



# UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

Efectos del cambio de uso del suelo en las propiedades físicas y químicas en la microcuenca del Soroche.

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

Autores:

Joffre Alexander Méndez Salinas

CI: 1103839260

Correo electrónico: jofremendez\_jams@hotmail.com

David Sebastián Merchán Guillen

CI: 0105875454

Correo electrónico: davidsmerchan@outlook.com

Tutor:

ING. Marco Tulio Ramírez Matamoros. MSc.

CI: 0702774936

**Cuenca-Ecuador**

17-enero-2022



## **Resumen:**

El páramo es un ecosistema de gran importancia para las comunidades alto Andinas debido a los servicios ecosistémicos que brinda. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional, la búsqueda de recursos naturales, y la expansión de la frontera agrícola están amenazando el funcionamiento en el páramo. En esta investigación se estudiaron los efectos del cambio del uso de suelo, en las propiedades físicas y químicas, en la microcuenca del Soroche. Para lograr esto, se evaluaron las propiedades del suelo en escenarios diferentes de cobertura/uso del suelo, y topografía, para finalmente elaborar directrices que permitan tomar decisiones en el manejo de los suelos en la microcuenca. Los análisis de los parámetros fisicoquímicos se obtuvieron del INIAP; luego de su agrupación, se analizaron los datos utilizando estadística descriptiva, para posteriormente identificar diferencias significativas y su grado de correlación. El agua disponible (AD) en el horizonte A fue el único parámetro hidrofísico que presentó incrementos en el pasto con diferencias significativas. En el páramo-pasto, horizonte A, horizonte C, cobertura y curvatura, nuestros análisis mostraron que el Ca y Mg estaban incrementados en el pasto. Estos resultados proporcionan evidencia que los efectos del cambio de uso de suelo, como el caso de la microcuenca del Soroche, afectan principalmente a los parámetros químicos del suelo debido a la aplicación de enmiendas para mejorar la producción de pasto para el ganado.

**Palabras claves:** Páramo. Ecosistema. Horizonte. Pasto. Soroche. Microcuenca. Parámetros. Ganado. Cobertura. Curvatura



**Abstract:**

The páramo is an important ecosystem for the high Andean communities due to the ecosystem services that it supplies. However, due to population growth, the search of natural resources, and the expansion of the agricultural frontier are threatening the functioning in the páramo. This research addressed the effects of land use change on physical and chemical properties, in the Soroche micro-catchment. To achieve this, the soil properties were evaluated in different scenarios of land use/cover and topography, to finally elaborate guidelines that allow to make decisions in the management of the soils in the micro-catchment. The analyses of the physical and chemical parameters were obtained from the INIAP; after their grouping, the data was analyzed using descriptive statistics, to later identify significant differences and their degree of correlation. The available water (AD) in the A horizon was the only hydrophysical parameter that showed increases in the pasture with significant differences. In the páramo-pasture, horizon A, horizon C, coverage and curvature, our analyses showed that Ca and Mg were increased in the pasture. These results provide evidence that the effects of land use change, as the case of the Soroche microcuenca, mainly affect the chemical parameters of the soil due to the application of amendments to improve the production of pasture for livestock.

**Keywords:** Páramo. Ecosystem. Horizon. Pasture. Soroche. Microcuenca. Parameters. Livestock. Coverage. Curvature.



## Índice del Trabajo

<b>1. Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Identificación del problema y justificación. ....</b>	<b>12</b>
Objetivo general .....	14
Objetivos específicos .....	14
<b>Capítulo II. ....</b>	<b>15</b>
<b>2. Marco Teórico.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Conceptos generales.....</b>	<b>15</b>
2.1.1. Suelo.....	15
2.1.2. Suelos orgánicos .....	15
2.1.3. Cobertura y uso del suelo.....	15
2.1.4. Andosoles .....	16
2.1.5. Histosoles .....	16
2.1.6. Fertilidad de suelos .....	17
2.1.7. Bosque .....	17
2.1.8. Pastizal .....	18
2.1.9. Actividad Antrópica .....	18
2.1.10. Pastoreo.....	18
<b>2.2. Características físicoquímicas del suelo.....</b>	<b>19</b>
2.2.1. Parámetros físicos .....	19
2.2.2. Parámetros químicos .....	19
Saturación de bases: .....	21
<b>Capítulo III. ....</b>	<b>22</b>
<b>3. Metodología.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. Área de estudio .....</b>	<b>22</b>
3.1.1 Topografía y Geología.....	23
3.1.2 Suelos y cobertura.....	23
3.1.3 Clima.....	24
<b>3.2. Muestreo y análisis de muestras.....</b>	<b>24</b>
3.2.1. Muestreo .....	24
3.2.2. Transectos. ....	26
3.2.3. Análisis de parámetros físicos y químicos: .....	29
<b>3.3 Análisis estadístico .....</b>	<b>31</b>
3.3.1 Análisis descriptivo .....	32



3.3.2 Test de normalidad de Shapiro-Wilks .....	32
3.3.3 Correlación .....	33
3.3.2 Análisis de varianza ANOVA .....	33
3.3.3 Test no paramétrico Kruskal Wallis.....	33
3.4 Diagrama de redes: .....	34
Capítulo IV .....	35
4. Resultados y discusión .....	35
4.1. Introducción .....	35
4.2. Análisis estadístico .....	35
4.2.1 Análisis por cobertura páramo y pasto .....	36
4.2.2 Análisis por cobertura páramo y pasto en el Horizonte A .....	43
4.2.3 Análisis por cobertura páramo y pasto en el Horizonte C .....	50
4.2.4 Análisis por cobertura y curvatura: páramo cóncavo, pasto cóncavo, páramo convexo y pasto convexo .....	54
4.3.1 Diagrama de redes:.....	62
5. Conclusiones y recomendaciones .....	65
ANEXOS.....	81



### Ilustraciones.

<i>Ilustración 1. Ubicación Microcuenca del Soroche</i>	22
<i>Ilustración 2. Microcuenca del Soroche</i>	24
<i>Ilustración 3. Mapa de pendientes de la Microcuenca del Soroche.</i>	26
<i>Ilustración 4. Ubicación de Puntos y Transectos.</i>	27
<i>Ilustración 5. Elevación de los puntos de muestreo</i>	28
<i>Ilustración 6. Resumen de la metodología utilizada.</i>	32
<i>Ilustración 7. Pasto y Paramo</i>	35
<i>Ilustración 8. Valores de calcio (izquierda) y saturación de bases (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto.</i>	37
<i>Ilustración 9. Valores de carbono en coberturas de Páramo y Pasto.</i>	38
<i>Ilustración 10. Valores de conductividad eléctrica (izquierda) y densidad aparente (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto.</i>	39
<i>Ilustración 11. Valores de nitrógeno en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.</i>	43
<i>Ilustración 12. Valores de potasio (izquierda) y magnesio (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.</i>	44
<i>Ilustración 13. Valores de conductividad eléctrica (izquierda) y conductividad hidráulica (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.</i>	45
<i>Ilustración 14. Valores de densidad aparente en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.</i>	46
<i>Ilustración 15. Valores de calcio (izquierda) y saturación de bases (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.</i>	46
<i>Ilustración 16. Valores de carbono en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.</i>	47
<i>Ilustración 17. Valores de Calcio clasificados en función de cobertura y curvatura de suelo</i>	55
<i>Ilustración 18. Valores de Magnesio clasificados en función de cobertura y curvatura de suelo</i>	56
<i>Ilustración 19. Carbono en función de la cobertura y curvatura de suelo.</i>	57
<i>Ilustración 20. Nitrógeno en función de la cobertura y curvatura en el páramo y pasto.</i>	58
<i>Ilustración 21. Potasio en función de la cobertura y curvatura de suelo.</i>	58
<i>Ilustración 22. Conductividad Eléctrica en función de la cobertura y curvatura de suelo.</i>	59

### Ecuaciones.

<i>Ecuación 1 Densidad Aparente</i>	29
<i>Ecuación 2 Carbono Orgánico.</i>	29



## Tablas

<i>Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo, en función de los transectos.</i>	25
<i>Tabla 2. Parámetros hidrofísicos.</i>	30
<i>Tabla 3. Métodos de análisis de los parámetros químicos.</i>	30
<i>Tabla 4. Información de los análisis físico, químico e hidrofísicos del páramo y pasto.</i>	40
<i>Tabla 5. Información de los análisis físico, químico e hidrofísicos del horizonte A de las coberturas de suelo de Páramo y Pasto.</i>	49
<i>Tabla 6. Información de los análisis físico, químico e hidrofísicos del horizonte C de las coberturas de Páramo y Pasto.</i>	52
<i>Tabla 7. Información de los análisis físico, químico e hidrofísicos clasificada por curvatura y coberturas de suelo.</i>	60
<i>Tabla 8. Diagrama de redes</i>	62



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Joffre Alexander Méndez Salinas en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS EN LA MICROCUENCA DEL SOROCHÉ", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca 17 de enero del 2022

Joffre Alexander Méndez Salinas

C.I: 1103839260





## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

David Sebastián Merchán Guillén en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN LA MICROCUENCA DEL SOROCHÉ", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de enero del 2022

David Sebastián Merchán Guillén

C.I: 0108575454

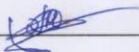


### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo, Joffre Alexander Méndez Salinas, autor del trabajo de titulación "EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS EN LA MICROCUENCA DEL SOROCHÉ", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca 17 de enero del 2022



---

Joffre Alexander Méndez Salinas

C.I: 1103839260



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

David Sebastián Merchán Guillén, autor del trabajo de titulación “EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN LA MICROCUENCA DEL SOROCHÉ”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 17 de enero del 2022

---

David Sebastián Merchán Guillén

C.I: 0105875454



## Capítulo I.

### 1. Introducción.

#### 1.1 Identificación del problema y justificación.

El Páramo es un ecosistema húmedo de alta montaña conformado por valles y planicies de origen glaciar (Josse et al., 2009; Patricio Mena Vásconez et al., 2001), que se localiza sobre los 3200 m s.n.m. (Camacho, 2014; Patricio Mena Vásconez et al., 2001), este ecosistema ocupa el 7% del territorio del Ecuador (Josse et al., 2009). El Páramo es de gran importancia para las comunidades alto Andinas debido a los servicios ecosistémicos que brinda (Buytaert et al., 2006), tales como, acumulación de carbono orgánico en el suelo (Poulenard et al., 2002), suministro de agua constante para su posterior potabilización y uso doméstico, provisión de agua para actividades agrícolas y para uso industrial (Buytaert et al., 2010; Buytaert & De Bievre, 2012; Célleri & Feyen, 2009; Tobón, 2009). Además, la capacidad de regulación hídrica y las propiedades biofísicas que posee el suelo de Páramo brindan un caudal constante y calidad de agua adecuada durante gran parte del año (Tobón, 2009). Esta extraordinaria característica de regulación hídrica se debe a la elevada capacidad de infiltración y almacenamiento de agua en los suelos, siendo esta última característica la más importante (Buytaert et al., 2006). Sin embargo, el conocimiento de la hidrología del ecosistema de Páramo es parcial, a pesar de su importancia como fuente de provisión de agua (Buytaert et al., 2003).

Los suelos del Páramo almacenan grandes cantidades de carbón orgánico (Castañeda & Montes, 2017; Crespo et al., 2014; Molina et al., 2019; Poulenard et al., 2003), esto debido a la falta de oxígeno en el suelo, bajas temperaturas y humedad de este ecosistema (Castañeda & Montes, 2017; Conant et al., 2011). A pesar de esto, se ha encontrado por medio de mediciones de carbono en la atmósfera, que el Páramo actúa como una fuente emisora de carbono en el sur de Ecuador (Carrillo-Rojas et al., 2019). Esta característica es el resultado no solo por cambios en las condiciones ambientales, sino también por cambios en la cobertura y uso de suelo (Scott et al., 1998; Wen et al., 2019), en consecuencia, el cambio climático podría afectar gravemente las condiciones hidrológicas y ecológicas de este ecosistema andino (Cadilhac et al., 2017; Vanacker et al., 2018).

El elevado crecimiento poblacional y la búsqueda constante de fuentes de ingresos económicos, derivan en una mayor expansión de la frontera agrícola, el cual se ha llevado a cabo durante las



últimas décadas a medida que los agricultores desplazan sus actividades hacia el Páramo (Balslev & Luteyn, 1992; Hartsig, 2011). Estos cambios provocan la reducción de la cobertura natural de bosques y Páramo (Balthazar et al., 2015; Vanacker, Vanderschaeghe, et al., 2003). De esta manera, un manejo inadecuado del suelo debido a la presión de la tierra conllevaría a una alteración en la asimilación de carbono y nutrientes (Lis-Gutiérrez et al., 2019), lo que provocaría un deterioro del recurso suelo debido principalmente a la erosión hídrica y los movimientos de masa (Bonnesoeur et al., 2019; Martínez et al., 2008).

Se estima que la frontera agrícola se extenderá en un 70% para el año 2050 debido a la constante demanda del recurso suelo (Vargas, 2006). En el Ecuador el 40% del Páramo se ve afectado por actividades humanas (García et al., 2019). Los suelos de Páramo tienen una mayor capacidad de almacenamiento de carbono orgánico por hectárea (Farley et al., 2013) en comparación con otros ecosistemas, como por ejemplo, los bosques tropicales (Lis-Gutiérrez et al., 2019). Sin embargo, en los ecosistemas de Páramo se ha demostrado que un cambio en el uso de suelo, de pajonal a pasto, provoca variaciones importantes en los parámetros fisicoquímicos del suelo (Jiménez et al., 2007). Además, se debe tener en cuenta las especies y composición de plantas en el suelo, pues se ha demostrado que estos factores también condicionan las propiedades físicas y químicas del suelo (Quichimbo et al., 2012).

A pesar de la importancia del ecosistema de Páramo, se realizan actividades de ganadería constantemente, sin tomar en cuenta el impacto que tienen en las propiedades del suelo y el impacto general en la cuenca (Vanacker, Vanderschaeghe, et al., 2003). Otros estudios han resaltado que el cambio de uso de suelo puede tener impactos negativos irreversibles en las propiedades hidrofísicas del suelo de Páramo (Crespo et al., 2014; Pesántez et al., 2018; Scott et al., 1998). Es por esto que, es necesario evaluar cómo varían las propiedades físicoquímicas del suelo después de la conversión de un páramo natural (pajonal) hacia pastos para la ganadería. Conocer el comportamiento de las propiedades del suelo es importante para tomar medidas correctivas que permitan recuperar y proteger el Páramo de las actividades antrópicas que podrían ocasionar un inadecuado funcionamiento del ecosistema (Vanacker, Govers, et al., 2003).



## 1.2 Objetivos

### Objetivo general

- Mejorar la comprensión de los efectos del cambio de uso del suelo en las propiedades físicas y químicas en la microcuenca del Soroche.

### Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades físicas y químicas en suelos con diferente cobertura y uso.
- Analizar las propiedades físicas y químicas en diferentes posiciones topográficas.
- Contribuir con directrices para la toma de decisiones en el manejo de los suelos de la microcuenca.



## Capítulo II.

### 2. Marco Teórico.

#### 2.1. Conceptos generales.

##### 2.1.1. Suelo.

El suelo es la capa superficial de materia mineral el cual cubre las zonas terrestres con una mezcla compleja y multifásica de minerales, agua, aire y organismos, junto con productos de su transformación y degradación (Badii et al., 2007; Wilson et al., 2013). La meteorización in situ del material rocoso y la acumulación de materia orgánica transportada por el agua, viento o hielo a lo largo del tiempo definen las características distintivas de cada uno de los tipos de suelo (Nortcliff et al., 2011). Además de esto, el suelo se divide en horizontes los cuales se distinguen por varios parámetros, como su estructura, color, textura, límites, espesor, tiempo de formación, densidad de raíces y nódulos de hierro (Bhattacharyya, 2016). El suelo actúa como reservorio de nutrientes y agua (FAO, 2001), proporcionando a las plantas y seres vivos los recursos necesarios durante su crecimiento (Blanco & Lal, 2010). Es por esto que el suelo es una parte esencial para todos los procesos de la biosfera (Nortcliff et al., 2011).

##### 2.1.2. Suelos orgánicos

Los suelos orgánicos contienen la mayor cantidad de carbono orgánico de la superficie de la tierra (FAO, 2001; Sales, 2006), es por esto que son de vital importancia para el ciclo global del carbono (FAO, 2001). Dependiendo del uso y manejo de este tipo de suelo pueden actuar tanto como un reservorio o como una fuente emisora de carbono (Lal, 1990). Los cambios en las propiedades de los suelos orgánicos pueden tener implicaciones en la fertilidad y erosión (Stolbovoy et al., 2005).

##### 2.1.3. Cobertura y uso del suelo

La cobertura del suelo se define como el revestimiento natural presentado en la superficie terrestre (Rodríguez et al., 2010). El uso del suelo hace referencia a la categorización de un área de suelo predeterminado que indica una actividad realizada por el sector rural del país en ese espacio (Chaves et al., 2012; Velázquez et al., 2004).



#### **2.1.4. Andosoles**

Los Andosoles son suelos de color negro, esto por el alto contenido de materia orgánica (Podwojewski & Poulénard, 2000). Este tipo de suelos se desarrollan en regiones volcánicas (FAO, 2008). Los andosoles se forman a partir de material piroclástico, su fracción coloidal está principalmente dominada por complejos órgano-metálicos o minerales de rango corto (P. Borja et al., 2008). Además, este tipo de suelo posee una alta porosidad, buena capacidad de retención de agua y estructura estable, estas propiedades del suelo evitan la erosión y permiten el buen desarrollo de las raíces. Las condiciones climáticas y el estado de meteorización son factores que determinan las características morfológicas y físicas de los andosoles (Buytaert et al., 2002). La densidad aparente de los andosoles es muy baja, entre  $<0.9$  a  $0.3 \text{ g cm}^{-3}$ , sin embargo, tienen una retención del agua bastante elevada debido a la alta porosidad que posee este tipo de suelo (Molina et al., 2019). Los andosoles tienen un alto contenido de materia orgánica debido a las bajas temperaturas y por la formación de complejos órgano-metálicos, bastante estables y tóxicos para algunos organismos que descomponen la materia orgánica, además, los Andosoles no contienen arcillas cristalizadas como se ha probado por la extracción por oxalato que se realiza en tierra fina de un medio ácido. Las cargas en los suelos de Andosol son variables, esto afecta directamente al pH, pues la capacidad de intercambio catiónico está en función del pH del suelo (Podwojewski & Poulénard, 2000).

#### **2.1.5. Histosoles**

Los Histosoles son suelos que están compuestos por gruesas capas de materia orgánica y se desarrollan en zonas frías y de alta precipitación con zonas constatemente saturadas (FAO, 2007; Borja et al., 2008). De la misma forma que los Andosoles, los Histosoles tienen una gran capacidad para retener agua en sus suelos debido a su porosidad, además de tener una baja densidad aparente, entre  $0.1$  a  $0.35 \text{ g cm}^{-3}$  (P. Borja et al., 2008). Este tipo de suelo se compone por restos vegetales incompletamente descompuestos, sin mezcla de limo, arcilla o arena. En los Histosoles la mineralización y transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica es lenta (FAO, 2008). La materia orgánica se acumula en las capas más profundas del suelo, por esto se puede encontrar material orgánico a más de  $40 \text{ cm}$  de profundidad, lo que ayuda a contener cantidades considerables de agua en este suelo (Matthews, 2014). Este tipo de suelo tiene una mayor cantidad de materia orgánica comparado con los suelos Andosoles, en promedio de  $56\%$  en Histosoles (Martínez et al., 2008). Los valores de pH son bajos, promedios de  $4.8$  ese factor es





importante para caracterizar químicamente este suelo, pues varios procesos están limitados por el pH, como por ejemplo la actividad microbiana, toxicidad de algunos elementos, descomposición de materia orgánica, etc. (P. Borja et al., 2008).

### **2.1.6. Fertilidad de suelos**

Interacción resultante entre las características químicas, físicas y biológicas del suelo y la planta, mediante procesos de absorción de nutrientes necesaria para el crecimiento y desarrollo del cultivo (Sánchez, 2007; Vieira et al., 1998).

