69 mg/Kg (\pm 23,60) de suelo, con un máximo de 388,73 mg/Kg de suelo a una profundidad de (P5 30 - 60 cm) y mínimo de 158,24 mg/Kg de suelo a una profundidad de (P5 270 – 300 cm); según lo cual los puntos a las profundidades de (P5 180 - 210 cm y 270 – 300 cm) corresponde a suelo con contenido normal de sodio, los puntos restantes (8) son considerados como suelos de contenido muy alto.

Estos valores altos en los cationes calcio, magnesio, potasio y sodio respecto a los demás perfiles, se puede afirmar que son debido a que la zona de muestreo comprendió un área intervenida con una fuerte presencia de actividad agropecuaria, lo que puede ser el resultado de la materia orgánica aportada por el estiércol, abonos orgánicos y degradación vegetal, siendo consideradas como una fuente secundaria de nutrientes; incluyendo el fenómeno natural de arrastre a lo largo del tiempo y por ende la creación de depósitos de nutrientes conocido como la zona periglaciaria (Podwojewski P.* et al., 2009).

H⁺

El suelo del perfil 5 presentaron valores de pH promedio de 7,19; lo que permite clasificarlos como ligeramente ácido a ligeramente alcalino y a su vez deriva en la presencia de acidez y aluminio intercambiable con niveles medios como se indica en el Tabla 10-3; confirmando que a pH bajos se ve favorecida la solubilidad de cationes ácidos como el Al³⁺ y el H⁺ (Carreño & Chaparro, 2013, pp. 284–286). El suelo presentó los valores promedio de H⁺ 0,82 mg/Kg (\pm 0,01) de suelo; no necesariamente asociados con los valores más altos para acidez 0,88 mg/Kg de suelo (P5 – 240-270 cm) y aluminio intercambiable, en comparación con 0,78 mg/Kg de suelo (P5 180-210 cm); demostrando la variabilidad de la acidez del suelo y su necesidad de ser caracterizada.

CIC

La Tabla 9-3, muestran los datos correspondientes al perfil 5, donde: estos suelos tienen un valor promedio de 18,65 Cmol/Kg (\pm 1,40), con un valor mínimo de 13,03 Cmol/Kg en la muestra (P5 60-90 cm) y máximo de 27,70 Cmol/Kg en la muestra (P5 30-60 cm). Según la interpretación de la capacidad de intercambio catiónico definido por (Rioja, 2002, p. 94), los suelos en estudio tienen una capacidad de intercambio medio por sus valores entre 12-25 meq/100g, a excepción del punto (P5 30-60 cm) el cual es considerado con una capacidad de intercambio alto encontrarse entre los valores 25-40 meq/100g.

Tabla 10-3: Propiedades físicas y químicas del suelo perfil 5.

Prop.	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Fís y Quí							
pH	7,19 \pm 0,18	0,11	7,94%	7,62	6,05	1,57	0,57
CE (μ S/cm)	69,90 \pm 3,53	-1,20	15,99%	86,60	57,70	28,9	11,18
%MO	3,02 \pm 0,84	3,19	88,04%	9,77	1,39	8,38	2,66
DA (g/cm ³)	1,41 \pm 0,04	0,43	9,78%	1,69	1,21	0,48	0,14

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

pH

Como manifiesta en la Tabla 10-3, en suelos correspondientes al perfil 5 el pH mínimo fue 6,05 en la muestra (P5 180 – 210 cm) y máximo de 7,62 en la muestra (P5 0 - 30cm), y con un promedio general de 7,19 (\pm 0,18); estos valores según (Paredes & Guaman, 2020, pp. 40–41), corresponden a suelos ligeramente ácido a Ligeramente alcalinos.

CE

Como se muestra la Tabla 10-3, los valores reportados para conductividad eléctrica en suelos de perfil 5 se encuentran entre 86,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una profundidad de (P5 240-270cm) como valor máximo y 57,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como valor mínimo a una profundidad de (P5 30-60cm) ($\pm 3,53$) con un promedio de 69,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los suelos en análisis corresponden a suelos no salinos, como lo reportado por (Díaz et al., 2020, pp. 54-55), donde los suelos no salinos son aquellos con valores de conductividad eléctrica menores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

% MO

Como se observa en la Tabla 10-3, para suelos del perfil 5 existe un valor promedio de materia orgánica de 3,02% ($\pm 0,84$) con un valor mínimo de 1,39% correspondiente a la muestra (P5 240-270 cm) y máximo de 9,77% en la muestra (P5 0-30 cm). (LABRADOR, 2001, pp. 3-5), otorga una clasificación para el porcentaje de materia orgánica del suelo como medio aquellos valores entre 5 – 10 y alto para todos aquellos con valores superiores al 10%. De los suelos en análisis de la zona periglaciaria desde la profundidad de (P5 0-30 cm y 30-60 cm) son considerados como de contenido medio, mientras que los demás puntos se clasifican como suelos de contenido bajo de materia orgánica ya que sus valores son inferiores al 5 %.

Densidad aparente

Como se puede observar en la Tabla 10-3, en suelos del perfil 5 existe un promedio de densidad aparente de 1,41 g/cm^3 ($\pm 0,04$), con un valor máximo de 1,69 g/cm^3 en la muestra (P5 240 - 270 cm) y mínimo de 1,21 g/cm^3 correspondiente a la muestra (P5 0-30 cm); (L. Llambí et al., 2012), afirman que, para en suelos de páramo, los rangos típicos están entre 0,4 y 0,8 g/cm^3 ; por otro lado la (Soil Survey Staff, 1999), ha establecido como densidad aparente promedio para los andosoles, valores menores a 0,90 g/cm^3 .

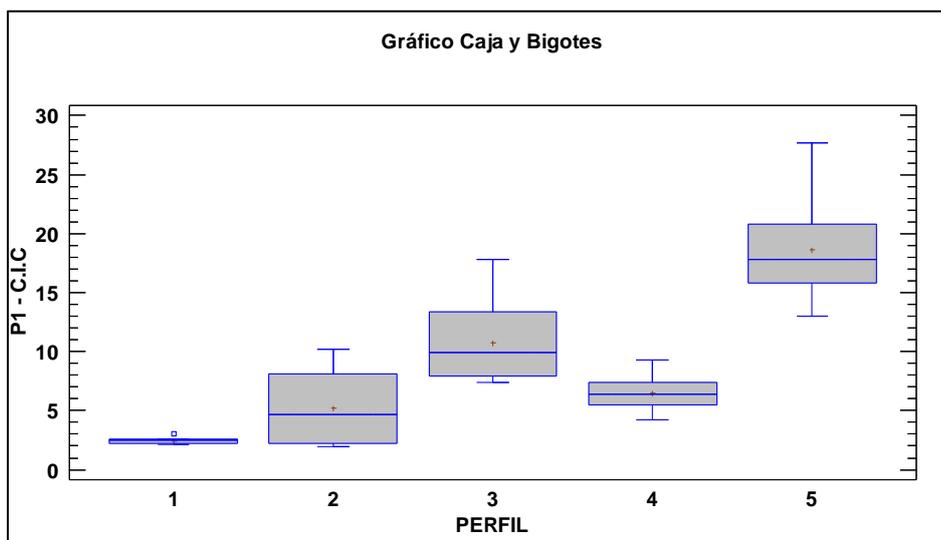


Gráfico 1-3: Media de la CIC por Perfil (Cmol/Kg).