### **2.1.7. Bosque**

Los bosques son vitales tanto para las personas como para el planeta ya que contribuyen en procesos vitales como la conservación de la biodiversidad proporcionando aire y agua limpia y respondiendo al cambio climático (Muller & Kushlin, 2018). Para ser considerado como bosque debe tener una extensión de territorio mayor a 0.5 hectáreas provista de árboles con una altura mayor a 5 metros y una cubierta de dosel superior al 10% (Barrantes et al., 2016; FAO, 2010). Existen varios tipos de bosques, pero cada uno de estos se difiere por factores como la temperatura, latitud, composición del suelo, patrones de lluvia y actividad humana en el área (Venkaeswarlu, 1980). Una de las características más importantes de los bosques es que actúan como fuente de alimentos, medicinas y combustibles para más de mil millones de personas. Además de esto los bosques albergan más de tres cuartas partes de la biodiversidad terrestre del mundo, esto ayuda a proporcionar muchos productos derivados y servicios ecosistémicos que contribuyen al desarrollo socioeconómico de las ciudades y zonas rurales (Muller & Kushlin, 2018). Los bosques nativos también se destacan por su formación de especies vegetales primarios o secundarios el cual se caracteriza por la disposición de árboles de distintas especies nativas, tamaños y edades variadas (CORPEI, 2007). Los bosques nativos generan interés en un contexto de conservación, esto es porque se consideran un hábitat propicio para un número considerablemente grande de especies de insectos (Thomsen, 2001). Los bosques que no han sido perturbados por actividades antrópicas se suelen percibir como bastante improductivos, sin embargo, los bosques nativos son el sistema biológico de mayor producción primaria en la zona nemoral. Este tipo de bosque tiene mayor follaje y, por lo tanto, mayor fotosíntesis que cualquier otro tipo de vegetación. Es por esto que es de esperar que los bosques nativos sean los más



productivos de la mayoría de ecosistemas en términos de biomasa producida por unidad de área y energía fijada en el material vegetal (Thomsen, 2001)

### **2.1.8. Pastizal**

El pastizal se define como vegetación principalmente dominada por especies herbáceas las cuales son aprovechadas directamente por especies herbívoras (Rebollo & Gómez, 2003). Este ocupa aproximadamente el 40% de la superficie terrestre, por esto los pastizales naturales son ecosistemas terrestres muy importantes (Matthews, 2014). A pesar de la diversidad de vegetación y ambientes, existen 3 tipos de pastizales: Estepas, el cual es un bioma caracterizado por un clima semiárido; Praderas, con ambientes más húmedos que las Estepas y con suelos fértiles, ricos en materia orgánica y de textura limosa; y Sabanas, que están distribuidos por las zonas tropicales y subtropicales de todos los continentes (Oliva, 2016). Se sabe que el pastizal brinda múltiples servicios ecosistémicos, como, por ejemplo, la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), secuestro de carbono, participación en el ciclo de nutrientes, conservación de agua y reducción en la erosión del suelo (Nelson & Sanderson, 2012; Sanderson et al., 2011). Por esto, los pastizales deben valorarse como un uso de la tierra equivalente a otros usos agrícolas de tierra (Steiner & Franzluebbbers, 2009).

### **2.1.9. Actividad Antrópica**

Intervención realizada por el ser humano sobre su hábitat, con actividades como: extracción forestal para madera y energía, ganadería, pesca, implantación de cultivos, incendios, aumento de emisiones de gases de carbono de origen industrial y vehicular (Buytaert et al., 2007; Rossi, 2016).

### **2.1.10. Pastoreo**

Una de las estrategias más adecuadas para producir leche o carne es utilizar las laderas de alta producción mediante procesos de pastoreos eficientes (Vyhmeister, 2007). El pastoreo es el proceso donde los animales retiran la hierba verde o seca disponible en el área de potraje de la ladera para su posterior transformación a productos vendibles (leche, carne) (Teuber et al., 2006). El desarrollo productivo de las praderas se mide por el incremento constante en la recepción de leche y producción de carne, esto se suele dar principalmente en pastoreos desarrollados en llano longitudinal y en precordilleras andinas (Teuber et al., 2006)



## 2.2. Características físicoquímicas del suelo

### 2.2.1. Parámetros físicos

- *Densidad aparente*: para conocer el estado físico del suelo es importante tener en cuenta la densidad aparente, pues este refleja la dinámica de la estructura y la porosidad, ya que estos varían por agentes externos como por ejemplo la dispersión y compactación de las partículas del suelo (Millar, 1982).
- *Textura del suelo*: La textura del suelo es una propiedad que se determina a través del porcentaje de arena, limo y arcilla presente en la muestra del suelo (Jordán, 2006), se la puede determinar con el método del hidrómetro en laboratorio o utilizar el método “Feel” que se puede realizar in situ (Yao et al., 2018; J. Zhang et al., 2019).

### 2.2.2. Parámetros químicos

Los macronutrientes son aquellos elementos que se necesitan en relativamente grandes cantidades, mientras que los micronutrientes son aquellos elementos que las plantas necesitan en pequeñas cantidades.

#### **Macronutrientes:**

- *Carbono*: El carbono en el suelo puede encontrarse de forma orgánica e inorgánica (Martínez et al., 2008). Además, en los suelos se almacena aproximadamente el 69.8% de carbono de la biosfera (FAO, 2001), es por esto que el carbono juega un papel importante para la dinámica hidrológica de una cuenca, debido a la relación carbono/agua presente en los ecosistemas (Ramón-Reinozo et al., 2019). Sin embargo, esta característica puede verse modificada por cambios en el uso de suelo, alterando de esta manera la capacidad de mantener el carbono fijado en el suelo (Pesántez et al., 2018; Scott et al., 1998; Wen et al., 2019).
- *Nitrógeno*: El nitrógeno es el nutriente que las plantas necesitan en mayores cantidades y generalmente es uno de los más limitantes para el crecimiento de las plantas debido a la falta de disponibilidad (S. Zhang et al., 2019). En el suelo el nitrógeno se encuentra en forma orgánica e inorgánica, sin embargo, solo la forma inorgánica está disponible para la absorción de la planta (Benimeli et al., 2019). La mayor parte del N del suelo (> 95%) existe en forma orgánica (Benimeli et al., 2019; Fu et al., 2019). Los iones de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) son las dos formas inorgánicas utilizadas por las plantas (Akhtar et al.,



2019). Los microbios del suelo pueden descomponer el N orgánico ( $\text{NH}_2$ ) y convertirlo en formas utilizables por las plantas ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ) en un proceso conocido como mineralización de nitrógeno (M. Wang et al., 2020).

- **Fósforo:** Proporciona a las plantas un medio para aprovechar la fotosíntesis para aumentar su metabolismo, es por esto que es un indicador que permite identificar carencias en el crecimiento vegetal, sistemas radiculares débiles, semillas y frutos de mala calidad (Spargo et al., 2013). La cantidad de fósforo retenido en el suelo depende de las variables del ciclo biogeoquímico de este nutriente, existen factores externos como el pastoreo que generan grandes acumulaciones de fósforo en el suelo (Suñer et al., 2018). Sin embargo, todo el fósforo retenido en el suelo no puede ser asimilable para la vegetación presente en el área (Suñer et al., 2018).
- **Potasio:** Es uno de los nutrientes más importantes para las plantas en la temporada de crecimiento, pues estas lo absorben en mayor cantidad (Spargo et al., 2013). Cuando la disponibilidad de Potasio en el suelo es baja las plantas presentan problemas de enanismo o crecimiento reducido, los frutos son pequeños, además de hojas con bordes oscuros o marchitas (Villasanti et al., 2013). Del mismo modo, los cultivos deficientes en potasio no pueden aprovechar el nitrógeno y agua presentes en el suelo, provocando una mayor susceptibilidad a enfermedades (Spargo et al., 2013).

### **Micronutrientes:**

- **Calcio:** El calcio presente en el suelo es fundamental para el correcto funcionamiento de las membranas y paredes celulares de las plantas (Spargo et al., 2013). Este elemento en el suelo proviene de la meteorización de minerales, que al ser solubilizado tiene varios destinos como: absorción por organismos del suelo, perdidas por lixiviación o absorción por complejos coloidales (Roca-Fernández, 2005). Cuando el calcio se encuentra en concentraciones normales en el suelo mejora la producción de semillas (especialmente en frutas y crecimiento de sus raíces), ayuda a fortalecer los microorganismos del suelo y facilita el crecimiento correcto de la planta (Spargo et al., 2013).
- **Magnesio:** El magnesio es un elemento que se encuentra almacenado el 2.3% en la corteza terrestre (Navarro & Navarro, 2003), sin embargo, en el suelo se aproxima a un 0.5% (Tan, 1994). Esto se debe a que es un elemento que se encuentra distribuido de forma mineral (Roca-Fernández, 2005). En concentraciones normales el magnesio



interacciona junto con el Fósforo, esto influye positivamente en el metabolismo de la planta, además de formar parte de la clorofila que es crucial en el proceso de la fotosíntesis (Roca-Fernández, 2005; Spargo et al., 2013).

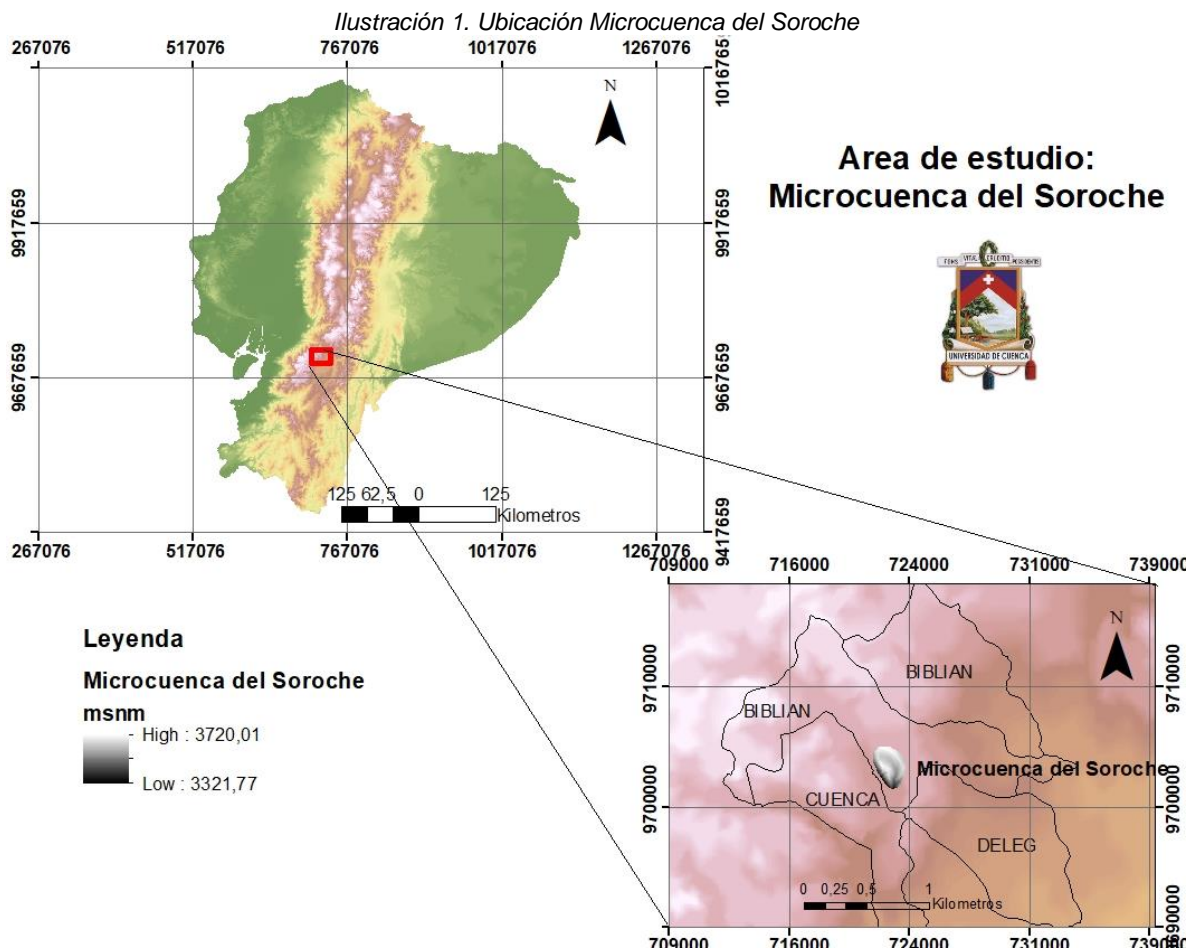
**Saturación de bases:** La fracción de los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio) entre los cationes ácidos (aluminio e hidrógeno) presentes en el suelo indica el porcentaje de saturación de bases (FAO, 2019). La saturación de bases y su porcentaje son un indicador de la capacidad de almacenamiento de nutrientes vegetales (Soriana, 2015). Esta saturación se suele relacionar con el pH del suelo, pues cuando el pH del suelo es neutro la saturación de bases llega a 100% indicando que en los coloides no se encuentran iones hidrógeno (FAO, 2019). Para obtener una mayor capacidad potencial para suministrar elementos como el calcio, magnesio y potasio a las plantas es deseable que el suelo presente una alta saturación de bases, asociado a una capacidad de intercambio catiónico alta (Villasanti et al., 2013).

## Capítulo III.

### 3. Metodología.

#### 3.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la microcuenca del Soroche, la cual forma parte de la cuenca del río Machángara tal como se muestra en la ilustración 1. La microcuenca de estudio está ubicada aproximadamente a 30 minutos del centro poblado de Nazón correspondiente al cantón Biblián en las coordenadas x: 722454 E y: 9701577 N datum: WGS84. La elevación de la microcuenca varía entre los 3500 a 3700 m s.n.m. aproximadamente (Crespo et al., 2010).



*Elaborado por: Méndez J, Merchan D (2021).*

*Fuente: ODEPLAN (2008).*



### 3.1.1 Topografía y Geología

A nivel Cantonal, predominan las colinas medianas ocupando una superficie total de 4618.86 ha, esto corresponde al 19.9 % del total del área del cantón (Borja et al., 2013). En base a lo anterior, en la zona de estudio a través de visitas de campo, se determinó que pertenece a esta clase de relieve con una menor proporción de relieve montañoso. La microcuenca del Soroche se compone principalmente por rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas del Grupo Saraguro, perteneciendo al Oligoceno (entre 33.9 y 23.03 million de años, Dunkley and Gaibor, 1997). En la zona, se encuentran depositos cuaternarias de tobas volcánicas y tilitas (Vanacker et al., 2013).

### 3.1.2 Suelos y cobertura

Los suelos de Páramo generalmente son homogéneos, esto a pesar de la compleja topografía y geología del ecosistema (Quichimbo et al., 2012). El suelo en la microcuenca del Soroche está compuesto por una textura determinada como moderadamente gruesa debido a su gran porcentaje de arena (suelos franco-arenosos) (Mena Vásconez et al., 2011)

En el área de estudio predominan las coberturas de suelo:

Páramo: Es la cobertura de suelo que sobresale en todo el cantón ocupando más de un 40% del total del territorio, en esta cobertura se distingue el Pajonal como vegetación dominante (Borja et al., 2013).

Bosque Natural: Se encuentra en un porcentaje mayor al 12% al nivel del cantón (Borja et al., 2013), en la microcuenca se halla en pequeñas porciones tanto dentro como en sus límites, se tiene como especie principal el *polylepis*.

En la microcuenca del Soroche también se encuentra un pequeño bosque de pinos, arboles dispersos y una red de carreteras, sin embargo existe un límite marcado entre las áreas cultivadas y los pastizales de Páramo natural (Vinken, 2020). Esto es debido a que el área de pastoreo intensivo ocupa más del 50% de la microcuenca (Crespo et al., 2014). La vegetación nativa restante ha sido sustituida por especies más productivas para pastoreo intensivo de ganado vacuno. Para mejorar las condiciones del suelo destinada a esta actividad se realiza drenajes artificiales (Crespo et al., 2014).

*Ilustración 2. Microcuenca del Soroche*



*Fuente: Méndez J, Merchan D.*

### **3.1.3 Clima**

El clima de la microcuenca del Soroche se la define como Ecuatorial de Alta Montaña, la cual está influenciada por el régimen del Pacífico proveniente del oeste y por las masas de aire continentales llegando del lado Amazónico y proveniente del Atlántico (Vuille et al., 2000). El resultado de estos dos regímenes provoca una precipitación relativamente uniforme y ligeramente bimodal, con una estación más seca en entre agosto a septiembre y otra menos seca entre diciembre a febrero (Buytaert et al., 2005). La temperatura media de 12°C y una precipitación que oscila entre 800 y 2000 mm anuales (Borja et al., 2013).

## **3.2. Muestreo y análisis de muestras**

### **3.2.1. Muestreo**

El muestreo del suelo (páramo y pasto), se realizó en los meses de julio y agosto del año 2019, conjuntamente con Jef Vinken, estudiante de maestría de la Universidad Católica de Lovaina, con la finalidad de complementar los estudios. Los transectos y puntos de muestreo fueron considerados en los mismos sitios tal como se indican en la tabla 1.





Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo, en función de los transectos.

Transecto 1				Transecto 4			
Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
1,1	723190,7	9700762	3649,7	4,1	722436,1	9701810	3704,4
1,2	723132,8	9700759	3631,9	4,2	722410,4	9701718	3682,5
1,3	722975,8	9700765	3601,7	4,3	722348,3	9701555	3652,9
1,4	722874,5	9700756	3586,1	4,4	722324,2	9701458	3637,4
Transecto 2				Transecto 5			
Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
2,1	722733,1	9701032	3612,3	5,1	722269,4	9700812	3695,8
2,2	722834,1	9701106	3638,6	5,2	722339	9700887	3672,7
2,3	722949,3	9701162	3644,9	5,3	722440,3	9700982	3649,9
2,4	723037,3	9701226	3669,7	5,4	722572,4	9701088	3622
Transecto 3				Transecto 6			
Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
3,1	723030,3	9700664	3603,6	6,1	722087	9700872	3706,7
3,2	722994,5	9700825	3608,2	6,2	722031,6	9700977	3697,2
3,3	722957,8	9701033	3626,5	6,3	721959,5	9701157	3682,1
3,4	722894,6	9701234	3650,8	6,4	721854,7	9701283	3658,7
3,5	722869,3	9701400	3672,2				

Elaborado por: Méndez J, Merchan D.

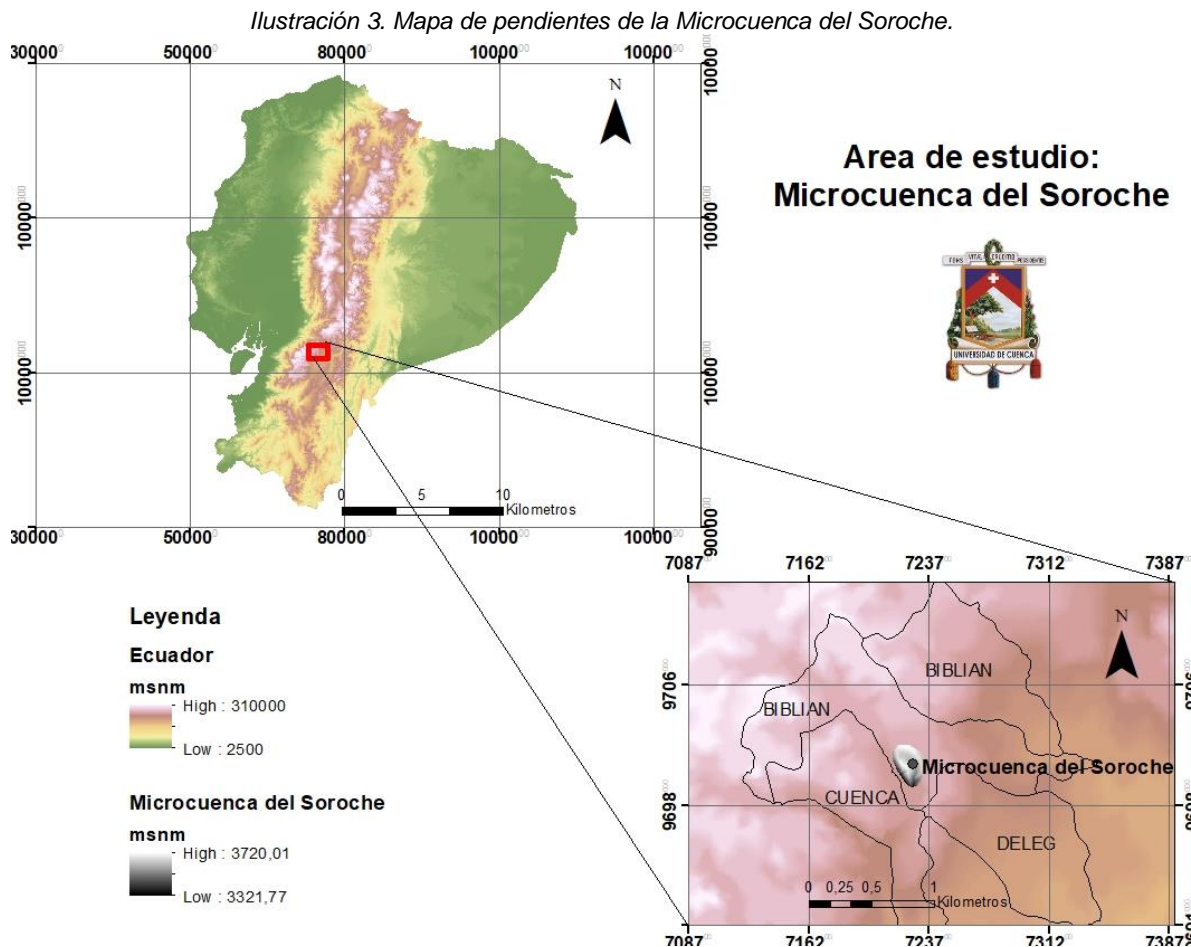
Para el muestreo en la microcuenca del Soroche se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Anillos de Kopecky (100 cc)
- Espátula
- Cuchillo
- Barreno para suelo arcillosos, mixtos o arenosos
- Barreno muestreador de media caña
- Porta-anillos de Kopecky
- Bolsas plásticas herméticas
- Marcador
- Flexómetro
- GPS

- Cámara fotográfica
- Martillo de goma.

### 3.2.2. Transectos.

Se realizaron 6 transectos, mismos que fueron determinados de acuerdo al uso de suelo, pendiente y relieve, ya sean cóncavos o convexos. En cada transecto se ubicaron (4 o 5) puntos de muestreo en función de la longitud y la variabilidad de la pendiente, tal como se indica en la ilustración 3.



*Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)*

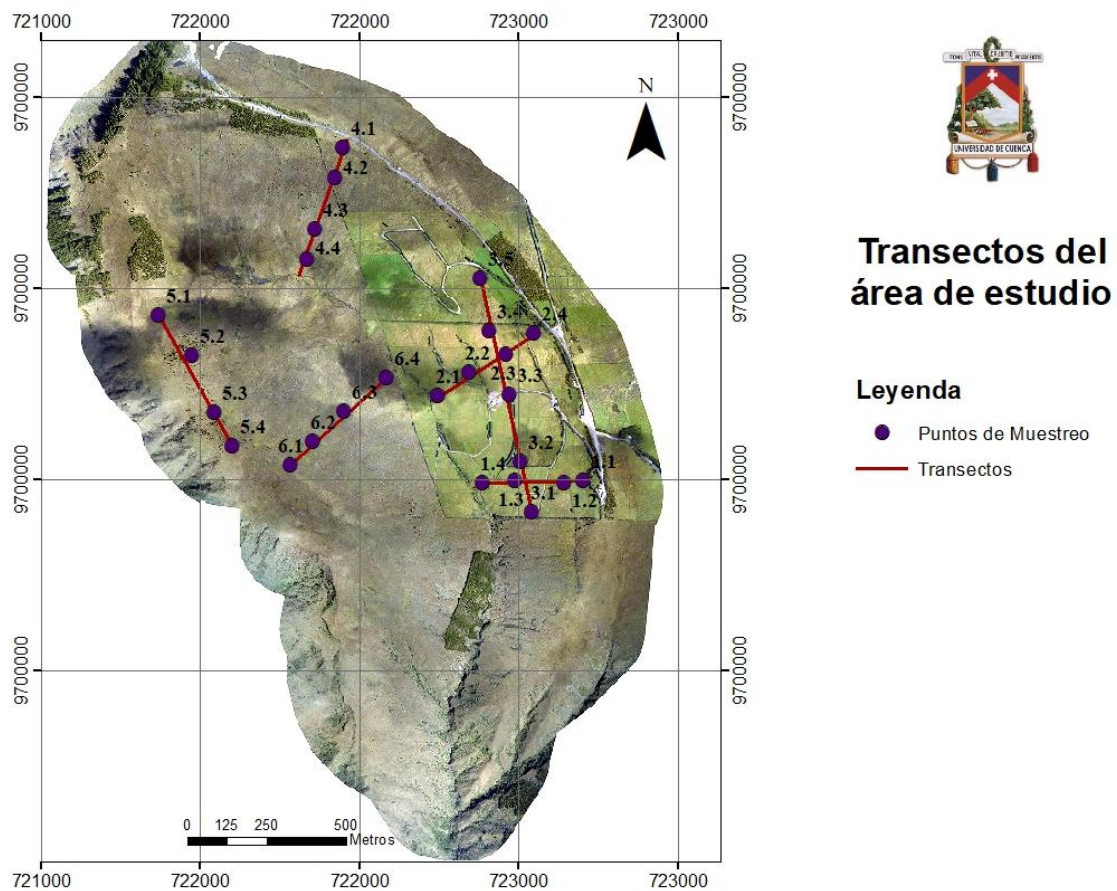
*Fuente: ODEPLAN (2008)*

Se tomaron dos tipos de muestras, alteradas (pasto) e inalteradas (páramo), en los diferentes horizontes de los puntos de muestro para cada uno de los parámetros analizados. En las muestras inalteradas se tomaron 3 anillos Kopecky por cada horizonte, las muestras alteradas se obtuvieron

en los mismos puntos de las muestras inalteradas, recolectando aproximadamente 2 Kg de suelo, para posteriormente realizar el análisis en el laboratorio.

Debido a que se realizó un análisis espacial, se tomó una muestra por punto, con un total de 25 puntos dentro de la microcuenca, quedando distribuidos como se aprecia en la ilustración 4.

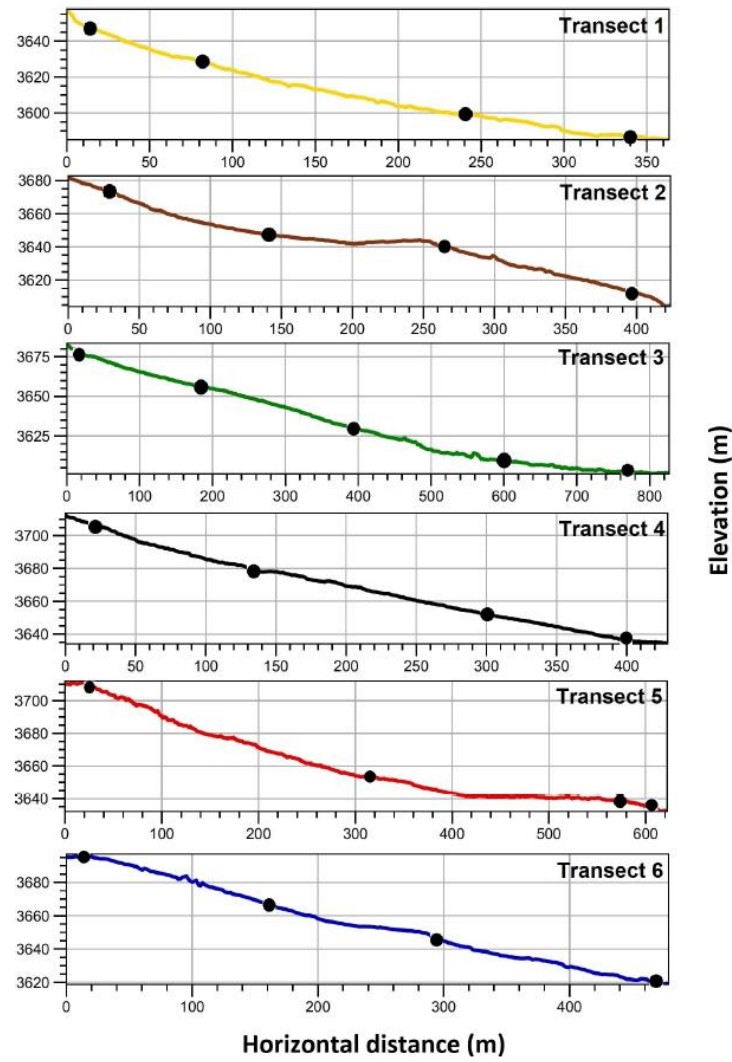
Ilustración 4. Ubicación de Puntos y Transectos



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

Fuente: ODEPLAN (2008)

Ilustración 5. Elevación de los puntos de muestreo



Elaborado por: Jef Vincken, 2020



### 3.2.3. Análisis de parámetros físicos y químicos:

Con el fin de determinar si existe una variación en las propiedades del suelo según el uso y topografía se analizaron parámetros, físicos y químicos que se especifican a continuación.

#### 3.2.3.1. Análisis físicos:

**Densidad aparente:** Este parámetro se calcula para un volumen de suelo incluyendo sus espacios de aire y material orgánico, lo cuales estarán en función de la textura, el contenido de materia orgánica, estado de agregación, manejo que recibió el suelo y contenido de humedad. La densidad aparente se utiliza para cuantificar la capacidad de almacenamiento de agua por volumen de suelo y de esta manera valorar si las capas de suelo están muy compactadas, lo cual podría ocasionar problemas de aireación o para la penetración de la raíz. Este parámetro se calculó con la muestra inalterada de suelo, donde se introdujo en un horno a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas y posteriormente se pesó. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{(M_{a+s} - M_a)}{V}$$

*Ecuación 1 Densidad Aparente*

Dónde:

$Da$  = Densidad Aparente

$M_{a+s}$  = Masa del anillo más el suelo seco

$M_a$  = Masa del anillo

$V$  = Volumen del anillo

**Carbono Orgánico:** Para obtener este parámetro se utilizó el factor de conversión de Van Bemmelen, con el factor 1,724, que asume que hay un 58% de carbono orgánico en la materia orgánica del suelo (Eyherabide et al., 2014).

$$\%C = \frac{\%MO}{1.724}$$

*Ecuación 2 Carbono Orgánico.*



**Textura:** Este parámetro se determinó en el laboratorio obteniendo porcentajes de arena, limo y arcilla.

Tabla 2. Parámetros hidrofísicos.

Parámetro	Unidad
Densidad Aparente	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad	%
Agua disponible	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
Textura	%
Saturación	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
Conductividad eléctrica	dS/m
pH	
Capacidad de campo	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
Punto marchitez	
Conductividad hidráulica	cm/h

Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

### 3.2.3.2. Análisis químicos:

Los parámetros químicos se realizaron en el laboratorio del INIAP, ubicado en el cantón Gualaceo, parroquia Bullcay. Los métodos utilizados para cada parámetro se especifican en la tabla 3.

Tabla 3. Métodos de análisis de los parámetros químicos.

Parámetro	Unidad	Método
Materia orgánica	%	Walkley y Black
Carbono		Factor de conversión Van Bemmelen
Nitrógeno	ppm	Colorimétrico
Fósforo		Olsen modificado
Potasio	meq/100ml	Absorción atómica Olsen modificado
Calcio		
Magnesio		
Hierro		
Manganeso		



*Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)*

La materia orgánica se analizó mediante el método de Walkley y Black, con el fin de obtener la relación carbono-nitrógeno, esto para determinar el grado de evolución, formación del suelo y la disponibilidad de nitrógeno para las plantas y microorganismos.

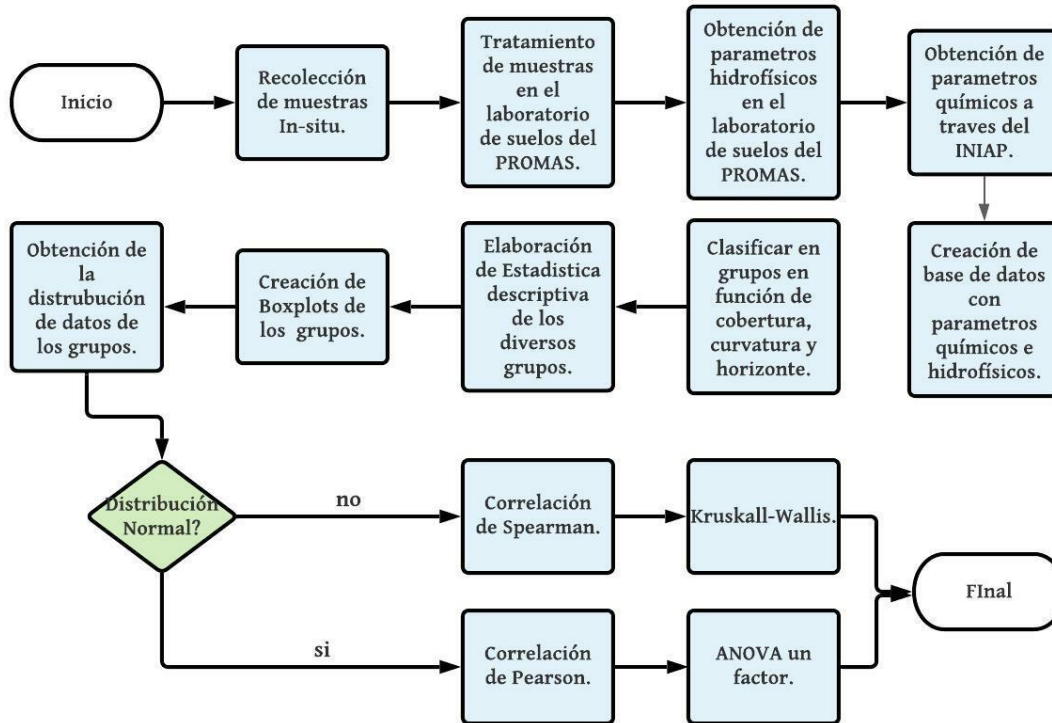
Se realizó la determinación colorimétrica de nitrógeno y fósforo por el método de Olsen modificado pH 8.5. Se agregó una solución extractante Olsen pH 8.5 para el análisis de macro y micro elementos en 2.5 ml de suelo, posteriormente se agitó por 10 minutos y se filtró en papel filtro Whatman cualitativo #1. Para leer la absorbancia del nitrógeno se utilizó una longitud de onda de 630 nm, mientras que para el fósforo se utilizó la longitud de onda de 680 nm. Se construyó la curva de calibración para cada uno de los parámetros y se interpoló los datos de absorbancia de las muestras en la curva de calibración antes construida. Se reportan los datos directamente en mg de nitrógeno y en mg de fósforo por 1000 ml de suelo (ppm).

El potasio, calcio y magnesio se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica por el método de Olsen modificado pH 8.5. Se agregó una solución extractante Olsen pH 8.5 para el análisis de macro y micro elementos en 2.5 ml de suelo, posteriormente se agitó por 10 minutos y se filtró en papel filtro Whatman cualitativo #1. Posteriormente se realizan las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica. Estos elementos en solución son atomizados en la llama aire-acetileno, lo que permite que se absorba la radiación proveniente de una lámpara del mismo elemento en forma proporcional a la cantidad de átomos presentes.

### **3.3 Análisis estadístico**

Para realizar el análisis estadístico se elaboró una base de datos con los parámetros fisicoquímicos en cada uno de los puntos de muestreo, desde julio hasta agosto de 2019. El análisis estadístico se realizó en el software libre R Studio versión 3.6.3. En la ilustración 6 se resumen todos los pasos seguidos, incluyendo los previos ya descritos, así como su respectivo análisis estadístico, el cual será descrito en los siguientes apartados.

Ilustración 6. Resumen de la metodología utilizada.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D.

### 3.3.1 Análisis descriptivo

Como primera instancia se realiza un análisis descriptivo de los datos con la finalidad de tener una primera impresión del comportamiento de los resultados basados en parámetros estadísticos tales como: media, mediana, desviación estándar, máximos y mínimos.

### 3.3.2 Test de normalidad de Shapiro-Wilks

Con la finalidad de conocer la distribución normal o no de los datos se realizó el Test de normalidad de Shapiro-Wilks, donde el conjunto de datos necesario para su ejecución puede ser pequeño ( $n < 30$ ). Si el valor de " $p$ " es mayor a 0.05 se considera que los datos siguen una distribución no normal (Romero, 2016). Entonces, si los datos presentan una distribución normal se realiza un análisis ANOVA y se busca una correlación de sus parámetros, para verificar si hay





correlación de Pearson. Sin embargo, si los datos no presentan una distribución normal se realiza el test no paramétrico Kruskal Wallis y adicionalmente una correlación de Spearman.

### **3.3.3 Correlación**

En dependencia del resultado del test de normalidad, se realiza la correlación, ya que, al seguir una distribución normal, el test de correlación recomendado es de Pearson, caso contrario, Spearman.

Esta prueba estadística indica que tan influenciadas se encuentran dos variables, esta dependencia puede ser directa o inversamente proporcional. Esta prueba estadística se mide entre valores de 1 a -1, en donde, valores cercanos a 1 indican que existe una relación positiva entre variables, es decir si un parámetro aumenta su valor por lo tanto el otro también. No obstante, valores cercanos a -1 muestran una relación negativa, es decir si un valor disminuye el otro aumenta y viceversa. Finalmente, valores próximos a 0 indican que no existe una correlación entre esas variables.

### **3.3.2 Análisis de varianza ANOVA**

Para conocer si las medias del conjunto de datos de los parámetros en cada uno de los puntos son iguales o difieren entre ellas se aplica el análisis ANOVA, cuando se distribuyeron normalmente. Este análisis de varianza se utiliza para comprobar una igualdad entre medias poblacionales. Comparando las varianzas muestrales es posible deducir sobre los valores relativos de las medias poblacionales. Aplicando este análisis hay que considerar tres suposiciones: todas las poblaciones involucradas son normales, todas las poblaciones tienen la misma varianza y las muestras se seleccionan independientemente (Bakieva et al., 2015).

### **3.3.3 Test no paramétrico Kruskal Wallis**

Con la finalidad de conocer si las poblaciones de datos poseen o no la misma distribución dentro de las muestras se aplica el test no paramétrico de Kruskal Wallis. Este test es la alternativa no paramétrica del test ANOVA de una vía para datos no pareados. A diferencia del ANOVA donde se comparan las medias, en el test de Kruskal Wallis se contrasta si las distintas medianas están equidistribuidas y que por lo tanto pertenecen a una misma distribución (población) (Pardo & Ruiz, 2010).



### **3.4 Diagrama de redes:**

El Diagrama de redes es una metodología de evaluación ambiental de los impactos generados en el área de estudio por lo que se examina y se analiza las actividades y cambios generados con la finalidad de generar recomendaciones para obtener una actividad sustentable (Camacho, 2014). Para la identificación de los posibles impactos se ha implementado un diagrama de redes en función de los resultados obtenidos, este diagrama permite establecer las interrelaciones que existen entre las acciones causales y los efectos ambientales, incluyendo sus efectos secundarios y terciarios, sintetizando todo el estudio para comunicar al público en general.

## Capítulo IV

### 4. Resultados y discusión

#### 4.1. Introducción

En las siguientes secciones se presentan los resultados obtenidos, acompañados de una discusión de los aspectos de mayor relevancia estadística. Debido al número reducido de observaciones, únicamente en el Horizonte C no se analizaron sus parámetros fisicoquímicos en busca de significancias estadísticas o correlaciones; en cambio, para el resto de escenarios de estudio esto sí se realizó.

#### 4.2. Análisis estadístico

Se analizaron los resultados de las estadística descriptiva en función de la cobertura vegetal y curvatura del suelo, los grupos comparables se clasificaron de la siguiente manera:

- 1) Páramo - Pasto
- 2) Páramo – Pasto (Horizonte A)
- 3) Páramo - Pasto (Horizonte C)
- 4) Páramo Cóncavo - Páramo Convexo – Pasto Cóncavo – Pasto Convexo

*Ilustración 7. Pasto y Paramo*



*Fuente: Méndez J, Merchan D.*



#### 4.2.1 Análisis por cobertura páramo y pasto

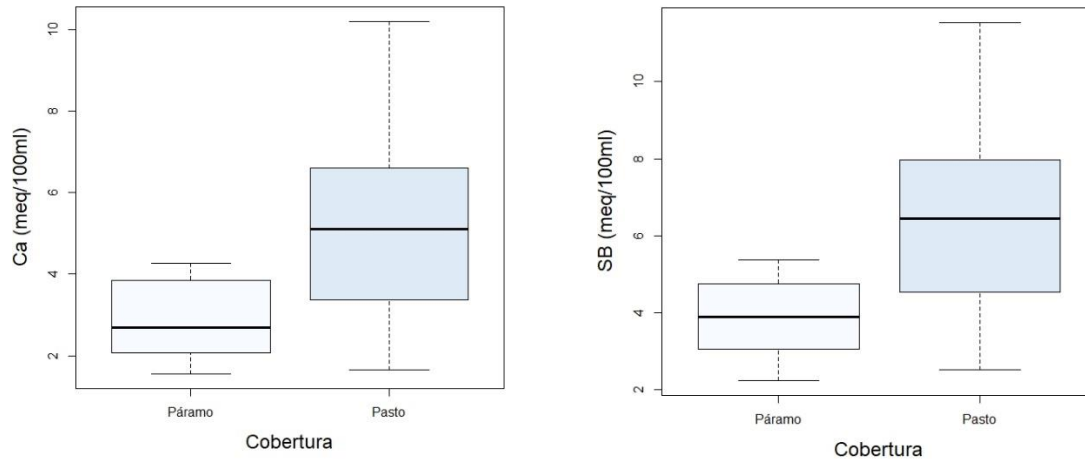
Los datos del suelo inalterado (Páramo) y el alterado (Pasto), tanto para los parámetros químicos como hidrofísicos, se presentan en la Tabla 4.

Debido a la distribución de estos datos (Anexo A), para su comparación se ejecutó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Anexo B). La correlación de Spearman para el Páramo (Anexo C) y Pasto (Anexo D), evidencia en general una correlación lineal muy fuerte entre los parámetros hidrofísicos, pues sus valores son más cercanos a 1 y -1.