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

El gráfico 1-3 muestra la existencia de diferencias significativas de la CIC entre las medias. Se observa la similitud entre los perfiles P2 y P4, y una semejanza entre los perfiles P3 y P5, mientras que el perfil P1 es el que presenta valores alejados de la media general respecto a la CIC. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

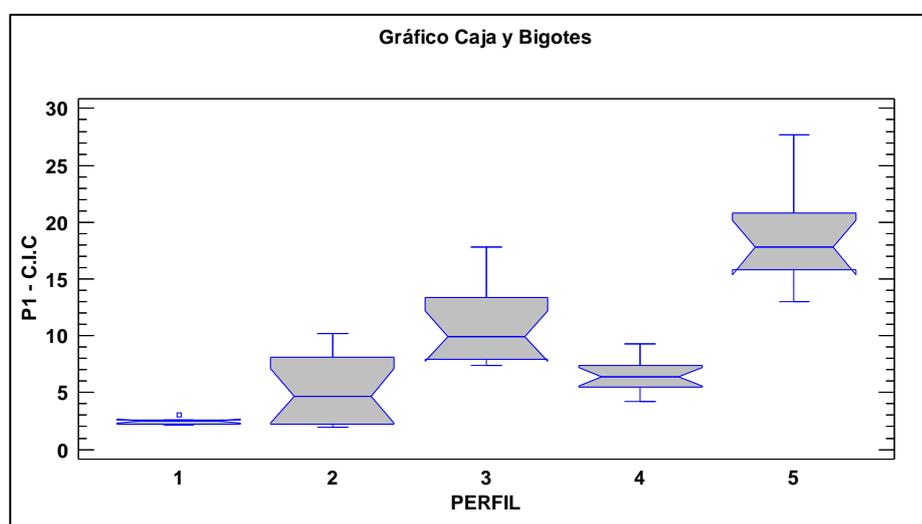


Gráfico 2-3: Mediana de la CIC por Perfil (Cmol/Kg).

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de P1 - C.I.C dentro de cada uno de los 5 niveles de PERFIL son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango promedio para los datos de cada nivel.

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

El gráfico 2-3 muestra las diferencias de la CIC entre medianas (valores de menor a mayor) de los respectivos perfiles del suelo. Se observa la similitud entre los perfiles P2 y P3, y una semejanza entre el perfil P5, mientras que el perfil P1 y P4 son los que presentan valores alejados respecto a la CIC. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

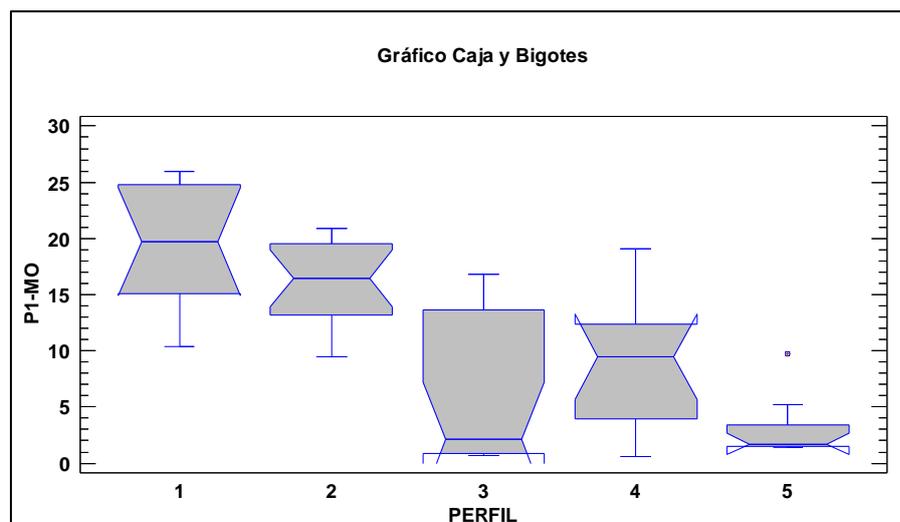


Gráfico 3-3: Media del % de Materia Orgánica por Perfil.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Para valores atípicos, se puede optar la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias.

El gráfico 3-3 demuestra la existencia de diferencias significativas del %MO del suelo entre medias. Se observa la similitud entre los perfiles P1 y P2, y una semejanza entre el perfil P4, mientras que el perfil P5 y P3 son los que presentan valores distantes de la media general respecto al % M.O del suelo. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

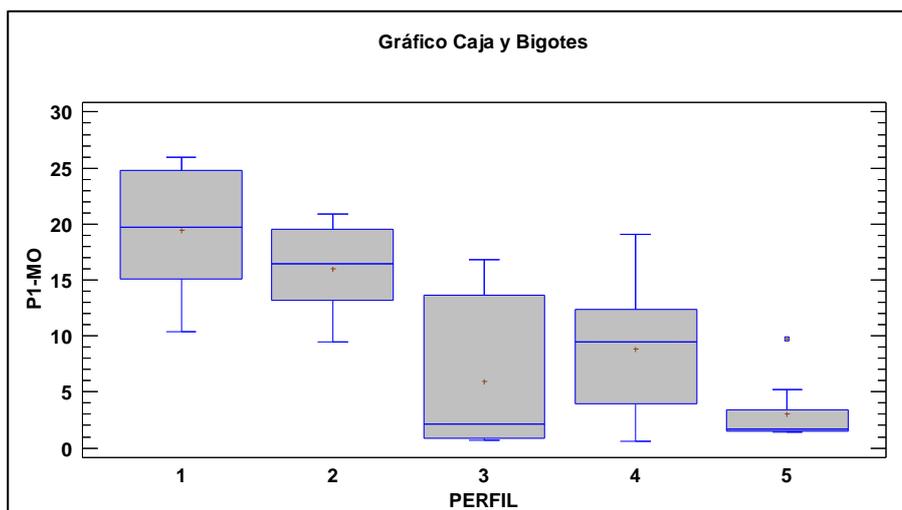


Gráfico 4-3: Mediana del % de Materia Orgánica por Perfil.

Realizado por: Casco Gilson & Patiño Luis, 2021.