Entre el suelo alterado e inalterado, existen diferencias significativas para los parámetros químicos K ( $p=0.0342$ ), Ca ( $p=0.0008$ ), Mg ( $p=0.0007$ ) y SB ( $p=0.0006$ ) (Anexo B), pues cumplen con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ . Estos resultados muestran un aumento, del pasto respecto al páramo, K 40% ( $0.21 \pm 0.10$  y  $0.22 \pm 0.32$  meq/100ml), Ca 46% ( $5.15 \pm 2.35$  y  $2.89 \pm 0.95$  meq/100ml), Mg 30% ( $0.98 \pm 0.23$  y  $0.74 \pm 0.18$  meq/100ml) y SB del 39% ( $6.35 \pm 0.51$  y  $3.86 \pm 1.01$  meq/100ml). El incremento significativo de nutrientes como el Ca y por ende de la SB (Ilustración 8), así como valores ligeramente más altos de pH en el pasto, se deberían a las enmiendas aplicadas en el suelo; esta información se respalda, por otra investigación llevada a cabo por Estupiñán et al. (2009), quienes han resaltado que la fertilización inducida del suelo de páramo para la agricultura y/o ganadería, generalmente se realiza aplicando fuentes de Ca, lo que produce cambios drásticos en la acidez del suelo, los resultados de este estudio muestran un incremento del pH a niveles cercanos a 5, en comparación a zonas sin intervención con un pH de 3.8 muy ácido, así también se observa un aumento el contenido de la saturación de bases.

Por otro lado, existe una correlación positiva fuerte de la SB con el Ca y Mg, en el páramo ( $\rho=0.9$  y  $\rho=0.62$ ) y mayor en el pasto ( $\rho=0.98$  y  $\rho=0.67$ ). No es coincidencia que el K, Ca y Mg se relacionen con la SB, pues la SB es estimada a partir de cationes básicos como K, Ca, Mg y Na (no incluido en este estudio) (Llambí et al., 2012).

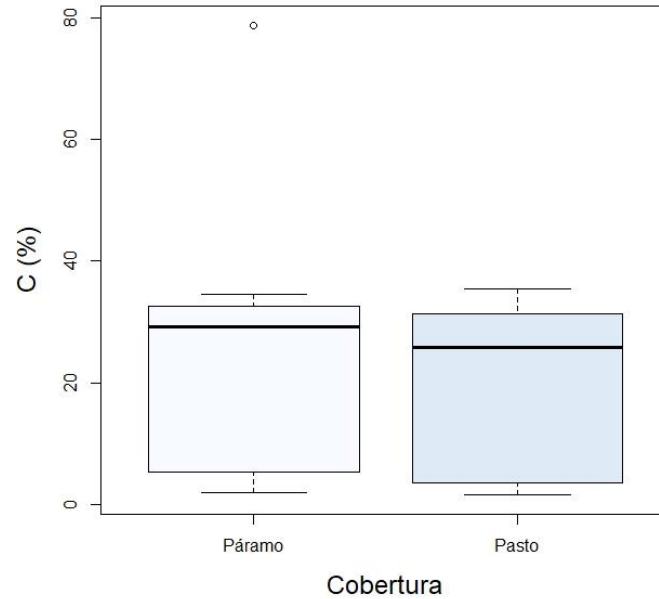
Ilustración 8. Valores de calcio (izquierda) y saturación de bases (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

No existen diferencias significativas en el contenido de C ( $p=0.6575$ ) ([Anexo B](#)), presentando una disminución en el pasto respecto al páramo del 2% ( $21.51\pm 13.70$  y  $24.11\pm 18.29$  %), como se aprecia en la Ilustración 9. Estos resultados podrían sugerir, que la materia orgánica se encuentra protegida de la descomposición por la presencia de compuestos órgano-metálicos y órgano-minerales, estos procesos son importantes para la estabilización del carbono en suelos volcánicos (Llambí et al., 2012; Molina et al., 2019), al igual que el pH bajo al inhibir la acción bacteriana, además de las temperaturas bajas que realentizan su descomposición.

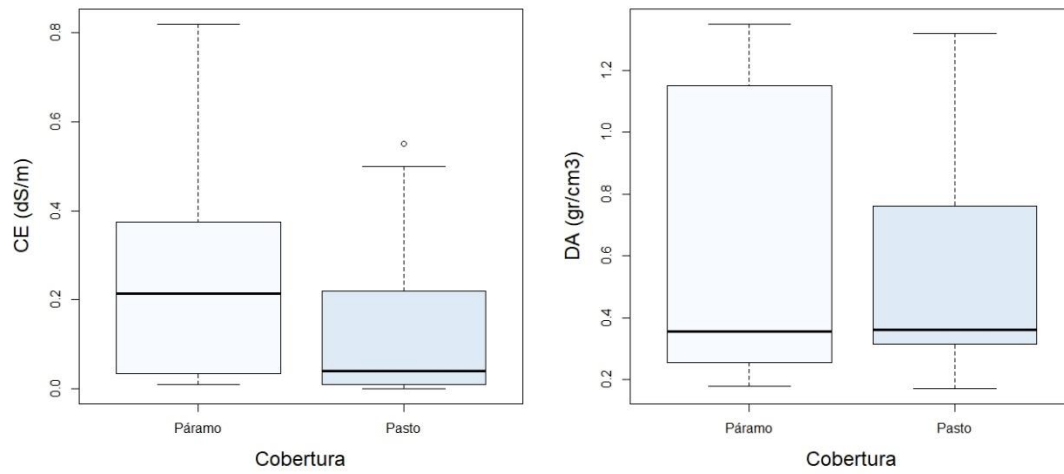
Ilustración 9. Valores de carbono en coberturas de Páramo y Pasto.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

Al igual que los cationes básicos y la SB, la CE y el pH también existen diferencias estadísticamente significativas ( $p=0.0466$  y  $p=0.0077$ , respectivamente) ([Anexo B](#)), los resultados muestran que la CE disminuyó un 82% en el pasto en comparación con el Páramo ( $0.14\pm 0.17$  y  $0.25\pm 0.15$  dS/cm) (Ilustración 10), mientras que el pH presenta un aumento del 4% ( $4.79\pm 0.27$  y  $4.58\pm 0.19$ ). Los bajos valores de las medianas de CE en el páramo ( $0.22$  dS/m) y pasto ( $0.04$  dS/m) ([Tabla 4](#)), son indicadores de que estos suelos no poseen problemas de acumulación de sales bajo condiciones de alta precipitación. En los suelos inalterados de Páramo, los resultados de este estudio concuerdan con los de Cisneros et al. (2010) en el páramo de Quimsacocha, quienes reportaron que no existe salinidad en dichos suelos, porque encontraron una conductividad eléctrica de  $0.131$  dS/m en el horizonte ándico y  $0.419$  dS/m en el hístico.

Ilustración 10. Valores de conductividad eléctrica (izquierda) y densidad aparente (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)



Tabla 4. Información de los análisis físico, químico e hidrofísicos del páramo y pasto.

Los datos se proporcionan como promedios, mediana, mínima y máxima

Parámetro	Páramo						Pasto					
	n	Media	Desvest	Mediana	Min	Max	n	Media	Desvest	Mediana	Min	Max
pH	20	4.58	0.19	4.60	4.20	4.90	21	4.79	0.27	4.80	4.40	5.70
C (%)	20	24.11	18.29	29.18	1.94	78.89	21	21.51	13.70	28.48	1.50	35.50
N (ppm)	20	91.00	52.57	92.50	21.70	171.00	21	56.54	29.68	48.10	12.10	132.00
P (ppm)	20	13.54	11.26	9.31	0.30	34.70	21	9.13	10.58	6.16	0.30	39.50
K (meq/100ml)	20	0.22	0.32	0.12	0.08	1.53	21	0.21	0.10	0.20	0.10	0.51
Ca (meq/100ml)	20	2.89	0.95	2.70	1.55	4.26	21	5.15	2.35	5.00	1.65	10.20
Mg (meq/100ml)	20	0.74	0.18	0.70	0.54	1.36	21	0.98	0.23	1.00	0.54	1.37
SB (meq/100ml)	20	3.86	1.01	3.90	2.24	5.37	21	6.35	2.51	6.39	2.53	11.54
CE (dS/m)	20	0.25	0.25	0.22	0.01	0.82	21	0.14	0.17	0.04	0.00	0.55
DA (gr/cm <sup>3</sup> )	20	0.63	0.45	0.36	0.18	1.35	21	0.50	0.37	0.35	0.17	1.32
CC (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	20	0.16	0.04	0.14	0.09	0.24	21	0.17	0.05	0.16	0.12	0.33
AD (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	20	0.08	0.01	0.08	0.06	0.11	21	0.08	0.01	0.08	0.07	0.13
Chidr (cm/h)	20	6.06	5.13	5.77	0.66	19.90	21	4.71	2.56	4.34	0.25	10.00
Arena (%)	20	82.35	10.86	86.00	57.00	97.00	21	80.14	13.10	85.00	34.00	92.00
Limo (%)	20	8.55	5.26	7.50	2.00	22.00	21	10.33	6.58	9.00	2.00	30.00





Arcilla (%)	20	9.10	6.34	6.50	1.00	21.00	21	9.52	7.19	8.00	4.00	36.00
-------------	----	------	------	------	------	-------	----	------	------	------	------	-------

*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*

*Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)*



A pesar de que no existen diferencias estadísticamente significativas en los parámetros hidrofísicos, la DA y CHidr (Ilustración 10), se observa una disminución de un 3% ( $0.50 \pm 0.37$  y  $0.63 \pm 0.45$  gr/cm<sup>3</sup>) y 25% ( $4.71 \pm 2.56$  y  $6.06 \pm 5.13$  cm/h), respectivamente, en el pasto comparado con el páramo. Poulenard et al. (2001), resaltan que la reducción de la conductividad hidráulica saturada se da en suelos de páramo que han sufrido quemas o pastoreo, debido a la formación de compuestos orgánicos hidrofóbicos. Estos compuestos se producen por la descomposición de organismos vegetales y microbiales durante la exposición del suelo a quemas y secado. Por otro lado, investigaciones anteriores han reportado que la densidad aparente es mayor en el páramo intervenido por actividades antrópicas; sin embargo, Quichimbo et al. (2011), reportaron valores relativamente menores en horizontes superficiales de páramo con pasto ( $0.41$  mg/m<sup>3</sup>) o sometido a quema ( $0.35$  mg/m<sup>3</sup>) que en pajonal ( $0.43$  mg/m<sup>3</sup>) e incluso bosques de polylepis ( $0.43$  mg/m<sup>3</sup>), pino ( $0.51$  mg/m<sup>3</sup>) o montano ( $0.62$  mg/m<sup>3</sup>). Aunque existe discrepancias en la variaciones de la DA entre suelos alterados y no alterados, sin embargo se ha demostrado en suelos de páramo que la DA y la porosidad asociada es resultado de la meteorización química en las primeras etapas del desarrollo del suelo y de los procesos de bioturbación del suelo por el cual la materia orgánica es redistribuida verticalmente por la fauna del suelo (Molina et al., 2019).

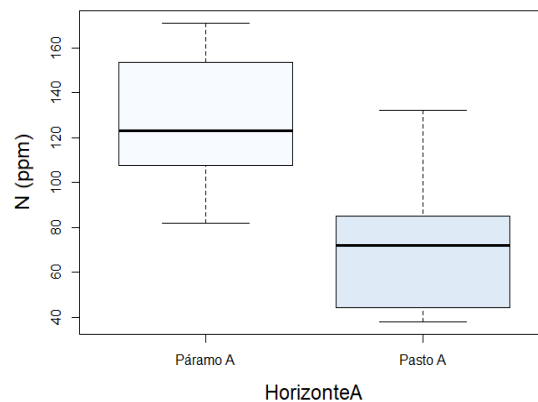
Cabe mencionar que las correlaciones más fuertes se dan especialmente entre parámetros hidrofísicos, donde resalta la relación de la Arcilla con la CHidr en el páramo ( $\rho = -1$ ) y en el pasto ( $\rho = -0.98$ ) (Anexo C y D); la explicación a esta situación podría radicar en que la presencia de arcilla ocasiona que el movimiento de agua a través de la matriz del suelo sea muy lenta (Cisneros et al., 2010), pues la conductividad hidráulica, relacionada al contenido de agua, describe la velocidad de movimiento de esta al interior del suelo (Llambí et al., 2012). Sin embargo, el contenido de arcilla en el suelo es menor a 10% para ambos usos de suelo lo que sugeriría que el contenido de arcilla tendría un efecto menor en la CHidr.

#### 4.2.2 Análisis por cobertura páramo y pasto en el Horizonte A

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los valores de parámetros químicos como hidrofísicos del Horizonte A, tanto del suelo inalterado (Páramo) como el alterado (Pasto). Tras el análisis de su normalidad ([Anexo E](#)), los valores de significancia obtenidos en la prueba ANOVA para la cobertura páramo y pasto del horizonte A se detallan en el [Anexo F](#). Finalmente, en los [anexos G, H](#), se presentan las correlaciones correspondientes a cada escenario.

Comparando los grupos de datos entre páramo y pasto se puede observar que existe una reducción estadísticamente significativa ( $p=0.0002$ ) ([Anexo E](#)) del N en un 43% en los suelos alterados frente a los inalterados ( $73.04\pm 30.60$  y  $128.23\pm 30.13$  ppm), como se aprecia en la Ilustración 11. Llambí et al. (2012), manifiestan que los suelos de páramo son ricos en nitrógeno (poco disponible para la vegetación), debido a la lenta descomposición de la materia orgánica; y que, actividades antrópicas como el arado y/o sobrepastoreo erosionan el suelo, disminuyendo el contenido de materia orgánica y por consiguiente de nitrógeno disponible, sumado al hecho de que a mayor contenido de materia orgánica habrá un pH más ácido.

Ilustración 11 Valores de nitrógeno en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

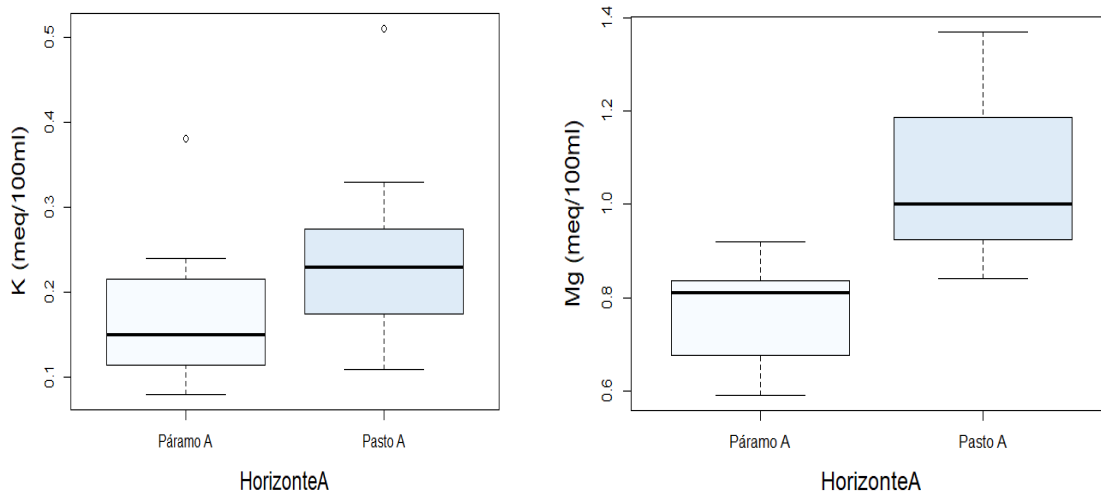
Al analizar entre tipos de vegetación, el contenido de N en el pasto sigue siendo el más bajo (73.04 ppm) en comparación al páramo.

Al contrario del N, el K y Mg presentan un aumento en el suelo intervenido en comparación al sin intervención, con un 29% ( $0.24\pm 0.11$  y  $0.17\pm 0.08$  meq/100ml) y 28% ( $1.06\pm 0.17$  y  $0.76\pm 0.11$  meq/100ml) respectivamente (Ilustración 12), sin embargo, solamente el Mg muestra diferencias

estadísticamente significativas ( $p=0.00005$ ). Este resultado podría deberse a la aplicación de fertilizantes en pasturas (por ejemplo el sulfato de potasio y magnesio) o por las excretas de los animales de pastoreo (Llambí et al., 2012); paralelamente, se explicaría la correlación muy fuerte entre el K y Mg en el pasto del horizonte A ( $\rho=0.85$ ).

Continuando con el análisis del K y Mg, Quichimbo et al. (2012), encontraron valores más altos de K en el pasto (0.29 meq/100ml) que en el suelo cubierto por pajonal (0.20 meq/100ml), valores en orden de magnitud similares al de este estudio (0.24 y 0.17 meq/100ml, respectivamente) (Tabla 5). De igual manera, estos mismo autores reportaron valores más altos de Mg en el suelo cubierto por pasto (0.85 meq/100ml) que en el pajonal (0.45 meq/100ml) o almohadillas (0.57 meq/100ml), lo que respalda los resultados de este estudio para el Mg en el pasto (1.06 meq/100ml) y páramo (0.76 meq/100ml), aunque con magnitudes mucho más altas.

Ilustración 12. Valores de potasio (izquierda) y magnesio (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.



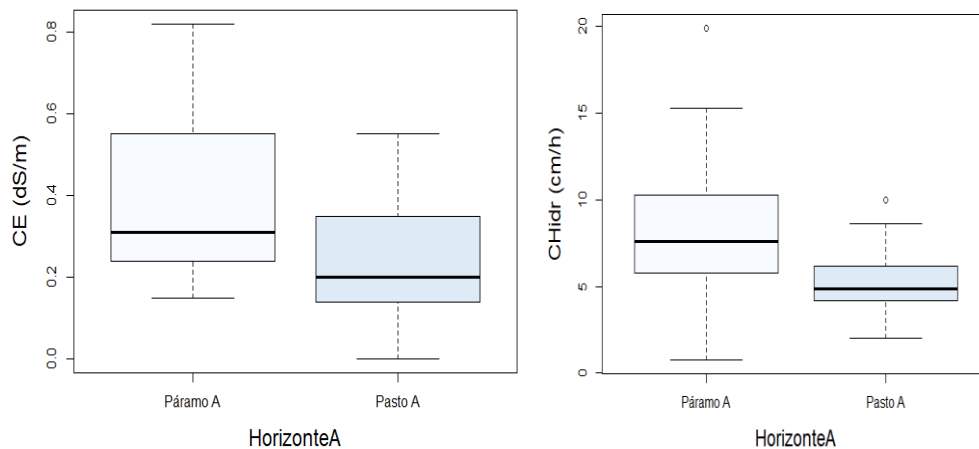
Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

Los resultados más notorios de los parámetros químicos corresponde con una reducción del 40% de la CE, en el pasto respecto al páramo, con medias en el páramo de 0.40 dS/m y en el pasto de 0.24 dS/m, como puede verse en la Ilustración 13. Este resultado difiere al reportado por Ramírez Matamoros & Cisneros Espinoza (2015), quienes estudiaron el efecto de la acción antrópica en las propiedades hidrofísicas y químicas de los suelos en el páramo, encontrando incrementos del 30 y 40% en la CE, en los sitios alterados (frente al testigo). Aunque estos valores son importantes, sin

embargo las diferencias no son estadísticamente significantes a un nivel de  $p < 0.05$ . A pesar de esto, es conveniente aclarar que este parámetro podría estar influenciado por el tipo de cobertura e incluso por el tipo de actividad antrópica realizada, respaldado por los resultados obtenidos por Quichimbo et al. (2012), quienes encontraron valores de CE en el páramo cubierto por almohadillas (0.73 dS/m) o pajonal (0.17 dS/m) y en páramo intervenido tras la quema de pajonal (0.22 dS/m) y páramo cubierto por pasto (0.29 dS/m).

Al igual que la CE, el parámetro hidrofísico CHidr (Ilustración 13) que presenta una reducción considerable, del 36% ( $5.46 \pm 2.28$  y  $8.53 \pm 5.15$  cm/h), en el pasto frente al páramo de pajonal; lo cual difiere a los resultados del estudio de Ramírez Matamoros & Cisneros Espinoza (2015), quienes indican un incremento de este parámetro en todos los sitios alterados.