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de P1-MO dentro de cada uno de los 5 niveles de PERFIL son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango promedio para los datos de cada nivel. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

El gráfico 4-3 muestra el % M.O del suelo y la diversidad entre medianas (valores de menor a mayor) de los respectivos perfiles del suelo. Se observa la similitud entre los perfiles P1 - P2, y una semejanza entre el perfil P4, mientras que el perfil P3 y P5 son los que presentan niveles separados respecto al % M.O del suelo. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

CONCLUSIONES

Se identificó la variabilidad de los horizontes genéticos de la microcuenca del río Atillo, los cuales han sido intervenidos por varios procesos edáficos que, a su vez, están controlados por factores de formación (clima, material parental, organismos, relieve y tiempo), lo que contribuye al reconocimiento de los lugares con mayor riesgo y vulnerabilidad de pérdida de la capa arable del suelo.

En los perfiles P1, P3 y P5 existe la mayor variabilidad de las propiedades físicas correspondientes a la textura y tipo de suelo siendo estos perfiles los más heterogéneos donde hay mayor visibilidad de los horizontes O, A, B, C. Lo cual permitió identificar zonas de predominancia de material sedimentario y depósitos de minerales.

La mayor concentración de CIC y componentes orgánicos predominan en el horizonte A superando valores de 25 Cmol/kg de suelo en el perfil P5 en perfiles P1, P2, P3 y P4 los valores son considerados como bajos al encontrarse entre los 6 y 12 Cmol/kg de suelo, lo que evidencia que la concentración de iones intercambiables es decreciente en zonas bajas del sistema periglacial.

Se validó la geomorfología de la microcuenca baja del río Atillo mediante la variabilidad espacial y vertical de las propiedades físicas y químicas del suelo, los perfiles P1, P2, P3, y P4 correspondiente a zonas glacial y periglacial el perfil P5 al ser una zona donde existe una mayor actividad antropogénica en cultivos y generalmente pasto, la geomorfología del suelo es caracterizada como tectónica erosiva de acuerdo con los datos reportados en el portal SIG TIERRAS.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio paleontológico a profundidad con la finalidad de identificar la dinámica del suelo, en especial en los puntos donde se ubicaron los perfiles P3 y P4 que presentaron mayor heterogeneidad y que fueron identificadas como zonas de predominancia de material sedimentario y depósito de minerales.

Se recomienda realizar un estudio de la geomorfología que permita validar la zona periglacial de la microcuenca del río Atillo, a través del uso de catenas que relacionen los distintos tipos de suelo, vinculándolos por alguno de sus componentes.

Se recomienda realizar un trabajo mancomunado con el GAD parroquial Cebadas, con la finalidad de actualizar la información acerca del comportamiento y calidad del sistema lacustre Atillo, ya que existe escasas referencias con relación al tema de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

ABREGO, Fabio. "Calidad Ambiental de Suelos". Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico, (Universidad Nacional Noreste Buenos Aires) [en línea], 2012, (Argentina), pp. 2-5. [Consulta: 25 octubre 2021]. Disponible en: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos//00000000002012_Ronda 2012/000300_Lic. Fabio L. Abrego - UNNOBA/000300_Determinación de CIC.pdf

ALFONSO, Luis., & PAEZ, Rodriguez. "Desarrollo de las plantas y antagonismo" - fisiología vegetal, (Universidad de Sucre) [en línea], 2016, (Colombia), pp. 10. [Consulta: 30 octubre 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/40050780/Informe_minerales_para_el_desarrollo_de_las_plantas_y_antagonismo_fisiologia_vegetal

ASANZA, J. C., & BARAHONA, J. A. "Impacto de la cobertura vegetal y las actividades antropicas sobre la formación del suelo en una microcuenca de páramo en la cuenca alta del río Yanuncay-Quebrada Cuevas". *JOURNAL ARTICLE* [en línea], 2015, (Ecuador) pp. 138. [Consulta: 5 octubre 2021]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21930/1/tesis.pdf>

BASTIDAS, C. La comunidad de Atillo y la conservación de sus páramos: lecciones del plan de manejo. In Estudios de Comunidad y Páramos N°3 [en línea]. México, 2002. [Consulta: 30 octubre 2021]. Disponible en: https://digitalrepository.unm.edu/abya_yala/196/

BAUTISTA, Francisco. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. [en línea]. México, 1999.- Google Libros. [Consulta: 15 septiembre 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=yE2Jq3z7ex4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

BORJA, Jordy., & CASTELLS, Manuel. Informe anual 2003. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del d.f., 1–16. [en línea], 2003, [Consulta: 20 septiembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3900>

- BUYTAERT, W.; et al.** Hidrología del Páramo Andino: Propiedades, Importancia y Vulnerabilidad. *Soil and Water*, 1–26. [en línea], 2003. [Consulta: 15 septiembre 2021]. Disponible en: <https://paramo.cc.ic.ac.uk/pubs/ES/Hidroparamo2.pdf>
- BUYTAERT, WOUTER, IÑIGUEZ, V.; et al.** The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251(1–2), 22–30. [en línea], 2007. [Consulta: 28 septiembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2007.06.035>
- CARREÑO, A., & CHAPARRO, A.** "Tolerancia al aluminio en especies vegetales: Mecanismos y genes". *Universitas Scientiarum*, 18(3) 283–310 doi: 10.11144/Javeriana.SC18-3.taev, (2013), (Colombia) pp. 284-286.
- CARVAJAL, R. R.** *Propiedades Físicas Químicas y Biológicas de los Suelos*. 24. 13A No. 37 - 68 (1997), (Colombia) p. 9. [Consulta: 4 septiembre 2021]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>
- DELGADO YÁNEZ, M. S. Y.; et al.** "Economic valuation of the limnetic service of Magdalena-Atillo lake - Riobamba Ecuador". *Enfoque UTE*, 10(2), 1–16 (2019), (Ecuador). <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n2.332>
- DÍAZ, P., ORLANDO, S.; et al.** Determinación de indicadores de calidad de suelo para la conservación de la cuenca alta del Río Teusacá (Trabajo de titulación) (Tercer nivel). Universidad de Santo Tomás - Colombia. 2020. pp. 54-55.
- ESPAC.** "Contenido Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua". Journal Article [en línea], 2017, Inec, 32, p. 6. [Consulta: 19 agosto 2021]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion de principales resultados.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion%20de%20principales%20resultados.pdf)
- ESTUPIÑÁN, L. H.; et al.** "Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el Páramo el Granizo". *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* [en línea], 2009, (Cundinamarca - Colombia). 12(2), pp. 80-88. [Consulta: 3 agosto 2009]. Disponible en: <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n2.2009.694>

- FAO.** "Guía para la descripción de suelos". [en línea], 2009, pp. 70. [Consulta: 5 agosto 2021].
Disponible en: [file:///C:/Users/Alina Belen Ortiz/Downloads/a0541s00 .pdf](file:///C:/Users/Alina%20Belen%20Ortiz/Downloads/a0541s00.pdf)
- FAO.** "Tabla Munsell y su correcto uso de en la descripción de los suelos". Portal Fruticola. [en línea], 2016, pp. 1-2. [Consulta: 12 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/05/21/el-correcto-uso-de-tabla-munsell-en-la-descripcion-de-los-suelos/>
- FARLEY, K. A., KELLY, E. F., & HOFSTEDE, R. G. M.** "Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes". *Ecosystems*, [En línea], 2004, (United State of America) 7(7), pp. 729–739. [Consulta: 29 octubre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S10021-004-0047-5>
- FONSECA, C. M. S.** Evaluación de calidad de los suelos de páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna Monjas Bajo, parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe [En línea], (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ecuador. 2015. p. 65. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9368>
- GUAMÁN, S.** El Sector Agrícola-Ganadero y su aporte al Desarrollo Local de la Parroquia Químiag, Provincia de Chimborazo, durante el período 2014-2015. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 31-32. [Consulta 20 septiembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- HAZELTON, P., & MURPHY, B.** "Interpreting Soil Test Results: What do all the Numbers mean?". *European Journal of Soil Science* [En línea], 2007, (Sidney) 58(5), pp. 1219–1220. [Consulta: 15 julio 2021]. ISBN 9780643092259. Disponible en: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00943_8.x
- HM, Jhonatan.** [Consulta: 28 agosto 2021]. Coloides del Suelo. Apuntes 16-StuDocu. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-santiago-antunez-de-mayolo/ingenieria-agricola/coloides-del-suelo-apuntes-16/5078777>
- HOFSTEDE, R.** "El Impacto De Las Actividades Humanas Sobre El Páramo". *Journal Article* [En línea], 2001, (Ecuador), pp. 15-18. [Consulta 30 octubre 2021]. Disponible en:

https://www.portalces.org/sites/default/files/references/095_Hofstede%202001%20Para%20Ecuador%20impacto.pdf

HOFSTEDE, R. G. M. "The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian páramo grasslands". *Plant and Soil* [En línea], 1995, (The Netherlands Centre for Geo-ecological Research, ICG) 173(1), pp. 111–132. [Consulta: 22 octubre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00155524>

IDEAM. "Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano". 252. *Plant and Soil* [En línea], 2010, (Sistemas morfogénicos del territorio colombiano) 173(1), pp. 111–132. [Consulta: 15 septiembre 2021]. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021769/Sistemas_morf_Territ_Col_Ideam_Contentido.pdf

IÑÓN, N. (2017). "Ciclo Del Nitrogeno Fijacion Biologica Del Nitrogeno". [En línea], 2017, (Unsam), p. 40. [Consulta: 6 Abril 2021]. Disponible en: <http://www.iib.unsam.edu.ar/archivos/docencia/licenciatura/biotecnologia/2018/QuimicaBiol/1528215167.pdf>

ISLAM, K. R., & WEIL, R. R. "Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh". *ELSIERVER* [En línea], 2000, (University of Maryland, College Park, MD 20742, USA), 79(1), pp. 5-10. [Consulta: 5 mayo 2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00145-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00145-0)

IUCN. "World Conservation Strategy: living resource conservation for sustainable development. Gland: International Union Conservation of Nature and Natural Resources". *ELSIERVER* [En línea], 1980, (Environment & Society Portal), pp. 18-20. [Consulta: 11 julio 2021]. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/wcs-004.pdf>

JORDÁN, F. "Reforma Agraria en el Ecuador Resultados de la Reforma Agraria". [En línea], 2003, (La Paz), pp. 285–290. [Consulta: 29 octubre 2021]. Disponible en: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Bolivia/cides-umsa/20120904031218/13reforma.pdf>

KAPPELLE, M. Tropical Montane Forests. *Encyclopedia of Forest Sciences* [En línea], 2004. [Consulta: 29 Octubre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B0-12-145160-7/00175-7>

KNOKE, T., POHLE, P., HAMER,. "Afforestation or intense pasturing improve the ecological and economic value of abandoned tropical farmlands". *Nature Communications* [En línea], 2014, 5:5612. pp. 55-62. [Consulta: 30 octubre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/ncomms6612>

LABRADOR, M. *La Materia Orgánica en los Sistemas Agrícolas. Manejo y Utilización* Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación Secretaría General de estructuras agrarias [En línea], 2001. [Consulta: 6 octubre 2021]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_03.pdf

LAL, R. "Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security". *Science* [En línea], 2004, (United State of America) 304(5677), pp. 1623–1627. [Consulta: 22 octubre 2021]. ISSN 0036-8075. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.1097396>

LARREA, Flavio. Marcelo. *Centro de Administración y desarrollo Agrícola para el pequeño productor en Yaruquí.* [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. 20016. pp. 6-20. [Consulta: 30 octubre 2021]. Disponible en: <http://biblioteca.uide.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=29637>

LEANNE, A., & URRIOA. "¿Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo?". *Revista Científica Semilla Del Este* [En línea], 2020, (Universidad de Panamá), 1(23–26), p. 2. [Consulta: 19 octubre 2021]. ISSN-e: 2710-7469. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/343/3431370003/html/index.html>

LEFEVRE, C. "Carbono orgánico del suelo - el potencial Oculto". *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* [En línea], 2017, pp. 1-2. [Consulta: 15 junio 2021]. ISBN 978-92-5-309681-7. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf>

LLAMBÍ, L.,; et al. *Páramos Andinos: Ecología, hidrología y suelos de páramos* [En línea]. Los suelos del Páramo, 2012. [Consulta: 8 agosto 2021]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56477.pdf>

LOGROÑO, M. F.; et al. "Contextualization of Agriculture and Heritage in order to Identify and Characterize Products of Patrimonial Interest". *KnE Engineering* [En línea], 2020,

pp. 674–696. [5 agosto 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.18502/keg.v5i2.6290>

MARTINEZ, M. “La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos” Intagri S.C. [En línea], 2009, p. 1. [Consulta: 27 julio 2021]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica1-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos%0A>

MELA, Pedro. M. “Edafología”. Soil Science [En línea], 1995, (California- USA) 80(3), p. 1. [Consulta: 16 julio 2021]. ISSN 0038-075X. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/00010694-195509000-00010>

MENA, P., JOSSE, C., & MEDINA, G. Los suelos del páramo [en línea]. In Serie Páramo 5, 2000. [Consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://es-static.z-dn.net/files/d5c/a9751b4293c82c26ef428db85b953254.pdf>

MENA V.; et al. (Eds.). 2001. Los Páramos del Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas. Abya Yala/Proyecto Páramo. Disponible en: https://www.portalces.org/sites/default/files/references/044_Mena%20et%20al.%20%28Eds.%29.%20%202001.Paramos%20Ecuador%20PORTADA%2B_%2BHOJA%2BT ECNICA%2BY%2BPRESENTACION.pdf

MIRANDA, R., & CABALLERO, A. Métodos Y Análisis del Suelo [en línea]. Facultad de Agronomía - UMSA, 2015. [Consulta: 7 septiembre 2021]. Disponible en: <https://cerlalc.org/rilvi/metodos-y-analisis-del-suelo-9829/>