*Ilustración 13. Valores de conductividad eléctrica (izquierda) y conductividad hidráulica (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.*

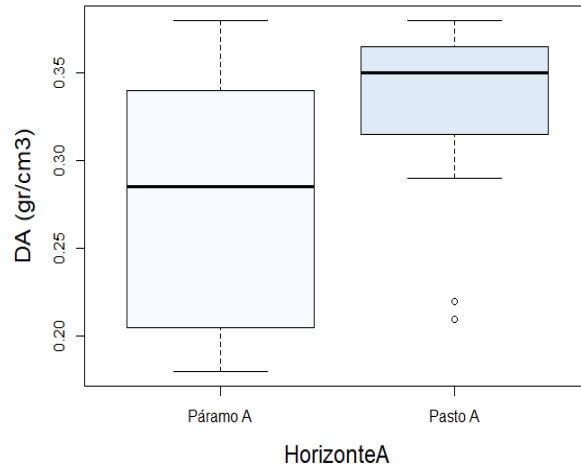


*Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021).*

Los resultados de la DA muestran un incremento del 15% en el pasto, respecto al páramo (ver Ilustración 14). Estos valores son inferiores a los valores reportados por Ramírez Matamoros & Cisneros Espinoza (2015), quienes encontraron un incremento en la DA en todos los sitios alterados respecto a los testigos, destacando valores del 48%, 44% y 27% en aquellos sitios con agricultura y ganadería intensiva. Sin embargo, el incremento de la DA en los suelos de pastos es notorio, resaltando que las actividades antrópicas como la ganadería han provocado la

compactación del suelo debido al intenso pisoteo de los animales que a su vez afectó las propiedades del suelo (Quichimbo et al. 2012).

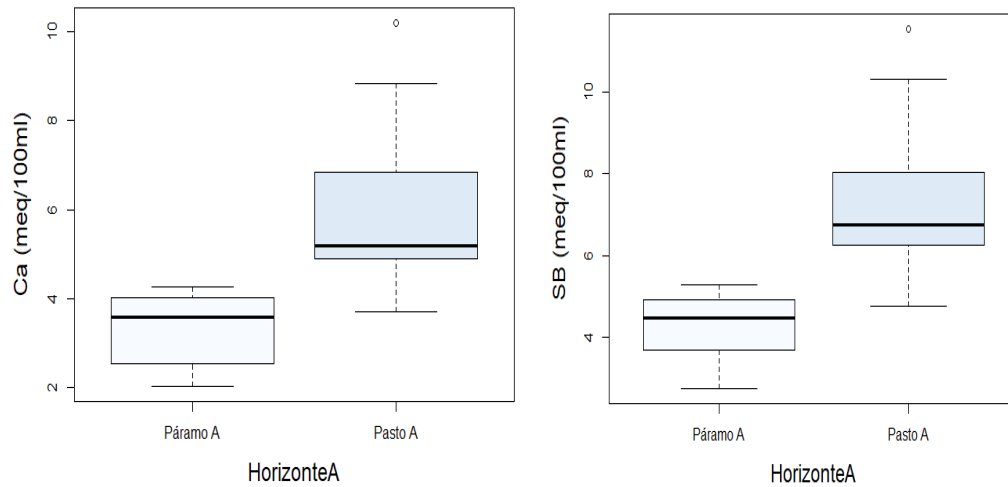
Ilustración 14. Valores de densidad aparente en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

Por otro lado, los cationes básicos como el Ca muestran un incremento del 44% ( $5.99 \pm 2.01$  y  $3.34 \pm 0.82$  meq/100ml; ( $p=0.0003$ ) en el pasto frente al páramo, así como un aumento del 41% ( $7.29 \pm 2.07$  y  $4.27 \pm 0.80$  meq/100ml) en la SB ( $p=0.0001$ ) (ver [Anexo Q](#)), esquematizados en la Ilustración 15, en los dos parámetros los valores de significancia indican diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) (ver Anexo P); esto es próximo a los resultados de Ramírez Matamoros & Cisneros Espinoza (2015), pues reportaron 50% más de Ca y SB, en ambos casos, en los sitios alterados, asociado a la incorporación de enmiendas y fertilizantes.

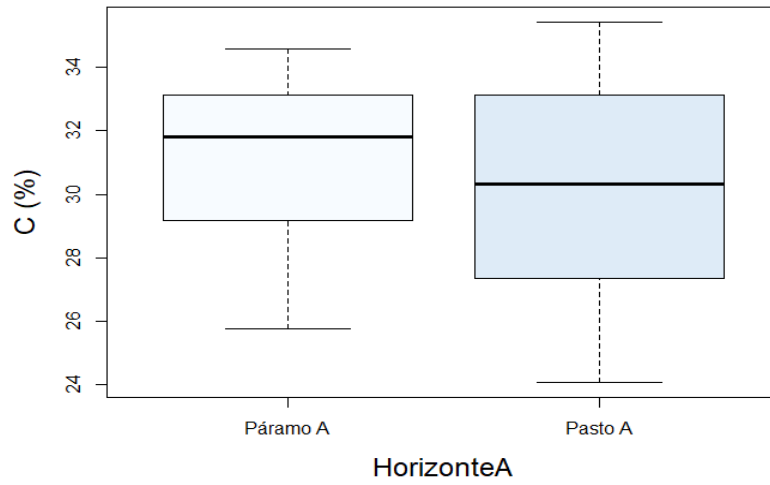
Ilustración 15. Valores de calcio (izquierda) y saturación de bases (derecha) en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

Los resultados del C mostraron una disminución mínima en el pasto comparado con el páramo, del 3% ( $30.15 \pm 3.82$  y  $30.98 \pm 2.78$  %) (ver Ilustración 16); este valor se respaldaría por estudios como el de Thompson et al. (2021), quienes sugieren que es mínima la diferencia de C entre pastizales y páramo; algo parecido a los hallazgos de Heitkamp et al. (2014), donde las reservas de carbono orgánico en el pasto fueron similares a los suelos inalterados. En ecosistemas de páramo se ha demostrado que la fuerte meteorización química del suelo ocurrida durante el desarrollo del suelo con diferentes vegetaciones a resultado en suelos ácidos y agotados en cationes básicos, y la formación de complejos orgánico-metálicos que inducen a la estabilización del carbono en el largo plazo (Molina et al., 2019). En este contexto, los resultados indican una fuerte acumulación del contenido del C para ambos tipos de uso, sugiriendo la importancia de los complejos orgánico-metálicos para estabilizar el carbono. Así también a los resultados de van Ypersele de Strihou (2019), quien reportó niveles similares de carbono orgánico en suelo no degradado frente al suelo de pastoreo ( $8,0 \pm 0,4\%$  y  $9,4 \pm 0,5\%$ ), en el horizonte superficial del suelo el páramo andino.

Ilustración 16. Valores de carbono en coberturas de Páramo y Pasto, Horizonte A.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)





Tabla 5. Información de los análisis físico, químico e hidrofísicos del horizonte A de las coberturas de suelo de Páramo y Pasto.

Los datos se proporcionan como promedios, mediana, mínima y máxima.

Parámetro	Estadística Paramo A						Estadística Pasto A					
	n	Media	Desvest	Mediana	Min	Max	n	Media	Desvest	Mediana	Min	Max
pH	12	4.53	0.18	4.50	4.20	4.80	11	4.71	0.19	4.70	4.40	5.10
C (%)	12	30.98	2.78	31.81	25.75	34.57	11	30.15	3.82	30.34	24.07	35.44
N (ppm)	12	128.23	30.13	123.00	81.80	171.00	11	73.04	30.60	72.20	38.00	132.00
P (ppm)	12	17.75	11.19	17.30	3.90	34.70	11	13.10	13.03	8.63	0.30	39.50
K (meq/100ml)	12	0.17	0.08	0.15	0.08	0.38	11	0.24	0.11	0.23	0.11	0.51
Ca (meq/100ml)	12	3.34	0.82	3.59	2.03	4.26	11	5.99	2.01	5.20	3.72	10.20
Mg (meq/100ml)	12	0.76	0.11	0.81	0.59	0.92	11	1.06	0.17	1.00	0.84	1.37
SB (meq/100ml)	12	4.27	0.80	4.48	2.75	5.28	11	7.29	2.07	6.74	4.76	11.54
CE (dS/m)	12	0.40	0.23	0.31	0.15	0.82	11	0.24	0.18	0.20	0.00	0.55
DA (gr/cm3)	12	0.28	0.07	0.29	0.18	0.38	11	0.33	0.06	0.35	0.21	0.38
CC (cm3/cm3)	12	0.14	0.03	0.14	0.09	0.21	11	0.15	0.02	0.15	0.12	0.19
AD (cm3/cm3)	12	0.07	0.01	0.07	0.06	0.08	11	0.08	0.00	0.08	0.07	0.09
Chidr (cm/h)	12	8.53	5.15	7.60	0.76	19.90	11	5.46	2.28	4.84	2.03	10.00
Arena (%)	12	88.42	6.27	90.00	74.00	97.00	11	84.55	4.87	85.00	72.00	92.00
Limo (%)	12	5.58	2.68	5.50	2.00	10.00	11	8.36	3.32	8.00	4.00	16.00
Arcilla (%)	12	6.00	4.61	5.00	1.00	19.00	11	7.09	2.30	7.00	4.00	12.00

C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)

Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)



#### 4.2.3 Análisis por cobertura páramo y pasto en el Horizonte C

Los resultados de la estadística descriptiva por cobertura en el Horizonte C, se presentan en la Tabla 6. Analizando dichos valores, se observaron variaciones más notorias para los parámetros químicos como el C con una reducción en el pasto respecto al páramo del 77% ( $3.13 \pm 1.62$  y  $13.81 \pm 26.34$  %). Esto podría deberse al hecho de que, como manifiestan Ayala et al. (2015), el suelo de páramo es un gran reservorio de carbono, donde la alteración ejercida por actividades antrópicas, que reducen la cobertura vegetal y deterioran el suelo, esto provoca que el carbono se descomponga y libere como dióxido de carbono.

En este horizonte, al igual que en horizonte A, se aprecia un incremento en el contenido de Ca, del 41% en el suelo alterado respecto al sin alteración ( $3.78 \pm 2.80$  y  $2.23 \pm 0.75$  meq/100ml), el que podría explicarse por la aplicación de enmiendas en el suelo, las que llegan incluso en las zonas más profundas a través de los procesos de lixiviación; por consiguiente, como se explicó en apartados anteriores, esto también se refleja en una SB incrementada en 32% en el pasto frente al páramo ( $4.81 \pm 3.03$  y  $3.25 \pm 1.03$  meq/100ml).

Se aprecia en el pasto, valores inferiores que en el páramo, se observa una disminución del P en 59% ( $7.23 \pm 8.48$  y  $2.94 \pm 2.86$  ppm) y del K en un 37% ( $0.19 \pm 0.08$  y  $0.30 \pm 0.50$  meq/100ml), en menor proporción, una reducción del 6% del N ( $35.16 \pm 11.66$  y  $32.97 \pm 14.47$  ppm), en el pasto respecto al páramo. Una explicación para este resultado radicaría en las diferentes necesidades de consumo de macronutrientes por parte de los pastos y el pajonal de páramo. Los macronutrientes (P, K y N) son elementos esenciales para las plantas y por lo tanto son consumidos para su crecimiento y procesos metabólicos, y luego reciclados en el suelo por descomposición de la materia orgánica, estos procesos bióticos hace que estos nutrientes se retengan y acumulen en las capas superficiales del suelo y por lo tanto las pérdidas de nutrientes en la solución del suelo por procesos de lixiviación es limitada. Aparentemente la vegetación de pasto es más eficientemente en consumir y retener los macronutrientes que la vegetación del pajonal. Otra explicación podría relacionarse a las actividades antrópicas que causan la erosión de las primeras capas del suelo, dando paso a que con mayor facilidad, los nutrientes que se encuentran en capas más profundas queden expuestos y disponibles (Llambí et al., 2012).

La CHdr muestra un incremento del 26% en el pasto frente al páramo ( $3.16 \pm 2.79$  y  $2.35 \pm 1.91$  cm/h), lo que indica que al interior del horizonte C, el agua se mueve con mayor velocidad. Estos



resultados son contradictorios pues las actividades antrópicas tienden a disminuir la CHidr por la formación de agregados que repelen el agua e incrementan la escorrentía, por lo que la velocidad de movimiento del agua al interior del horizonte estaría disminuida (Llambí et al., 2012), esto es particularmente importante en los horizontes superficiales (<40 cm) que están sometidos a pisoteo del ganado y/o prácticas de agricultura. Sin embargo en horizontes más profundos otros factores controlan la CHidr como la presencia de raíces los cuales podrían crear macroporos que aumentarían la percolación del agua. Los resultados obtenidos sugieren que las raíces en suelos cubiertos por pastos son más profundos que en los suelos cubiertos por páramo, como consecuencia una mayor porosidad y una mayor infiltración. Otra explicación plausible estaría dada por la estructura y textura de las zonas muestreadas que pueden incrementar la velocidad de infiltración en horizontes minerales (Cisneros et al., 2010).



Tabla 6. Información de los análisis físico, químico e hidrofísicos del horizonte C de las coberturas de Páramo y Pasto.

Los datos se proporcionan como promedios, mediana, mínima y máxima.

Parámetro	Páramo C						Pasto C					
	n	Media	Desvest	Mediana	Min	Max	n	Media	Desvest	Mediana	Min	Max
pH	8	4.65	0.20	4.65	4.30	4.90	7	4.90	0.40	4.90	4.40	5.70
C (%)	8	13.81	26.34	4.99	1.94	78.89	7	3.13	1.62	2.38	1.50	6.38
N (ppm)	8	35.16	11.66	34.60	21.70	48.60	7	32.97	14.47	30.60	12.10	51.40
P (ppm)	8	7.23	8.48	4.80	0.30	26.20	7	2.94	2.86	2.10	0.30	7.73
K (meq/100ml)	8	0.30	0.50	0.12	0.08	1.53	7	0.19	0.08	0.17	0.12	0.36
Ca (meq/100ml)	8	2.23	0.75	1.96	1.55	3.85	7	3.78	2.80	2.44	1.65	8.81
Mg (meq/100ml)	8	0.72	0.27	0.64	0.54	1.36	7	0.85	0.29	0.66	0.54	1.20
SB (meq/100ml)	8	3.25	1.03	3.07	2.24	5.37	7	4.81	3.03	3.22	2.53	10.15
CE (dS/m)	8	0.03	0.02	0.02	0.01	0.08	7	0.02	0.02	0.03	0.00	0.04
DA (gr/cm <sup>3</sup> )	8	1.15	0.18	1.15	0.79	1.35	7	0.91	0.41	1.02	0.17	1.32
CC (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	8	0.19	0.03	0.18	0.14	0.24	7	0.20	0.07	0.18	0.14	0.33
AD (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	8	0.09	0.01	0.09	0.08	0.11	7	0.10	0.02	0.09	0.08	0.13
Chidr (cm/h)	8	2.35	1.91	2.17	0.66	6.22	7	3.16	2.79	2.07	0.25	7.29
Arena (%)	8	73.25	10.04	76.00	57.00	87.00	7	69.86	18.26	77.00	34.00	86.00
Limo (%)	8	13.00	5.10	14.00	7.00	22.00	7	15.71	8.14	18.00	6.00	30.00
Arcilla (%)	8	13.75	5.87	12.00	6.00	21.00	7	14.43	10.97	12.00	5.00	36.00



*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*

*Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)*



En el horizonte C del páramo y pasto, la variación del contenido de arcilla es mínima, con valores medios de 13.75% y 14.43%, respectivamente. Estos valores, son mucho más altos que los reportados en el horizonte A (6.00% y 7.09%), lo que podría explicarse por el hecho de que el horizonte C del páramo se caracteriza por su riqueza de minerales, dominado por la arcilla (García et al., 2020).

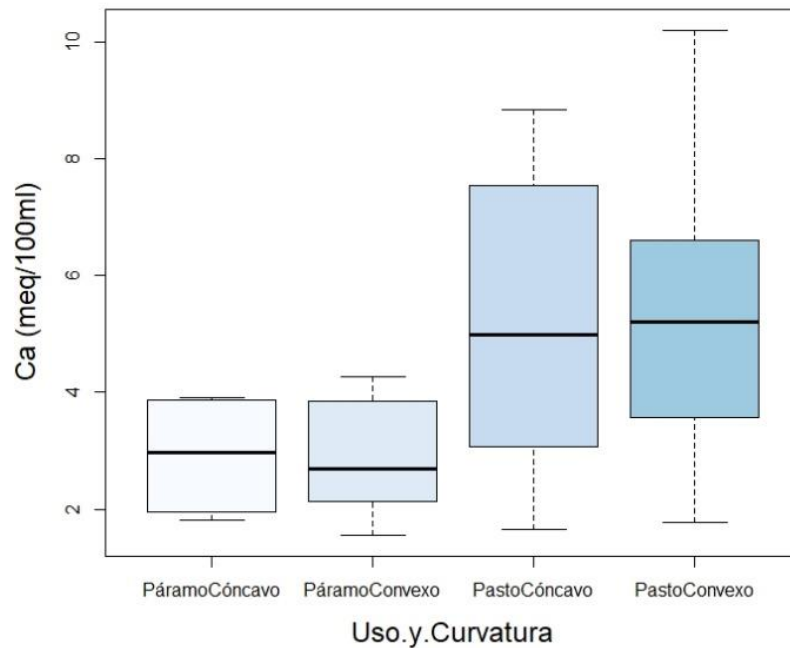
Algo similar sucede con la CC, con una media de  $0.19 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  en el páramo y  $0.20 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  en el pasto; mayores que los reportados en el horizonte A ( $0.14 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  y  $0.15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  respectivamente). A pesar de que no existe gran diferencia entre los valores de la CC en el horizonte C, el contenido total de agua disponible podría brindar una noción más aproximada de esta situación pues Vinken (2020), reporta que, debido al cambio de uso de suelo, el contenido total de agua disponible es menor en el páramo intervenido (suelo bajo cultivo) que en el páramo sin intervención. Por otro lado, la CC más alta en el horizonte C podría explicarse por el mayor contenido de arcillas, al hacer que el paso de agua sea más lento (Cisneros et al., 2010). Otro factor que podría influir en el aumento de la CC en el horizonte C con respecto al horizonte A se relaciona con el nivel freático. Un aumento en el nivel freático podría modificar el contenido de la humedad del suelo debido a aportes del flujo subsuperficial y/o aguas subterráneas, desafortunadamente en este estudio no se dispuso de datos de este parámetro pero en futuras investigaciones se deberá de incluir en los análisis.

#### **4.2.4 Análisis por cobertura y curvatura: páramo cóncavo, pasto cóncavo, páramo convexo y pasto convexo**

Los resultados, clasificados por grupo de datos de acuerdo a la cobertura vegetal (páramo y pasto) y curvatura (cóncavo y convexo), se presentan en la Tabla 7. Para la clasificación en función de las variables de cobertura vegetal y la curvatura de la microcuenca se realizó la prueba paramétrica de ANOVA de un factor, como se presenta en el Anexo K. Luego de aplicar Pearson, las correlaciones correspondientes a cada escenario se detallan en los anexos L, M, N, O. Los análisis muestran correlaciones muy fuertes con el páramo cóncavo, a diferencia de los grupos restantes. Es importante considerar que la literatura consultada se centra en el análisis del contenido de carbono en el suelo de páramo clasificado en la convexidad y concavidad, lo que se detallará más adelante, dejando de lado los otros parámetros.

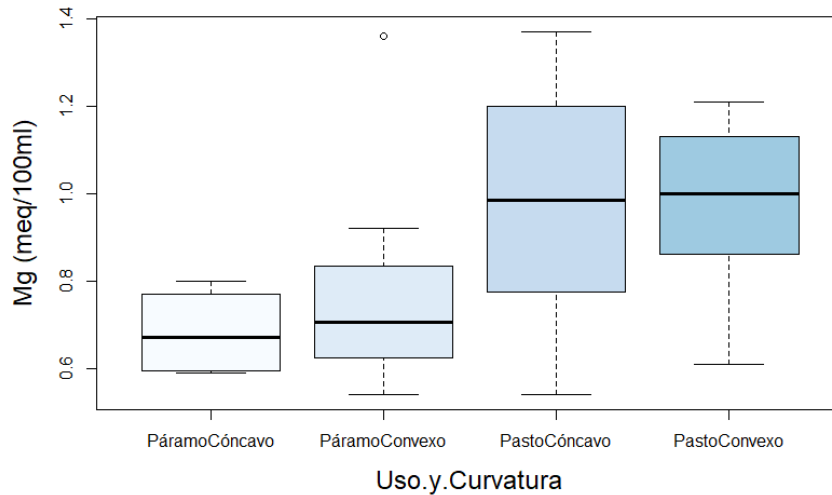
El Ca ( $p=0.0072$ ;  $5.06 \pm 2.85$  y  $5.17 \pm 2.45$  meq/100ml) y el Mg ( $p= 0.0163$ ;  $0.98 \pm 0.3$  y  $0.97 \pm 0.21$  meq/100ml), Ilustración 177 e Ilustración 18, respectivamente, son los únicos parámetros, de todos los analizados, que presentan diferencias estadísticamente significativas, entre las coberturas y curvaturas, pues los valores de estos dos parámetros se incrementan en el pasto cóncavo y convexo. Por un lado, el Mg presenta un aumento del 31% en el Pasto Cóncavo, donde existe una disponibilidad media de 0.98 meq/100ml, respecto al Páramo Cóncavo con 0.68 meq/100ml. Por otro lado, el Ca se incrementa en un 44% al pasar de Páramo Convexo a Pasto Convexo, con valores promedio de 2.89 meq/100ml y 5.17 meq/100ml (Tabla 6), respectivamente. La SB también se incrementa en el pasto, 35% en el cóncavo ( $4.09 \pm 0.84$  y  $6.3 \pm 3.08$  meq/100ml) y 40% en el convexo ( $3.8 \pm 1.07$  y  $6.34 \pm 2.59$  meq/100ml), pues se encuentra vinculada a estos dos micronutrientes, corroborado por los valores que indican una correlación positiva muy fuerte con el Ca ( $\rho \geq 0.70$ ), en todos los escenarios, y fuerte con el Mg ( $\rho=0.40-0.69$ ), excepto en el páramo cóncavo donde no se aprecia correlación entre ambos parámetros; esta correlación se explicaría por el hecho de que en la SB se deriva de las mediciones de los cationes Ca y Mg (Llambí et al., 2012).