MONTAGNINI, F., & ALICE, F. “Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la estación biológica la Selva, Sarapiquí, Costa Rica”. ResearchGate [en línea], 2004. (Agronomía Costarricense) 28(2), pp. 17–24. [Consulta: 3 de septiembre 2021]. ISSN 0377-9424. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/26459551_Productividad_en_plantaciones_puras_y_mixtas_de_especies_forestales_nativas_en_la_estacion_biologica_la_Selva_Sarapiqui_Costa_Rica

MORELL, C.; et al. “Factores Limitantes de los Suelos”. Cultivos Tropicales [en línea], 2008, (Habana-Cuba) 29(2), pp. 1–2. [Consulta 14 septiembre 2021]. ISSN 0258-5936. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-

59362008000200003

ORSAG, V. El recurso suelo principios para su manejo y conservación. In Editorial Zeus. [en línea]. La Paz-Bolivia , 2010. [Consulta: 1 septiembre 2021]. Disponible en: <http://fobomade.org.bo/2010/09/01/el-recurso-suelo-principios-para-su-manejo-y-conservacion/>

OSORIO, N. W. “pH del Suelo y Disponibilidad de Nutrientes”. Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal [en línea], 2012, (Universidad Nacional de Colombia) 1(4), p. 1. [Consulta 20 septiembre 2021]. Disponible en: http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH_del_suelo_y_nutrientes_0.pdf

PAREDES, M. E., & GUAMAN, V. B. Estimación De Carbono Orgánico Total En El Suelo y Biomasa Del Páramo Andino De Yasipan Y Atillo [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. pp. 40-41. [Consulta: 20 septiembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13956>

PDYOT CEBADAS. "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Fase Diagnóstico". Portal SIN, (2015), Ecuador, p. 9. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/snlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660818930001_PDyOT_Consolidado_final_29-10-2015_23-07-05.pdf

PELLEGRINI, A. Curso Edafología Departamento de Ambiente y Recursos Naturales Facultad de Ciencias Agraria y Forestales. Suelos [en línea], 2014, (Universidad Nacional de la Plata- Argentina) 1(1), pp. 6. [Consulta: 18 septiembre 2021]. Disponible en: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA_3_-_TEXTURA_Y_COLOR.pdf#:~:text=La textura de un suelo puede determinarse por diferentes métodos,para poder medir su diámetro.](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA_3_-_TEXTURA_Y_COLOR.pdf#:~:text=La%20textura%20de%20un%20suelo%20puede%20determinarse%20por%20diferentes%20m%C3%A9todos,para%20poder%20medir%20su%20di%C3%A1metro.)

PODWOJEWSKI P.; et al. “Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza” Soil Use and Management [en línea], 2009, (Tungurahua-Ecuador) 18(1), pp. 45–55. [Consulta: 10 de julio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1079/sum2002100>

PODWOJEWSKI, P. “Los suelos de las altas tierras andinas: los páramos del Ecuador”. Sociedad Ecuatoriana de La Ciencia Del Suelo [en línea], 1999, (Universidad Central-Ecuador) 14(), pp. 9-10. [Consulta: 5 abril 2021]. Disponible en: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_51-52/010019247.pdf

PODWOJEWSKI, P., & POULENARD, J. “La degradacion de los suelos en los paramos”. ResearchGate [en línea], 2000, (Quito-Ecuador) Serie Páramo 5, pp. 29-31. [Consulta: 11 agosto 2021]. ISSN 1390-1222. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/view/12900778/la-degradacion-de-los-suelos-en-los-paramos-ird>

QUICHIMBO, P.; et al. “Effects About the physical and chemical soil properties by the vegetal and land use change: páramo of Quimsacocha at the southern Ecuador”. [en línea], 2012, (Universidad de Cuenca, Ecuador), 42(2), pp. 138–153. [Consulta: 3 octubre 2021]. ISSN 0562-5351. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/285632863_Efectos_sobre_las_propiedades_fisicas_y_quimicas_de_los_suelos_por_el_cambio_de_la_cobertura_vegetal_y_uso_del_suelo_Paramo_de_Quimsacocha_al_sur_del_Ecuador

QUICHIMBO, P.; et al. “Litterfall production under pine plantations in the southern Andes region of Ecuador”. Scielo [en línea], 2016, (UTE, Quito, Ecuador) 7(3), pp. 14–25. [Consulta: 23 octubre 2021]. ISSN 1390-9363. Disponible en: <https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V7N3.102>

RAMÍREZ, J. A.; et al. “Effects on nutrient cycling of conifer restoration in a degraded tropical montane forest”. [en línea], 2014, (UTE, Ecuador) 378(1–2), pp. [Consulta: 30 octubre 2021]. p.ISSN: 1390-9363. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S11104-014-2024-X>

RAMÍREZ, R. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos [en línea]. Convenio FENALCE-SENA-SAC, 2009. [Consulta: 12 septiembre 2021]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>

RIOJA, A. “Propuesta de diseño del jardín colgante Anexo A: Estudio Climático Anexo B: Estudio de la Ubicación B: 2.2 Dimensiones del área”. Upcommons [en línea], 2002, 1(2), pp. 93-94. [Consulta: 11 junio 2021]. Disponible en:

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4620/volumen%202%20_%20ANEXOS%20A,%20B,%20C,%20D%20y%20E.pdf

SADSAWKA & ZAGAL. “Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos”. *Ciencia Del Suelo* [en línea], 2007, (Universidad de Concepción - Chile) , pp. 39. [Consulta: 26 septiembre 2021]. Disponible en: http://www.sag.cl/sites/default/files/metodos_lodos_suelos.pdf

SALINAS, J., & GARCIA, R. “Metodos analiticos para suelos acidos y plantas”. *Journal Article* [en línea], 1979, (Cali-Colombia) , pp. 30-31. [Consulta: 21 septiembre 2021]. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/Digital/S593.5S371979C.1_M%C3%A9todos_anal%C3%ADticos_para_suelos_%C3%A1cidos_y_plantas.pdf

SARMIENTO, M. G. “Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos”. *Journal Article* [en línea], 2011, (Medellín - Colombia), p. 13. [Consulta: 18 octubre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V7N3.102>

TAYUPANTA, J. *La Erosion hidrica: proceso, factores y formas.* [en línea] *Boletín divulgativo. Estación Experimental “Santa Catalina”* Vol. 229, 1993, Quito, EC: INIAP, pp. 1-14. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/271>

VAN DER HAMMEN, T.; et al. “El Cambio Global y los Ecosistemas de Alta Montaña de Colombia”. *IDEAM-agrosavia* [en línea], 2002, (Colombia) , p. 165. [Consulta: 27 septiembre 2021]. Disponible en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18923>