Ilustración 17. Valores de Calcio clasificados en función de cobertura y curvatura de suelo



.Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

Ilustración 18. Valores de Magnesio clasificados en función de cobertura y curvatura de suelo

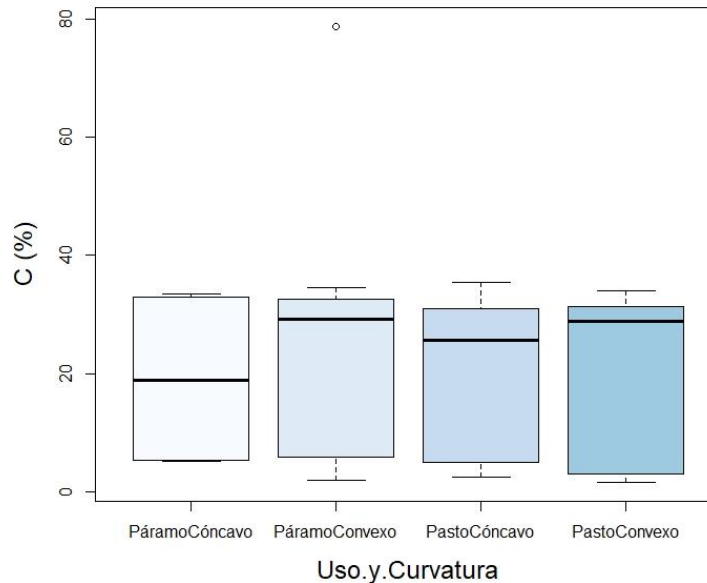


.Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

A pesar de que no existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de C ( $p=0.792$ ) (Anexo F), se observa que en el páramo convexo el porcentaje medio es de 25.38%, este valor es levemente superior en comparación a los otros escenarios. En la Ilustración 19, se esquematizan los valores de C de acuerdo a cada grupo. Una investigación reciente de Contreras Arévalo & Fernández Zhinín (2021), estudiaron el almacenamiento de carbono orgánico en los ecosistemas de páramo, reportando valores medios de 31.06 kg/m<sup>2</sup> y 35.16 kg/m<sup>2</sup> en el páramo cóncavo y convexo, respectivamente; es decir, que el almacenamiento de carbono orgánico medio es mayor en el páramo convexo, este patrón es relativamente similar a lo observado en este estudio con el valor del contenido del C.



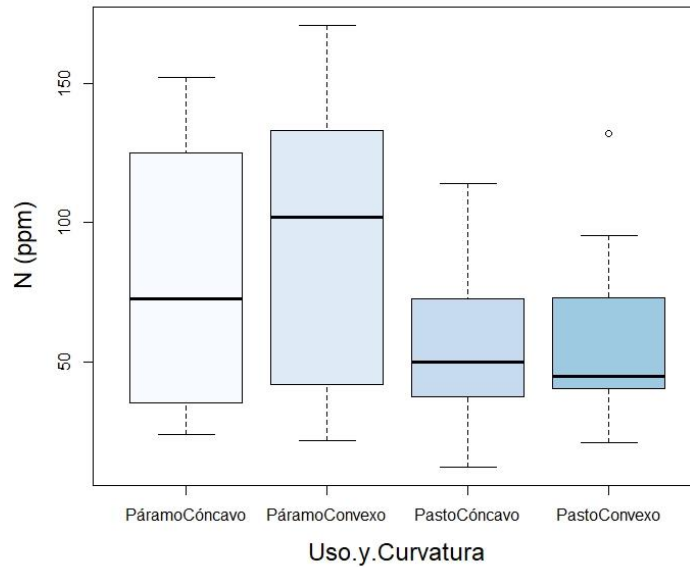
Ilustración 19. Carbono en función de la cobertura y curvatura de suelo.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

En el páramo convexo se encontró una mayor disponibilidad de N con un valor medio de 93.69 ppm, en comparación al pasto cóncavo, con 56.74 ppm, el que presenta el valor más bajo (ver Ilustración 20); sin embargo, no existen diferencias estadísticamente significativas ( $p=0.132$ ) entre los usos y curvaturas de dicho parámetro. Este parámetro se correlaciona con el P en el pasto, de manera fuerte ( $\rho=0.68$ ) en el pasto convexo y muy fuerte ( $\rho=0.91$ ) en el pasto cóncavo; mientras guarda una correlación negativa muy fuerte con el parámetro DA en el páramo convexo ( $\rho=-0.83$ ) y cóncavo ( $\rho=-0.91$ ). Por otro lado, en este estudio el P presenta una reducción de su contenido equivalente al 26% en el pasto cóncavo y 38% en el pasto convexo, sin embargo las diferencias no son estadísticamente relevantes ( $p=0.652$ ). Otero et al. (2011), encontraron una relación directa entre las actividades antrópicas en el páramo, pastos y cultivo de papa, con la pérdida de suelo y de nutrientes, N y P; lo cual podría sugerir que los mismos procesos podrían estar influenciando en la reducción de N y P, reportada en este trabajo, en el pasto.

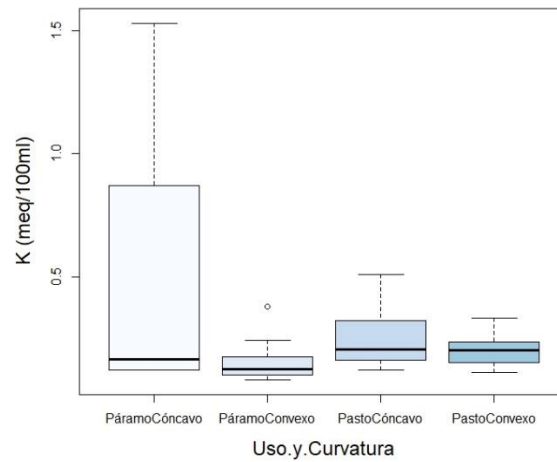
Ilustración 20. Nitrógeno en función de la cobertura y curvatura en el páramo y pasto.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

El K se reduce un 48% en el pasto cóncavo ( $0.26 \pm 0.14$  y  $0.5 \pm 0.69$  meq/100ml), pero se incrementa en un 25% en el pasto convexo ( $0.15 \pm 0.08$  y  $0.2 \pm 0.06$  meq/100ml), respecto a su contraparte de páramo, como se aprecia en la Ilustración 21. A pesar de lo mencionado, no se considera que las diferencias en el contenido de K ( $p=0.0624$ ) (Anexo G) sean estadísticamente significativas.

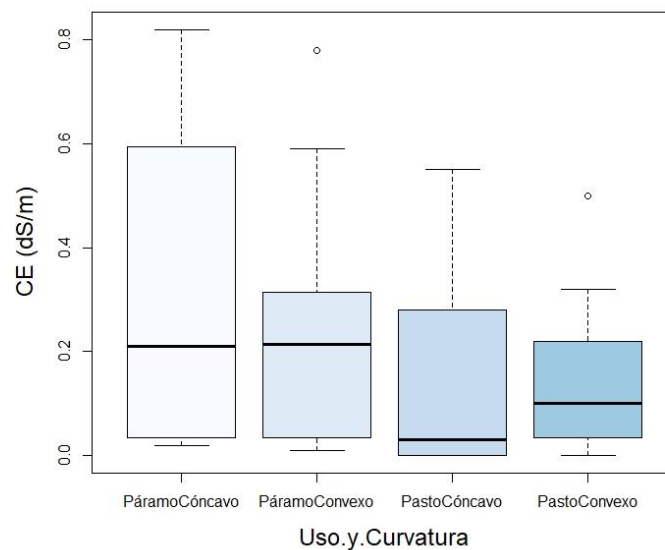
Ilustración 21. Potasio en función de la cobertura y curvatura de suelo.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)

La CE es otro parámetro con una reducción considerable, en un 40%, teniendo un máximo de 0.32 (dS/m) en el Páramo Cóncavo y un mínimo de 0.15 (dS/m) en el Pasto Convexo (Ilustración 22), a pesar de lo cual su significancia estadística cumple con  $p > 0.05$ .

Ilustración 22. Conductividad Eléctrica en función de la cobertura y curvatura de suelo.



Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)



Tabla 7. Información de los análisis físico, químico e hidrofísicos clasificada por curvatura y coberturas de suelo.

Los datos se proporcionan como promedios, mediana, mínima y máxima.

Parámetro	Páramo Cóncavo				Páramo Convexo				Pasto Cóncavo				Pasto Convexo			
	n	Media	Desvest	Mediana	n	Media	Desvest	Mediana	n	Media	Desvest	Mediana	n	Media	Desvest	Mediana
pH	4	4.58	0.10	4.55	16	4.58	0.21	4.60	7	4.81	0.47	4.60	11	4.76	0.13	4.80
C (%)	4	19.05	15.98	18.78	16	25.38	19.08	29.18	7	18.94	14.38	25.41	11	20.09	14.28	28.83
N (ppm)	4	80.25	57.00	72.55	16	93.69	53.03	101.95	7	56.74	33.27	51.40	11	57.91	32.93	44.70
P (ppm)	4	14.10	12.68	14.83	16	13.40	11.33	9.31	7	10.37	13.94	7.73	11	8.37	10.03	4.40
K (meq/100ml)	4	0.50	0.69	0.16	16	0.15	0.08	0.12	7	0.26	0.14	0.23	11	0.20	0.06	0.20
Ca (meq/100ml)	4	2.91	1.11	2.96	16	2.89	0.95	2.70	7	5.06	2.85	4.86	11	5.17	2.45	5.20
Mg (meq/100ml)	4	0.68	0.10	0.67	16	0.76	0.20	0.70	7	0.98	0.30	1.00	11	0.97	0.21	1.00
SB (meq/100ml)	4	4.09	0.84	4.28	16	3.80	1.07	3.70	7	6.30	3.08	6.39	11	6.34	2.59	6.45
CE (dS/m)	4	0.32	0.37	0.21	16	0.24	0.23	0.22	7	0.17	0.22	0.04	11	0.15	0.16	0.10
DA (gr/cm3)	4	0.74	0.57	0.72	16	0.60	0.44	0.36	7	0.60	0.39	0.38	11	0.52	0.39	0.35
CC (cm3/cm3)	4	0.16	0.03	0.16	16	0.16	0.05	0.14	7	0.16	0.02	0.15	11	0.18	0.06	0.16
AD (cm3/cm3)	4	0.08	0.01	0.08	16	0.08	0.01	0.08	7	0.08	0.01	0.08	11	0.09	0.02	0.08
Chidr (cm/h)	4	5.23	3.70	4.70	16	6.26	5.51	5.82	7	4.60	1.83	4.34	11	4.54	3.18	4.18
Arena (%)	4	83.00	7.39	82.00	16	82.19	11.77	86.50	7	82.29	7.36	85.00	11	76.64	16.43	84.00
Limo (%)	4	8.75	4.57	8.00	16	8.50	5.55	7.00	7	9.57	4.69	9.00	11	12.27	7.59	10.00
Arcilla (%)	4	8.25	4.35	7.50	16	9.31	6.85	6.50	7	8.14	3.24	8.00	11	11.09	9.51	8.00



*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases), CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*

*Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)*



### 4.3. Directrices para la toma de decisiones de manejo en la microcuenca

#### 4.3.1 Diagrama de redes:

Tabla 8. Diagrama de redes

Impacto Primario	Impacto Secundario	Impacto terciario
1) Variación de parámetros físico-químicos por el cambio de uso de suelo.	1.1) Aumento de pH en la cobertura de pasto.	1.1.1) Limitación de cultivo de especies vegetales.
	1.2) Disminución de N por el cambio de uso de suelo.	
	1.3) Aumento de la Saturación de Bases.	1.3.1) Mayor fertilidad del suelo.
	1.4) Mayor disponibilidad de agua en Pasto.	1.4.1) Menor tiempo de capacidad de retención de agua.
2) Alteración visual del entorno.	2.1) Introducción de pastizales dentro de un ecosistema de páramo.	2.1.1) Mayor materia orgánica visible en las áreas de pasto.
		2.1.2) Presencia de ganado vacuno.
3) Alteración de la biota.	3.1) Introducción de animales domésticos.	3.1.1) Disminución de animales endémicos.
		3.1.2) Se visualiza áreas con ausencia de pasto por la intervención de actividad ganadera.

Elaborado por: Méndez J, Merchan D. (2021)



De acuerdo a los resultados y análisis de los parámetros fisicoquímicos una valoración cualitativa se ha determinado los impactos mas significativos dentro de la microcuenca de Soroche, los mismos, se detallan a continuación teniendo referencias para la mitigación o tratamiento de dichos impactos.

- **Exceso en la fertilidad del suelo:** Como se evidenció en los resultados estadísticos y se sintetizó en el diagrama de redes, la fertilidad de los suelos desempeña un papel clave en el estado de nutrientes. El aporte de fertilizantes compuestos principalmente por el Ca y Mg ocasionan un mejor rendimiento en los cultivos, sin embargo las cantidades excesivas aplicadas en los suelos han causado un aumento importante en los suelos alterados como los pastos. Esta actividad agrícola podría tener efectos adversos en la calidad del agua en la solución del suelo que luego por percolación llegan a las aguas superficiales de los ríos. Para contrarrestar el exceso de Ca y Mg y otros elementos que constituyen los fertilizantes, es recomendable realizar estudios de fertilidad de los suelos a través de análisis químicos, de esta manera se podrá regular la aplicación de fertilizantes de acuerdo a las necesidades de los cultivos y plantas.

- **Manejo de pastos y sobrepastoreo de animales:** En conversaciones iniciales con el propietario del predio, indicó que al realizar la compra de la propiedad, el uso de suelo se encontraba con pasto, lo que conlleva a aprovechar dichas condiciones introduciendo ganado vacuno, el mismo genera varios impactos en el suelo, particularmente en los horizontes superficiales que varían desde una mayor compactación por el peso del ganado, mayor densidad aparente y menor porosidad, así como, sus excretas que influyen en las propiedades químicas, también es necesario indicar que estos impactos se agravan al generarse una mayor erosión del suelo.

Un suelo de páramo compactado pierde su capacidad para almacenar agua, llevando a tener problemas para regularla perdiendo así un gran servicio ecosistémico clave. Adicionalmente se observó que las condiciones de humedad y suelos con alta carga orgánica dan características de fango que dificulta al ganado su movilización, por ende, provoca una mayor dureza en sus tejidos musculares, obteniendo carne de mala calidad.



Se recomienda el retiro gradual del ganado para mitigar los procesos de compactación y erosión del suelo, así como evitar que sus excretas influyan en los valores de carbono del suelo y nutrientes. En el caso de tener la necesidad de la conservación del ganado se sugiere colocar barreras que limiten el acceso del ganado a zonas no intervenidas de páramo, una de las mejores opciones es la creación de barreras naturales con especies endémicas (Camacho, 2014).

- **Perdida de capacidad de retención de agua:** al cambiar las propiedades hidrofísicas de los suelos, por efectos de la ganadería o cultivos, estas provocan variaciones en la retención y disponibilidad de agua, debido a que los suelos de páramo pierden sus características de almacenamiento como la capacidad de regular los flujos de agua a sus afluentes de agua superficiales, se recomienda aplicar medidas para la recuperación de las condiciones iniciales de páramo en los suelos.

Las medidas propuestas previamente como el retiro del ganado, evitar el uso de fertilizantes, y creación de barreras naturales, ayudarán a recuperar las condiciones y valores iniciales de los parámetros hidrofísicos y químicos. No obstante, también ayudarán a prevenir futuros impactos, en especial la erosión del suelo.

- **Reducir la acidez del suelo:** el suelo del páramo se caracteriza por tener un pH ácido (<5) y un exceso de Al, siendo la acidez del suelo uno de los principales limitantes para la agricultura en el sector, por esta razón se busca incrementar sus valores hasta que sean los adecuados para el desarrollo de cultivos y se disminuya la toxicidad del Al, gracias a la elevada capacidad buffer del páramo este no se ve alterado, sin embargo, al superar dicha capacidad el pH se alterará, al igual que otros procesos químicos que se ven afectados descomponiéndose la materia orgánica presente y dando paso a que otras especies vegetales colonicen el páramo.

Se recomienda evitar el uso de fertilizantes y/o el abuso de ellos, limitar las zonas dedicadas al pastoreo, para prevenir expandir la frontera agrícola con el cultivo de pasto y conservar el ecosistema de páramo. Al usar cal para mitigar la acidez del suelo, hacerlo con el cálculo de una dosis efectiva sin que afecte las propiedades asociadas a su uso.





## Capítulo V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

Los efectos del cambio de uso de suelo en la microcuenca del Soroche se ven reflejados en las propiedades químicas. En todos los escenarios analizados, el Ca y Mg se encuentran incrementados en el pasto, presentando diferencias estadísticamente significativas. Por un lado, el Mg está incrementado en un 24% en el páramo-pasto, 28% en el horizonte A, 15% en el horizonte C y 31% en el análisis por cobertura y curvatura; mientras que en todos los escenarios (horizonte y cobertura) el Ca presenta un aumento del 44%, excepto en el horizonte C con 41%. Estos valores resaltan el uso excesivo de enmiendas en el suelo. De los parámetros hidrofísicos evaluados, únicamente la DA en el horizonte A es de relevancia estadística, incrementándose en un 13% en el pasto.

Se encontró que existe un impacto directo en la SB, la misma que aumentó en el pasto del 35 al 40% en función de la curvatura, de igual manera, se observa un patrón similar, en el Ca y en Mg, teniendo en cuenta que son elementos que se encuentran directamente relacionados a la SB, Al obtener estos resultados se concluye que existirá una mayor disponibilidad de nutrientes catiónicos en los suelos con pasto, lo que lo hace más óptimos para el crecimiento para los cultivos. Sin embargo, estas condiciones de manejo de la fertilidad de los suelos volviéndolos óptimos para el pastoreo y cultivo, están afectando a ciertos servicios ecosistémicos claves como el almacenamiento de carbono y agua provocadas por el intenso uso del suelo.

Al clasificar los datos obtenidos para el análisis se observa una tendencia similar en diversos parámetros siendo los que más se repiten SB, Ca, Mg y N. No obstante al clasificar en términos más comparativos en función de cobertura, curvatura y horizonte, se puede concluir estadísticamente que existen parámetros que tienen una diferencia significativa como el pH y AD. En esta ocasión al incluir el horizonte como variable, se disminuye el rango de los valores de los parámetros, sin embargo, se reduce el número de muestras por grupo.

La CE es uno de los parámetros que se observa una variación significativa de un 40% entre los valores inferiores y superiores, al momento de clasificar los datos en función de curvatura y cobertura, sin embargo, esta variable al momento de realizar la prueba de análisis de varianza muestra una hipótesis negativa con un  $p=0.494$ .



La actividades agrícolas, particularmente la ganadería intensiva generan problemas a largo plazo, por lo que es necesario tomar medidas de conservación de la microcuenca, siendo lo ideal recuperar las condiciones del suelo páramo para mejorar las condiciones de recarga hídrica.

**Recomendaciones:**

Se recomienda continuar con los estudios en la microcuenca, esto ayudara a detallar puntualmente los parámetros y actividades que generan repercusiones en el área de estudio. Se debería complementar con estudios meteorológicos e hidrológicos para reforzar la información recolectada dentro del proyecto PARAMOSUS. Esto conlleva a que se tomen medidas correctivas para un manejo adecuado de la microcuenca del Soroche y a su vez esto puede repercutir en mejoras para la Cuenca del Río Machangara, tanto en la calidad como en la disponibilidad del recurso hidrico.

Durante el proyecto se implementaron estaciones de monitoreo de precipitación y caudal, se aconseja llevar un estudio temporal de la microcuenca para observar el comportamiento de las propiedades ya sea del agua o del suelo en un tiempo determinado, obteniendo información referente a los temporales con mayor caudal asi como las época de sequía, teniendo en cuenta la calidad del agua. Con toda esta información y complementada con estudios ya realizados dentro de la microcuenca del Soroche, se podrá tomar medias para un manejo sustentable.