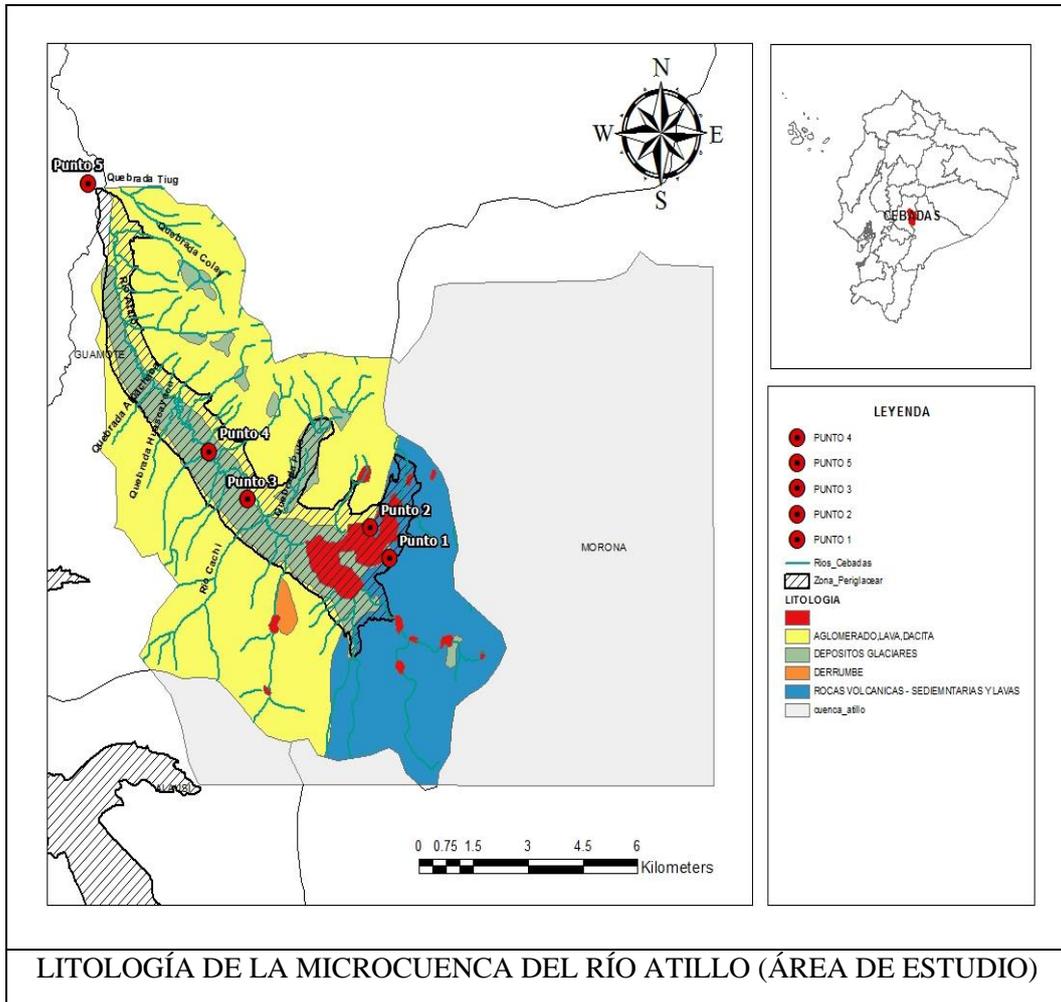
VARGAS, O., & LINARES, P. *Reviviendo nuestros páramos. Restauración ecológica de páramos* [en línea] (Trabajo de titulación). Flacso Ecuador. 2011. pp. 183 [Consulta: 20 agosto 2021]. Disponible en: https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=126185&tab=opac

VAZQUEZ, V. *Fundamentos de la Ciencia: Coloides Orgánico-minerales del Suelo y su Importancia.* (2015). *Fundamentos de La Ciencia.* Recuperado de: <http://metodo2013.blogspot.com/2015/10/coloides-organico-minerales-del-suelo.html>

YÁNEZ, W.; et al. Niveles de nitrógeno en suelos del cantón Chambo, provincia de Chimborazo. *Journal of the Selva Andina Biosphere* [en línea], 2017, (Ecuador) 5(2), pp. 1–2. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592017000200010

ZEBROZUSKI, C.; et al. Suelos Volcánicos Endurecidos (Quito, diciembre 1996). III Simposio Internacional pp. 510–529. Recuperado de: https://books.google.com.ec/books/about/Suelos_volc%C3%A1nicos_endurecidos.html?id=qY7iGwAACAAJ&redir_esc=y

ANEXO B: LITOLOGÍA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ATILLO.



ANEXO C: ADECUACIÓN DE PERFILES DE MUESTREO.



LIMPIEZA DE PERFILES

ANEXO D: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS, ROTULADO Y ETIQUETADO.



TOMA DE MUESTRAS, ROTULADO Y ETIQUETADO

ANEXO E: SECADO Y TAMIZADO DE MUESTRAS EN LABORATORIO.