Se recomienda eliminar el pastoreo, para ejecutar esta actividad es necesario la restauración de las propiedades químicas, hidrofísicas y estéticas del suelo, como se presentó en el estudio, esto ayudara a recuperar las condiciones iniciales del suelo. Adicionalmente al implementar drenajes en el suelo, conlleva a que disminuya la regulación hídrica del ecosistema, esto altera posteriormente al caudal de los afluentes en la microcuenca.



## 6. Bibliografía

- Akhtar, K., Wang, W., Ren, G., Khan, A., Feng, Y., Yang, G., & Wang, H. (2019). Integrated use of straw mulch with nitrogen fertilizer improves soil functionality and soybean production. *Environment International*, 132, 105092. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105092>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. FAO.
- Ayala, L., Villa, M., Aguirre, Z., & Aguirre, N. (2015). Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 4, 45-52.
- Badii, M., Landeros, J., & Cerna, E. (2007). Papel de los Ecosistemas en la Sustentabilidad. *CULCyT Ecología*, 21(4), 19-28.
- Bakieva, M., Gonzales, J., & Jornet, J. (2015). SPSS: ANOVA de un factor. *Gestión y análisis de datos con SPSS*, 1-7.
- Balslev, H., & Luteyn, J. (1992). Paramo: An Andean ecosystem under human influence. *Paramo: an Andean ecosystem under human influence*.
- Balthazar, V., Vanacker, V., Molina, A., & Lambin, E. (2015). Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains. *Ecological Indicators*, 48, 63-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.043>
- Barrantes, G., Chaves, H., & Vinueza, M. (2016). *El bosque en el Ecuador*. 22.
- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Andina Guevara, D., Sanzano, A., Sosa, F., & Fernández de Ullivari, J. (2019). El nitrógeno del suelo. *Edafología.Org*, 1-11.
- Bhattacharyya, T. (2016). *The Soil: A Natural Resource*. November 2015.
- Blanco, H., & Lal, R. (2010). Principles of soil conservation and management. En *Principles of Soil Conservation and Management*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8709-7>



- Bonnesoeur, V., Locatelli, B., Guariguata, M., Ochoa-Tocachi, B., Vanacker, V., Mao, Z., Stokes, A., & Mathez-Stiefel, S. (2019). Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *Forest Ecology and Management*, 433(June 2018), 569-584.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.033>
- Borja, C., Cuenca, K., Luziriaga, M., Villacís, F., & Chávez, C. (2013). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- Borja, P., Iñiguez, V., Crespo, P., Cisneros, P., & Cisneros, F. (2008). Características Físico-Químicas De Histosoles y Andosoles de los Páramos de Quimsacocha, Ecuador. *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, January 2015*, 12.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2003). *Hidrología del Páramo Andino: Propiedades, Importancia y Vulnerabilidad*. Soil and Water.  
<https://doi.org/paramo.cc.ic.ac.uk/pubs/ES/Hidroparamo2.pdf>
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Buytaert, W., & De Bievre, B. (2012). Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*, 48(8), 1-13. <https://doi.org/10.1029/2011WR011755>
- Buytaert, W., De Bievre, B., Deckers, J., Dercon, G., Govers, G., & Poesen, J. (2002). Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. *Soil Use and Management*, 2, 94-100.  
<https://doi.org/10.1079/sum2001107>



- Buytaert, W., Iñiguez, V., & Bièvre, B. De. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251(1-2), 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.035>
- Buytaert, W., Sevink, J., De Leeuw, B., & Deckers, J. (2005). Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian páramo region. *Geoderma*, 127(1-2), 114-129. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.11.021>
- Buytaert, W., Vuille, M., Dewulf, A., Urrutia, R., Karmalkar, A., & Célleri, R. (2010). Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: Implications for water resources management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(7), 1247-1258. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1247-2010>
- Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., & Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 168-181. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>
- Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: Caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, 1(372), 77-92. <https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241>
- Carrillo-Rojas, G., Silva, B., Rollenbeck, R., Célleri, R., & Bendix, J. (2019). The breathing of the Andean highlands: Net ecosystem exchange and evapotranspiration over the páramo of southern Ecuador. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265, 30-47. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.006>
- Castañeda, A., & Montes, C. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210-221. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112>
- Célleri, R., & Feyen, J. (2009). The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge Status, and Perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350-355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>



- Chaves, R., Salazar, D., Orejuela, D., Cuichán, M., Suárez, M., & Villafuerte, W. (2012). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2012 Dirección. *Inec*.
- Cisneros, P., Cajamarca, J., & Pacheco, E. (2010). Estudios para establecer la línea base de suelos inalterados en el páramo de Quimsacocha. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, 17-19.
- Conant, R., Ryan, M., Ågren, G., Birge, H., Davidson, E., Eliasson, P., Evans, S., Frey, S., Giardina, C., Hopkins, F., Hyvönen, R., Kirschbaum, M., Lavallee, J., Leifeld, J., Parton, W., Megan, J., Wallenstein, M., Martin, J., & Bradford, M. (2011). Temperature and soil organic matter decomposition rates—Synthesis of current knowledge and a way forward. *Global Change Biology*, 17(11), 3392-3404.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02496.x>
- Contreras Arévalo, T. A., & Fernández Zhinín, R. F. (2021). *Análisis de la variabilidad espacial en el desarrollo del suelo y su relación con el almacenamiento de carbono en una microcuenca en el sur del Ecuador: Interacción de la cobertura vegetal y topografía*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35693>
- CORPEI. (2007). *Planificación Estratégica Bosques Nativos en el Ecuador*.
- Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Feyen, J., Iñiguez, V., Borja, P., & De Bievre, B. (2010). Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems. *IAHS-AISH Publication*, 336, 71-76.
- Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Ochoa, B., Cárdenas, I., Iñiguez, V., Borja, P., & De Bièvre, B. (2014). Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. *Avances en investigación para la conservación de los páramos Andinos, CONDESAN, August*, 287-304.
- Cuatrecasas, J. (1958). Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Parte II. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(Suplemento), 181. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.599>



- Díaz-Granados, M., Navarrete, J., & Suárez, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes*, 22(22), 64-75.  
[https://doi.org/cielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-49932005000200008](https://doi.org/cielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932005000200008)
- Duche Guamán, V. B., & Llugsa Paredes, M. E. (2020). *Estimación de carbono orgánico total en el suelo y biomasa del páramo andino de Yasipan y Atillo*.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13956>
- Estupiñán, L. H., Gómez, J. E., Barrantes, V. J., & Limas, L. F. (2009). EFECTO DE ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN EL PÁRAMO EL GRANIZO, (CUNDINAMARCA - COLOMBIA). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(2), 79-89.
- Eyherabide, M., Rozas, H. S., & Barbieri, P. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *researchgate*, 1, 13.
- FAO. (2001). Soil carbon sequestration for improved land management. En *World Soil Resources Reports*.
- FAO. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos*, 103, 117.
- FAO. (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo* (Vol. 03).
- FAO. (2010). Evaluación recursos forestales mundiales. En *Fao*.
- FAO. (2019). *Definiciones | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- Farley, K. A., Bremer, L. L., Harden, C. P., & Hartsig, J. (2013). Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: Implications for payment for ecosystem services. *Conservation Letters*, 6(1), 21-27.  
<https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00267.x>



Flores, H., & Ruíz, J. (1998). Soil Moisture Estimation for Rainfed Corn by Water Balance.

*Terra Latinoamericana*, 16(3), 219-229.

Fu, Q., Yan, J., Li, H., Li, T., Hou, R., Liu, D., & Ji, Y. (2019). Effects of biochar amendment on nitrogen mineralization in black soil with different moisture contents under freeze-thaw cycles. *Geoderma*, 353, 459-467.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.027>

García, V. J., Márquez, C. O., Isenhardt, T. M., Rodríguez, M., Crespo, S. D., & Cifuentes, A. G. (2019). Evaluating the conservation state of the páramo ecosystem: An object-based image analysis and CART algorithm approach for central Ecuador.

*Heliyon*, 5(10), e02701. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02701>

García, V. J., Márquez, C. O., Rodríguez, M. V., Orozco, J. J., Aguilar, C. D., & Ríos, A. C. (2020). Páramo Ecosystems in Ecuador's Southern Region: Conservation State and Restoration. *Agronomy*, 10(12), 1922.

<https://doi.org/10.3390/agronomy10121922>

González, J., González, G., & Chávez, E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(1), 21-32.

Hartsig, J. (2011). *The Effects of Land-Use Change on the Hydrological Properties of Andisols in the Ecuadorian Paramo*. 144.

Heitkamp, F., Sylvester, S. P., Kessler, M., Sylvester, M. D. P. V., & Jungkunst, H. F. (2014). Inaccessible Andean sites reveal human-induced weathering in grazed soils. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 38(5), 576-601.

<https://doi.org/10.1177/0309133314544918>

Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). *Los Páramos del Mundo*.

Jiménez, L. S., Mezquida, E. T., Capa, M. B., & Sanchez, A. R. (2007). CAMBIO EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO POR TRANSFORMACIÓN DE ÁREAS BOSCOSAS





EN PASTIZALES EN ZAMORA-CHINCHIPE (ECUADOR). *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 6.

- Jordán, A. (2006). Manual De Edafología. *Media*, 806(Enero), 1-92.
- Josse, C., Cuesta, F., Navarro, G., Barrena, V., Cabrera, E., Chacón-Moreno, E., Ferreira, W., Peralvo, M., Saito, J., & Tovar, A. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro*. 7-93.
- Lal, R. (1990). *Conservation tillage for sustainable agriculture*. 42.
- Lis Gutiérrez, M. (2015). *Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el páramo de Guerrero*.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55409>
- Lis-Gutiérrez, M., Rubiano-Sanabria, Y., & Usuga, J. C. L. (2019). Soils and land use in the study of soil organic carbon in Colombian highlands catena. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 54(1), 15-23. <https://doi.org/10.14712/23361980.2019.2>
- Llambí, L., Soto Werschitz, A., Célleri, R., De Bièvre, B., Ochoa-Tocachi, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, Hidrología y Suelos del Páramo*.
- Madriñán, S., Cortés, A. J., & Richardson, J. E. (2013). Páramo is the world's fastest evolving and coolest biodiversity hotspot. *Frontiers in Genetics*, 4(OCT).  
<https://doi.org/10.3389/fgene.2013.00192>
- Martínez, Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr*, 8(1), 68-96. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>
- Matthews, J. (2014). World Reference Base for Soil Resources (WRB). *Encyclopedia of Environmental Change, January 2001*.  
<https://doi.org/10.4135/9781446247501.n4190>
- Millar, O. (1982). *Fundamentos de la Ciencia del suelo*. Continental S.A de C.V.,



- Molina, A., Vanacker, V., Corre, M. D., & Veldkamp, E. (2019). Patterns in Soil Chemical Weathering Related to Topographic Gradients and Vegetation Structure in a High Andean Tropical Ecosystem. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(2), 666-685. <https://doi.org/10.1029/2018JF004856>
- Morrone, J. J. (2015). Biogeographical regionalisation of the Andean region. *Zootaxa*, 3936(2), 207-236. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3936.2.3>
- Muller, E., & Kushlin, A. (2018). *The state of the world's forests*. 139.
- Navarro, S., & Navarro, G. (2003). Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. En *Ediciones Mundi-Prensa*.
- Nelson, C., & Sanderson, M. (2012). *Introduction to the conservation from pastureland and hayland practices*. January 2012, 362.
- Nortcliff, S., Hulpke, H., Bannick, C., Terytze, K., Knoop, G., Bredemeier, M., & Schulte-Bisping, H. (2011). Soil, 1. Definition, Function, and Utilization of Soil. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, December 2017. [https://doi.org/10.1002/14356007.b07\\_613.pub3](https://doi.org/10.1002/14356007.b07_613.pub3)
- Oliva, G. (2016). Pastizales naturales: Una perspectiva global. *VII Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. X Encuentro de Ganaderos del Pastizal del Cono Sur*, November 2016, 14-17.
- Otero, J. D., Figueroa, A., Muñoz, F. A., & Peña, M. R. (2011). Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering*, 37(12), 2035-2043. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.08.001>
- Pardo, A., & Ruiz, M. A. (2010). Análisis no paramétrico: El procedimiento Pruebas no paramétricas. *SPSS 10. Guía para el Análisis de datos*, 581-646.
- Patricio Mena Vásconez, Anabel Castillo, Saskia Flores, Robert Hofstede, Carmen Josse, Sergio Lasso, Galo Medina, Nadya Ochoa, & Doris Ortiz. (2011). *Páramo Paisaje*



*estudiado, habitado, manejado e institucionalizado*. Editorial Universitaria Aby-Yala .

Patricio Mena Vásconez, Galo Medina, & Robert Hofstede. (2001). *LOS PÁRAMOS DEL ECUADOR*.

Pesántez, J., Mosquera, G., Crespo, P., Breuer, L., & Windhorst, D. (2018). Effect of land cover and hydro-meteorological controls on soil water DOC concentrations in a high-elevation tropical environment. *Hydrological Processes*, 32(17), 2624-2635. <https://doi.org/10.1002/hyp.13224>

Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2000). *LOS SUELOS DE LOS PARAMOS DEL ECUADOR*.

Porta, J., López, M., & Roquero, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 591-626.

Poulénard, J., Bartoli, F., & Burtin, G. (2002). Shrinkage and drainage in aggregates of volcanic soils: A new approach combining mercury porosimetry and vacuum drying kinetics. *European Journal of Soil Science*, 53(4), 563-574. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2002.00459.x>

Poulénard, J., Podwojewski, P., & Herbillon, A. (2003). Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*, 117(3-4), 267-281. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00128-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00128-9)

Poulénard, J., Podwojewski, P., Janeau, J.-L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning. *CATENA*, 45(3), 185-207. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00148-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00148-5)

Quichimbo, P., Cárdenas, I., Tenorio, G., Crespo, P., Borja, P., & Célleri, R. (2011, agosto 26). *Efecto del cambio de cobertura vegetal sobre las propiedades hidrofísicas del suelo en un área de páramo, sur del Ecuador*.



- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Céleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138-153.
- Ramírez Matamoros, M. T., & Cisneros Espinoza, P. J. (2015). *Determinación de anomalías causadas a las propiedades físicas, químicas e hidrofísicas, en los suelos de páramo en el sur del Ecuador, ocasionadas por alteraciones antrópicas*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23356>
- Ramón-Reinozo, M., Ballari, D., Cabrera, J., Crespo, P., & Carrillo-Rojas, G. (2019). Altitudinal and temporal evapotranspiration dynamics via remote sensing and vegetation index-based modelling over a scarce-monitored, high-altitudinal Andean páramo ecosystem of Southern Ecuador. *Environmental Earth Sciences*, 78(11), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8337-6>
- Rebollo, S., & Gómez, A. (2003). *Aprovechamiento sostenible de los pastizales*.
- Roca-Fernández, A. (2005). *Macro-, micronutrientes y metales pesados presentes en el suelo*. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo.
- Rodríguez, N., Pabón, J. D., Bernal, N., & Martínez, J. (2010). *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos*. Alianza Ediprint Ltda. - Guerra Editores.
- Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Enfermería del Trabajo*, 6(3), 105-114.
- Rossi, E. (2016). *Análisis del efecto de la actividad antrópica sobre el uso del hábitat a escala local del Mataco (tolypeutes matacus) en el Chaco Árido de Córdoba*.
- Sales, B. (2006). *Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, Departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro de carbono*.



- Sánchez, J. (2007). Fertilidad del suelo y nutrición mineral en plantas. *Fertitec S.A.*, 19.
- Sanderson, M., Franzluebbbers, A., Goslee, S., Kiniry, J., Owens, L., Spaeth, K., Steiner, J., & Veith, T. (2011). Pastureland Conservation Effects Assessment Project: Status and expected outcomes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 66(5).  
<https://doi.org/10.2489/jswc.66.5.148A>
- Scott, M., Jones, M., Woof, C., & Tipping, E. (1998). *Concentrations and fluxes of dissolved organic carbon in drainage water from an upland peat system*. 537-546.
- Soriana, M. (2015). Bases de cambio en el suelo. *Universidad Politécnica de València*, 1, 1-5.
- Spargo, J., Allen, T., & Kariuki, S. (2013, julio). *Soil and Plant Nutrient Testing Laboratory: Interpreting Your Soil Test Results | UMass Center for Agriculture, Food and the Environment*.
- Steiner, J. L., & Franzluebbbers, A. J. (2009). Farming with grass—For people, for profit, for production, for protection. En *Journal of Soil and Water Conservation* (Vol. 64, Número 2). <https://doi.org/10.2489/jswc.64.2.75A>
- Stolbovoy, V., Montanarella, L., Filippi, N., Selvaradjou, S., Panagos, P., & Gallego, J. (2005). Soil Sampling to Certify the Changes of Organic Carbon stock in mineral soils of European Union. *Land Management and Natural Hazards Unit*, 1.
- Suñer, L., Martínez, J., Duval, M., López, F., Landriscini, M., & Galantini, J. (2018). *Dinámica de las formas de fósforo en el suelo y su relación con la productividad del cultivo*. 10.
- Tan, K. (1994). *Environmental Soil Science* (CRC Press).
- Teuber, N., Parga, J., Balocchi, O., Anwandter, V., Canseco, C., Abarzúa, A., Demanet, R., & Lopetegui, J. (2006). *Manejo del pastoreo*. 1-121.
- Thompson, J. B., Zurita-Arthos, L., Müller, F., Chimbolema, S., & Suárez, E. (2021). Land use change in the Ecuadorian páramo: The impact of expanding agriculture on soil



- carbon storage. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 53(1), 48-59.  
<https://doi.org/10.1080/15230430.2021.1873055>
- Thomsen, K. (2001). Characteristics of a natural forest. *Europe's Woodland Heritage*, January 2001, 14-19.
- Tobón, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua*.
- van Ypersele de Strihou, R. (2019). *Impact du pâturage sur le carbone organique dans les sols du páramo andin Étude de cas à l'Antisana, en Équateur*.
- Vanacker, V., Govers, G., Barros, S., Poesen, J., & Deckers, J. (2003). The effect of short-term socio-economic and demographic change on landuse dynamics and its corresponding geomorphic response with relation to water erosion in a tropical mountainous catchment, Ecuador. *Landscape Ecology*, 18(1), 1-15.  
<https://doi.org/10.1023/A:1022902914221>
- Vanacker, V., Molina, A., Torres, R., Calderon, E., & Cadilhac, L. (2018). Challenges for research on global change in mainland Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 4(1), 114-118. <https://doi.org/10.1080/23766808.2018.1491706>
- Vanacker, V., Vanderschaeghe, M., Govers, G., Willems, E., Poesen, J., Deckers, J., & De Bievre, B. (2003). Linking hydrological, infinite slope stability and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability in high Andean watersheds. *Geomorphology*, 52(3-4), 299-315.  
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00263-5](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00263-5)
- Vargas, R. (2006). Guía para la descripción de suelos. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, 3(4), 100.
- Velázquez, A., Gerardo, B., & Siabe, C. (2004). *Cambio de uso del suelo. February 2015*.
- Venkaeswarlu, D. (1980). *Defination of Forest. Phase Iv*, 1-15.
- Vieira, M., Ochoa, B., Sauer, E., Fischler, M., & Marín, X. (1998). Manejo integrado de fertilidad del suelo en zonas de ladera. *Fao*, 100.