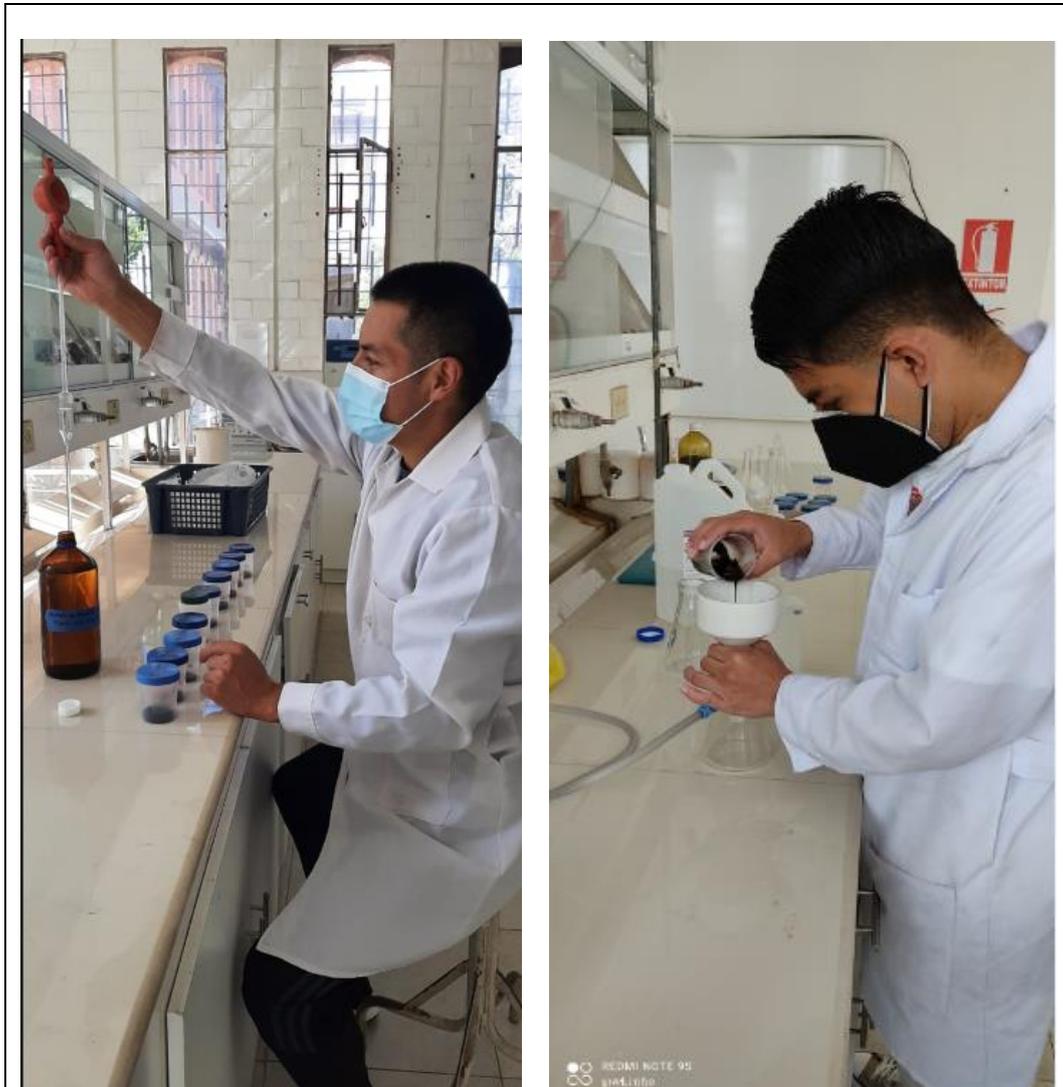


ANEXO F: DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA



DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

**ANEXO G: PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN EXTRACTORA ACETATO DE AMONIO
($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) Y FILTRACIÓN DE MUESTRAS.**



**PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN EXTRACTORA ACETATO DE AMONIO
($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) Y FILTRACIÓN DE MUESTRAS**

ANEXO H: PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN.



ANEXO I: DILUCIONES PARA DETERMINACIÓN DE CATIONES POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.



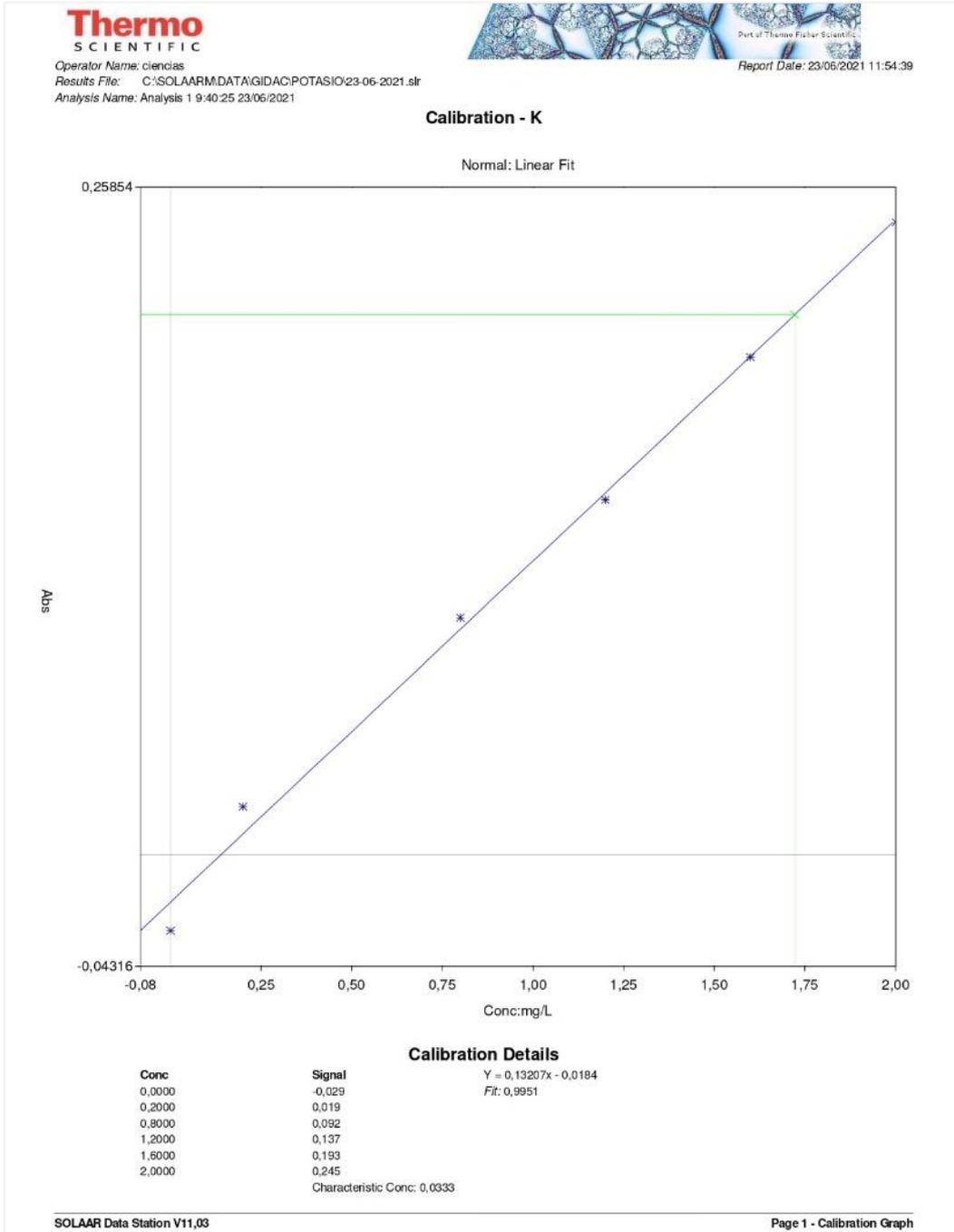
DILUCIONES PARA DETERMINACIÓN DE CATIONES POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

ANEXO J: ANÁLISIS DE MUESTRAS Y REGISTRO DE RESULTADOS.

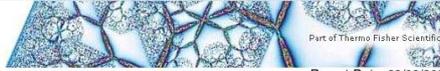


ANÁLISIS, LECTURA Y REGISTRO DE MUESTRAS

ANEXO K: CURVA DE CALIBRACIÓN DEL CATIÓN POTASIO.



ANEXO L: CURVA DE CALIBRACIÓN DEL CATIÓN SODIO.



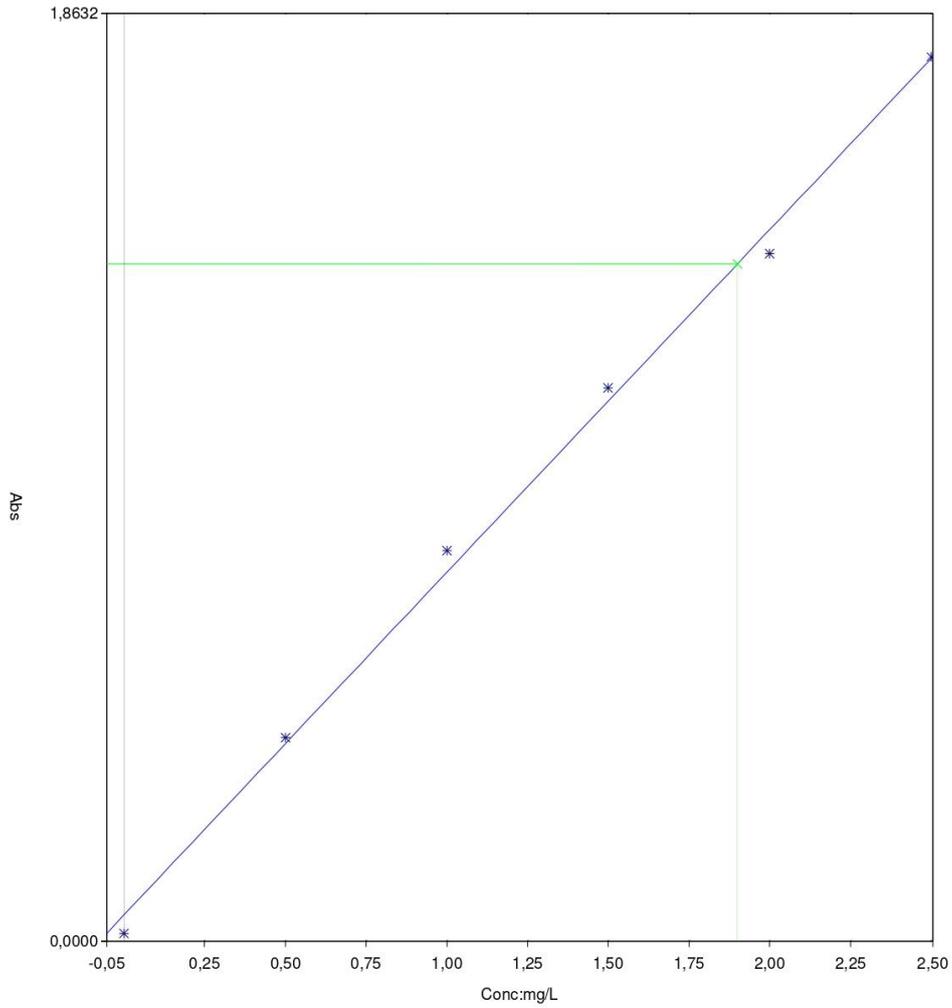
Part of Thermo Fisher Scientific

Operator Name: ciencias
 Results File: C:\SOLAARM\DATA\GIDAC\SODIO\22-06-2021.slr
 Analysis Name: Analysis 4 12:04:58 22/06/2021

Report Date: 22/06/2021 13:11:47

Calibration - Na

Normal: Linear Fit



Calibration Details

Conc	Signal
0,0000	0,015
0,5000	0,408
1,0000	0,784
1,5000	1,111
2,0000	1,381
2,5000	1,775

Characteristic Conc: 0,0064

Y = 0,68816x + 0,0521
 Fit: 0,9969

ANEXO M: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CATIÓN POTASIO.

SOLAAR AA Report

Operator Name: ciencias Report Date: 23/06/2021 11:54:02
 Results File: C:\SOLAAR\DATA\GIDAC\POTASIO\23-06-2021.sir

Analysis Audit Trail

23/06/2021 9:40:25 ciencias:FDCUINLAB03N15
Record created
 23/06/2021 9:40:49 ciencias:FDCUINLAB03N15
Warning MD3031 - WARNING : excessive noise when peaking the lamp, may not be optimum - check energy
 23/06/2021 11:53:42 ciencias:FDCUINLAB03N15
Error MD147 - Activity manually aborted by user.

OQ Test Result Summary

Warning: OQ Results not available.

Spectrometer Parameters - 339331021 (K)

Element: K	Measurement Mode: Absorbance	Lamp Current: 100%
Wavelength: 769,9nm	Bandpass: 0.5nm	Optimise Spectrometer Parameters: No
Background Correction: Off	High Resolution: Off	Number Of Resamples: 2
Signal Type: Continuous	Resamples: Fast	
Measurement Time: 4,0secs	Flier Mode: No	
Use RSD Test: No		

Flame Parameters - 339331021 (K)

Flame Type: Air-C2H2	Fuel Flow: 1,1L/min	Auxiliary Oxidant: Off
Nebulser Uptake: 4secs	Burner Stabilisation: 5mins	Optimise Fuel Flow: No
Burner Height: 7,0mm	Optimise Burner Height: No	

Sampling Parameters - 339331021 (K)

Sampling: None

Calibration Parameters - 339331021 (K)

Calibration Mode: Normal	Line Fit: Linear	Use Stored Calibration: No
Concentration Units: mg/L	Scaled Units: mg/L	Scaling Factor: 1,0000
Acceptable Fit: 0,995	Rescale Limit: 10,0%	Failure Action: Flag and Continue
Master Standard: 150,0000		

Standard 1	0,2000	Standard 4	1,6000
Standard 2	0,8000	Standard 5	2,0000
Standard 3	1,2000		

Element Audit Trail - 339331021 (K)

No changes are recorded for this element

Solution Results - 339331021 (K)

Sample ID	Signal Abs	Rsd %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
K Blank	-0,029	0,3	0,0000	
K Standard 1	0,019	1,9	0,2000	
K Standard 2	0,092	0,4	0,8000 U	
K Standard 3	0,137	0,9	1,2000 U	
K Standard 4	0,193	0,0	1,6000 U	
K Standard 5	0,245	0,0	2,0000	
K P4-430	0,145	1,1	1,2357	6,1784
K P4-0.30	0,123	0,5	1,0745	5,3723
K P4-0.70	0,067	0,4	0,6493	3,2465
K P4-2.40	0,178	0,4	1,4873	7,4364
K P4-3.20	0,282	0,3	2,2727 C	11,3633 C
K P4-2.10	0,239	0,1	1,9516	9,7580
K P4-1.70	0,129	0,1	1,1149	5,5743
K P4-3.20	0,135	1,2	1,1584	11,5842
K P4-4.50	0,131	0,2	1,1312	11,3117
K P4-2.70	0,197	0,6	1,6320	16,3200
K P4-1.10	0,086	0,3	0,7912	3,9562
K P4-4.10	0,124	1,0	1,0788	10,7880
K P4-3.80	0,053	0,9	0,5414	27,0709
K P1-2.70	0,094	0,3	0,8512	0,8512
K P1-1.80	0,104	0,5	0,9277	0,9277
K P1-0.90	0,178	0,0	1,4845	1,4845
K P1-1.50	0,096	0,6	0,8686	0,8686
K P1-2.10	0,091	0,2	0,8314	0,8314
K P1-3.0	0,191	0,9	1,5879	1,5879
K P1-2.40	0,101	0,9	0,9016	0,9016

SOLAAR Data Station V11,03 Page 3 - Results



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 01 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Luis Rolando Patiño Pomavilla</i> <i>Gilson Fabio Casco Ibarra</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>
Título a optar: <i>Ingeniero en Biotecnología Ambiental</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,
serialNumber=000062148S,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.01.20 11:34:28 -05'00'



2057-DBRA-UTP-2021