- Villasanti, C., Román, P., & Pantoja, A. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. En *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Vinken, J. (2020). *Spatial variation in soil physical properties along soil-scapes in paramo ecosystems*.
- Vuille, M., Bradley, R., & Keimig, F. (2000). Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 105(D10), 12447-12460.  
<https://doi.org/10.1029/2000JD900134>
- Vyhmeister, M. (2007). Sistemas de pastoreo. *Inia Remehue*, 1-3.
- Walling, D., & Horowitz, A. (2005). Sediment budgets. En *International Association of Hydrological Sciences IAHS Press* (pp. 262-270). [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4\\_127](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_127)
- Wang, M., Xie, X., Wang, M., Wu, J., Zhou, Q., & Sun, Y. (2020). The bacterial microbiota in florfenicol contaminated soils: The antibiotic resistome and the nitrogen cycle. *Environmental Pollution*, 259, 113901.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113901>
- Wang, S., Wang, X., & Ouyang, Z. (2012). Effects of land use, climate, topography and soil properties on regional soil organic carbon and total nitrogen in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(3), 387-395. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60789-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60789-4)
- Wen, Z., Song, K., Liu, G., Shang, Y., Hou, J., Lyu, L., & Fang, C. (2019). Impact factors of dissolved organic carbon and the transport in a river-lake continuum in the Tibet Plateau of China. *Journal of Hydrology*, 579(April), 124202.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124202>



- Wilson, M., Shahid, S., Taha, F., Abdelfattah, M., Kalley, J., & Thomas, J. (2013). Anhydrite Formation on the Coastal Sabkha of Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Developments in Soil Classification, Land Use Planning and Policy Implications: Innovative Thinking of Soil Inventory for Land Use Planning and Management of Land Resources*, 1-867. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5332-7>
- Yao, Y., Xiao, Y., Mao, F., Chen, H., & Verginelli, I. (2018). Examining the role of sub-foundation soil texture in chlorinated vapor intrusion from groundwater sources with a two-layer numerical model. *Journal of Hazardous Materials*, 359, 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.097>
- Zamora, J., & Cristancho, F. (2013). La Humedad en las Propiedades Físicas del Suelo. *Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia*, 1.
- Zhang, J., Yang, H., Wang, J., Tian, D., Li, Y., He, N., & Niu, S. (2019). Soil and climate determine differential responses of soil respiration to nitrogen and acid deposition along a forest transect. *European Journal of Soil Biology*, 93, 103097. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2019.103097>
- Zhang, S., Lu, X., Zhang, Y., Nie, G., & Li, Y. (2019). Estimation of soil organic matter, total nitrogen and total carbon in sustainable coastalwetlands. *Sustainability (Switzerland)*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/su11030667>



**ANEXOS**

## Anexo A: Análisis de normalidad de datos por cobertura páramo y pasto

Prueba de Shapiro-Wilk						
Parámetro	Páramo	Pasto	Páramo Cóncavo	Páramo Convexo	Pasto Cóncavo	Pasto Convexo
pH	0.0009272	0.0003265	0.04013	0.003725	0.1137	0.00268
C (%)	0.4933	0.001813	0.2725	0.5692	0.171	0.02437
N (ppm)	0.05828	0.07203	0.7544	0.121	0.8973	0.1071
P (ppm)	0.02615	0.0001498	0.3149	0.02848	0.01889	0.00139
K (meq/100ml)	0.0000005343	0.01107	0.005773	0.003936	0.466	0.7832
Ca (meq/100ml)	0.03936	0.4594	0.1246	0.1548	0.3107	0.7176
Mg (meq/100ml)	0.001202	0.4569	0.2789	0.004809	0.8199	0.3472
SB (meq/100ml)	0.3201	0.5092	0.5345	0.2985	0.4155	0.7395
CE (dS/m)	0.005653	0.0004262	0.3204	0.02731	0.04887	0.08419
DA (gr/cm <sup>3</sup> )	0.0006416	0.0001791	0.1837	0.00269	0.04573	0.002595
CC (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.2911	0.0000522	0.8552	0.2665	0.006376	0.007855
AD (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.03805	0.00005673	0.683	0.08616	0.004136	0.004645
Chidr (cm/h)	0.02272	0.8726	0.8157	0.04418	0.5087	0.6414
Arena (%)	0.1325	0.00004694	0.5742	0.1221	0.001118	0.004323
Limo (%)	0.07731	0.006601	0.4866	0.1203	0.1612	0.06468
Arcilla (%)	0.009267	0.00000938	0.7635	0.01201	0.02282	0.001536

*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases), CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), Chidr (Conductividad Hidraulica)*



Anexo B: Prueba Kruskal-Wallis por cobertura páramo y pasto

Parámetro	Kruskall.Wallis
pH	0.007718
C (%)	0.6575
N (ppm)	0.05042
P (ppm)	0.1403
K (meq/100ml)	0.03425
Ca (meq/100ml)	0.0008024
Mg (meq/100ml)	0.0007249
SB (meq/100ml)	0.0006641
CE (dS/m)	0.04664
DA (gr/cm <sup>3</sup> )	0.6572
CC (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.5809
AD (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.2575
Chidr (cm/h)	0.6859
Arena (%)	0.4881
Limo (%)	0.3137
Arcilla (%)	0.7133



*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*



## Anexo C: Correlación por cobertura páramo

	CORRELACION PARAMO																
	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla	
<b>pH</b>	1.00																
<b>C (%)</b>	0.06	1.00															
<b>N (ppm)</b>	-0.37	0.54	1.00														
<b>P (ppm)</b>	-0.65	0.19	0.42	1.00													
<b>K (meq/100ml)</b>	-0.56	0.03	0.21	0.50	1.00												
<b>Ca (meq/100ml)</b>	0.15	0.38	0.47	0.08	-0.03	1.00											
<b>Mg (meq/100ml)</b>	-0.10	0.23	0.23	0.19	0.38	0.56	1.00										
<b>SB (meq/100ml)</b>	0.02	0.21	0.37	0.19	0.24	0.90	0.62	1.00									
<b>CE (dS/m)</b>	-0.18	0.58	0.64	0.42	0.34	0.42	0.45	0.34	1.00								
<b>DA (gr/cm3)</b>	0.34	-0.71	-0.72	-0.34	-0.04	-0.43	-0.33	-0.28	-0.75	1.00							
<b>CC (cm3/cm3)</b>	0.09	-0.62	-0.62	-0.35	-0.27	-0.31	-0.30	-0.22	-0.73	0.61	1.00						
<b>AD (cm3/cm3)</b>	0.19	-0.63	-0.70	-0.49	-0.30	-0.23	-0.31	-0.21	-0.73	0.61	0.90	1.00					
<b>Chidr (cm/h)</b>	-0.11	0.57	0.63	0.37	0.32	0.36	0.36	0.29	0.72	-0.59	-0.99	-0.86	1.00				
<b>Arena (%)</b>	-0.04	0.61	0.60	0.37	0.23	0.29	0.28	0.23	0.70	-0.56	-0.98	-0.94	0.96	1.00			
<b>Limo (%)</b>	0.09	-0.63	-0.62	-0.44	-0.27	-0.25	-0.35	-0.22	-0.71	0.55	0.85	0.95	-0.81	-0.92	1.00		
<b>Arcilla (%)</b>	0.14	-0.58	-0.62	-0.39	-0.32	-0.35	-0.34	-0.27	-0.72	0.61	0.99	0.85	-1.00	-0.95	0.79	1.00	

C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)



Anexo D: Correlación por cobertura pasto

	CORRELACION PASTO															
	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla
pH	1.00															
C (%)	-0.33	1.00														
N (ppm)	-0.57	0.61	1.00													
P (ppm)	-0.79	0.63	0.62	1.00												
K (meq/100ml)	-0.22	0.24	0.12	0.21	1.00											
Ca (meq/100ml)	0.37	0.24	0.16	-0.28	0.13	1.00										
Mg (meq/100ml)	0.31	0.27	0.01	-0.06	0.49	0.60	1.00									
SB (meq/100ml)	0.34	0.28	0.18	-0.27	0.24	0.98	0.67	1.00								
CE (dS/m)	-0.61	0.24	0.58	0.44	0.38	0.07	0.14	0.13	1.00							
DA (gr/cm3)	0.26	-0.55	-0.31	-0.38	0.05	-0.20	-0.07	-0.15	-0.06	1.00						
CC (cm3/cm3)	-0.04	-0.53	-0.30	-0.04	0.08	-0.37	-0.25	-0.36	-0.14	0.35	1.00					
AD (cm3/cm3)	0.06	-0.69	-0.29	-0.22	0.01	-0.33	-0.33	-0.33	-0.11	0.44	0.85	1.00				
Chidr (cm/h)	0.04	0.48	0.31	0.07	0.02	0.30	0.34	0.32	0.20	-0.25	-0.94	-0.76	1.00			
Arena (%)	0.07	0.60	0.22	0.04	-0.09	0.35	0.26	0.33	0.05	-0.42	-0.93	-0.90	0.81	1.00		
Limo (%)	-0.10	-0.57	-0.08	-0.05	0.11	-0.27	-0.22	-0.23	0.04	0.43	0.72	0.88	-0.55	-0.91	1.00	
Arcilla (%)	-0.01	-0.39	-0.35	-0.08	-0.04	-0.28	-0.32	-0.30	-0.28	0.15	0.88	0.67	-0.98	-0.70	0.42	1.00

C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)



## Anexo E: Análisis de normalidad para el horizonte A

Prueba de Shapiro-Wilk				
Parámetro	Pasto A	Páramo A	Cóncavo A	Convexo A
pH	0.5001	0.5888	0.0380	0.588
C	0.5589	0.4006	0.1076	0.4006
N	0.1908	0.5646	0.8784	0.5646
P	0.02986	0.2294	0.5993	0.2294
K	0.1435	0.0639	0.1811	0.0639
Ca	0.08971	0.1041	0.0144	0.1041
Mg	0.6017	0.1958	0.9316	0.1958
SB	0.1764	0.5495	0.0605	0.5495
CE	0.5991	0.0549	0.9587	0.5493
DA	0.0054	0.2834	0.3848	0.2834
CC	0.5001	0.0549	0.2117	0.1564
AD	0.000055	0.0062	0.00002	0.0062
CHidr	0.4915	0.5158	0.0561	0.5158
Arena	0.0149	0.3389	0.6112	0.3389
Limo	0.364	0.6558	0.8014	0.6558
Arcilla	0.414	0.0039	0.3888	0.0039

*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*

## Anexo F: Prueba ANOVA para el horizonte A por cobertura páramo y pasto

Parámetro	ANOVA
pH	0.203
C (%)	0.921



N (ppm)	0.0071
P (ppm)	0.842
K (meq/100ml)	0.21
Ca (meq/100ml)	0.0092
Mg (meq/100ml)	0.0154
SB (meq/100ml)	0.00408
CE (dS/m)	0.316
DA (gr/cm <sup>3</sup> )	0.383
CC (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.668
AD (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.0704
Chidr (cm/h)	0.306
Arena (%)	0.463
Limo (%)	0.211
Arcilla (%)	0.92

*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases), CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*

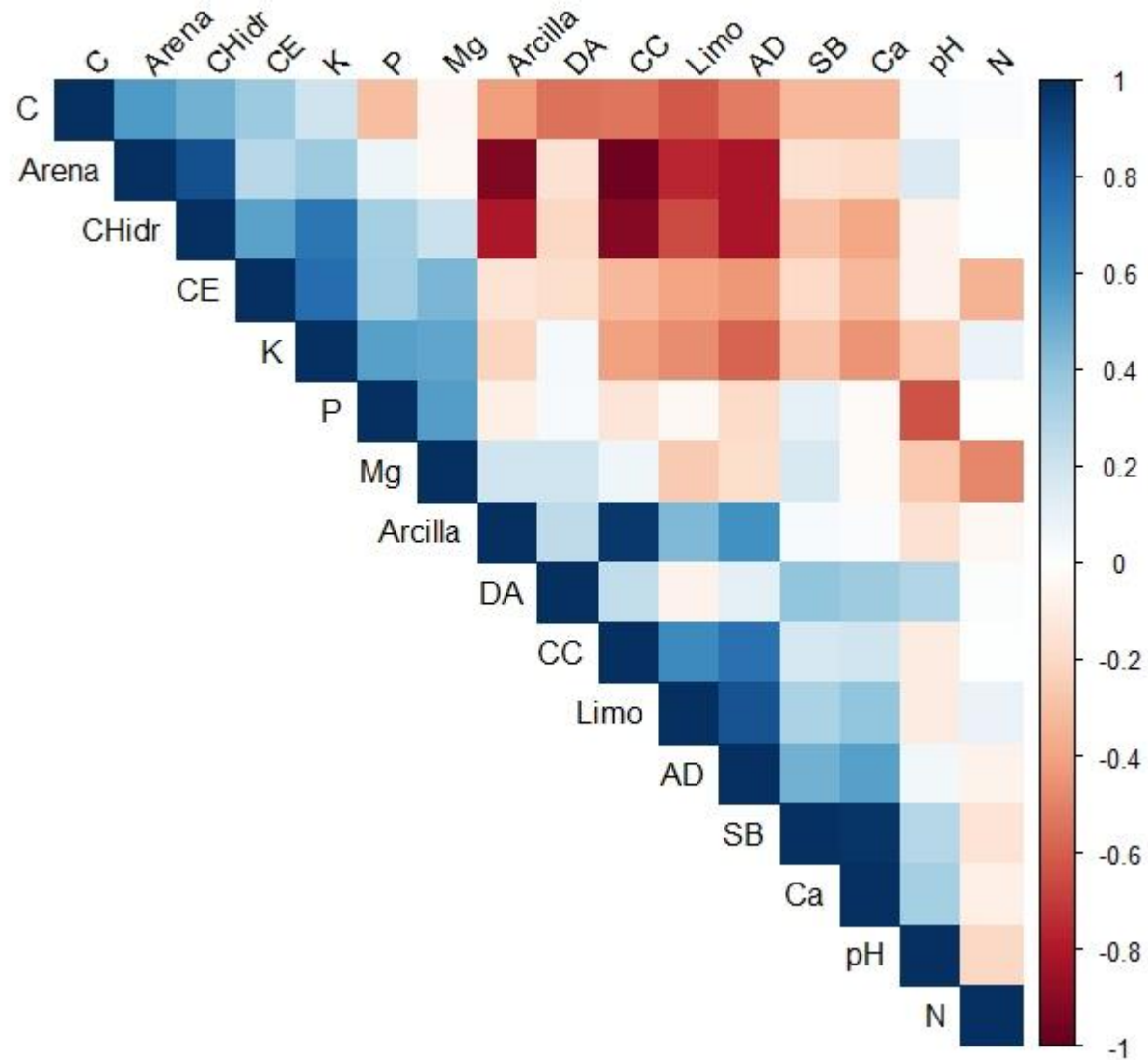


Anexo G: Correlación por cobertura páramo en el horizonte A

	CORRELACIÓN PÁRAMO HORIZONTE A															
	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla
pH	1.00															
C (%)	0.03	1.00														
N (ppm)	-0.20	0.02	1.00													
P (ppm)	-0.63	-0.30	-0.01	1.00												
K (meq/100ml)	-0.26	0.21	0.08	0.55	1.00											
Ca (meq/100ml)	0.34	-0.33	-0.08	-0.03	-0.44	1.00										
Mg (meq/100ml)	-0.26	-0.05	-0.49	0.56	0.53	-0.03	1.00									
SB (meq/100ml)	0.29	-0.32	-0.14	0.10	-0.28	0.98	0.16	1.00								
CE (dS/m)	-0.06	0.37	-0.35	0.34	0.76	-0.33	0.46	-0.20	1.00							
DA (gr/cm3)	0.29	-0.54	0.01	0.04	0.04	0.35	0.19	0.39	-0.17	1.00						
CC (cm3/cm3)	-0.10	-0.54	0.00	-0.13	-0.41	0.20	0.06	0.17	-0.33	0.24	1.00					
AD (cm3/cm3)	0.05	-0.51	-0.07	-0.19	-0.58	0.55	-0.17	0.48	-0.43	0.11	0.75	1.00				
Chidr (cm/h)	-0.07	0.47	0.01	0.33	0.72	-0.38	0.22	-0.29	0.53	-0.20	-0.91	-0.82	1.00			
Arena (%)	0.16	0.57	-0.01	0.08	0.36	-0.19	-0.03	-0.16	0.28	-0.16	-0.98	-0.82	0.87	1.00		
Limo (%)	-0.10	-0.62	0.08	-0.03	-0.46	0.39	-0.26	0.32	-0.40	-0.07	0.63	0.87	-0.65	-0.75	1.00	
Arcilla (%)	-0.16	-0.42	-0.04	-0.08	-0.22	0.03	0.19	0.03	-0.15	0.25	0.96	0.61	-0.81	-0.92	0.44	1.00

C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)







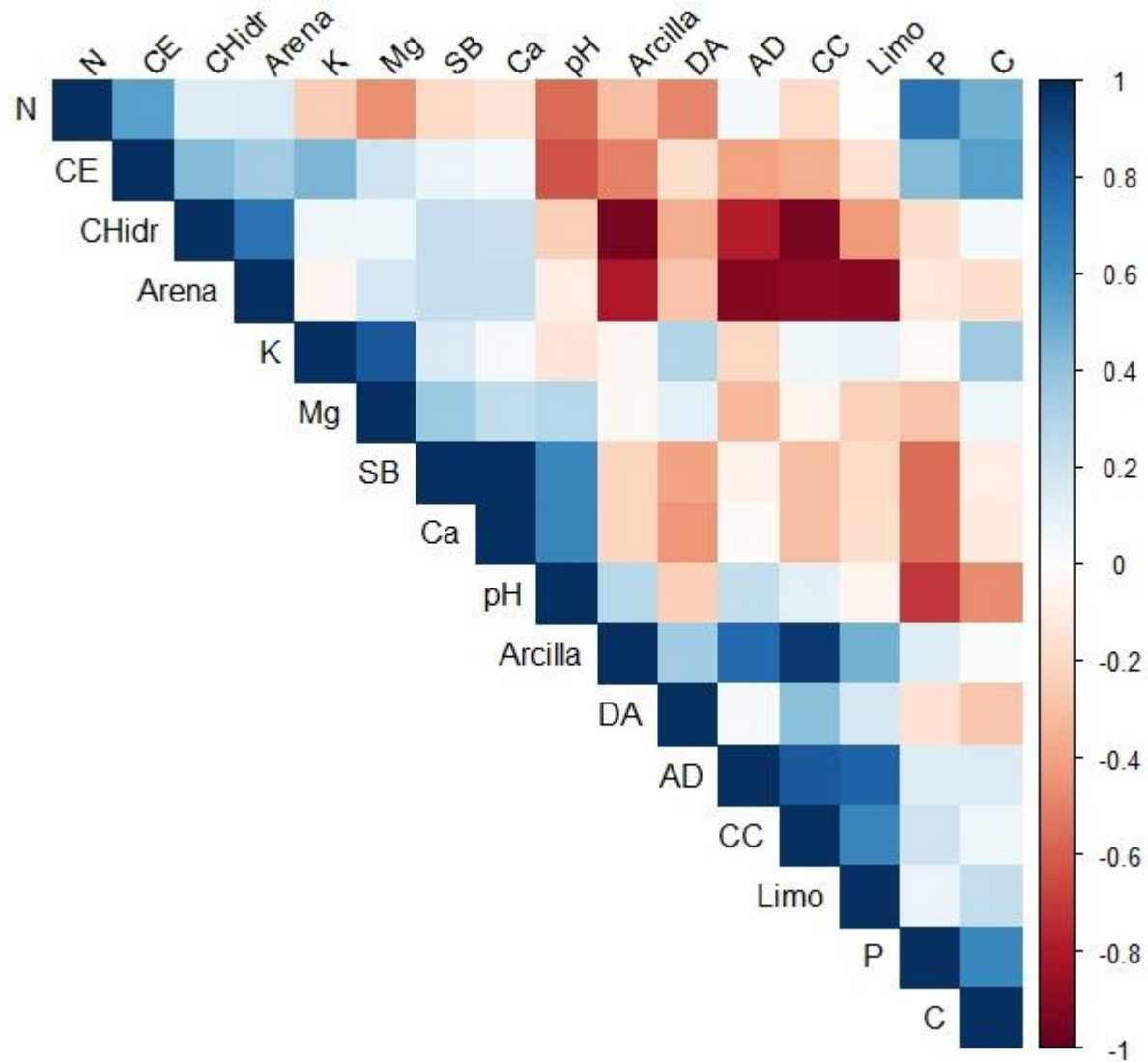
## Anexo H: Correlación por cobertura pasto en el horizonte A

	CORRELACIÓN PASTO HORIZONTE A															
	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla
pH	1.00															
C (%)	-0.46	1.00														
N (ppm)	-0.57	0.49	1.00													
P (ppm)	-0.71	0.64	0.73	1.00												
K (meq/100ml)	-0.14	0.36	-0.25	-0.03	1.00											
Ca (meq/100ml)	0.65	-0.12	-0.15	-0.56	0.03	1.00										
Mg (meq/100ml)	0.29	0.06	-0.46	-0.29	0.85	0.25	1.00									
SB (meq/100ml)	0.65	-0.09	-0.19	-0.57	0.15	0.99	0.36	1.00								
CE (dS/m)	-0.62	0.55	0.55	0.44	0.46	0.04	0.19	0.08	1.00							
DA (gr/cm3)	-0.24	-0.28	-0.48	-0.16	0.29	-0.43	0.10	-0.39	-0.18	1.00						
CC (cm3/cm3)	0.11	0.07	-0.19	0.21	0.06	-0.31	-0.06	-0.30	-0.36	0.42	1.00					
AD (cm3/cm3)	0.24	0.14	0.04	0.14	-0.20	-0.03	-0.33	-0.07	-0.39	0.04	0.84	1.00				
Chidr (cm/h)	-0.23	0.05	0.14	-0.18	0.07	0.22	0.07	0.22	0.44	-0.36	-0.94	-0.78	1.00			
Arena (%)	-0.09	-0.17	0.15	-0.12	-0.05	0.22	0.17	0.23	0.34	-0.28	-0.90	-0.92	0.74	1.00		
Limo (%)	-0.05	0.24	-0.01	0.08	0.10	-0.18	-0.23	-0.18	-0.16	0.18	0.65	0.81	-0.43	-0.91	1.00	



Arcilla (%)	0.28	0.02	-0.30	0.14	-0.04	-0.22	-0.04	-0.21	-0.50	0.35	0.95	0.78	-0.94	-0.80	0.48	1.00
-------------	------	------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	-------	-------	------	------

*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*



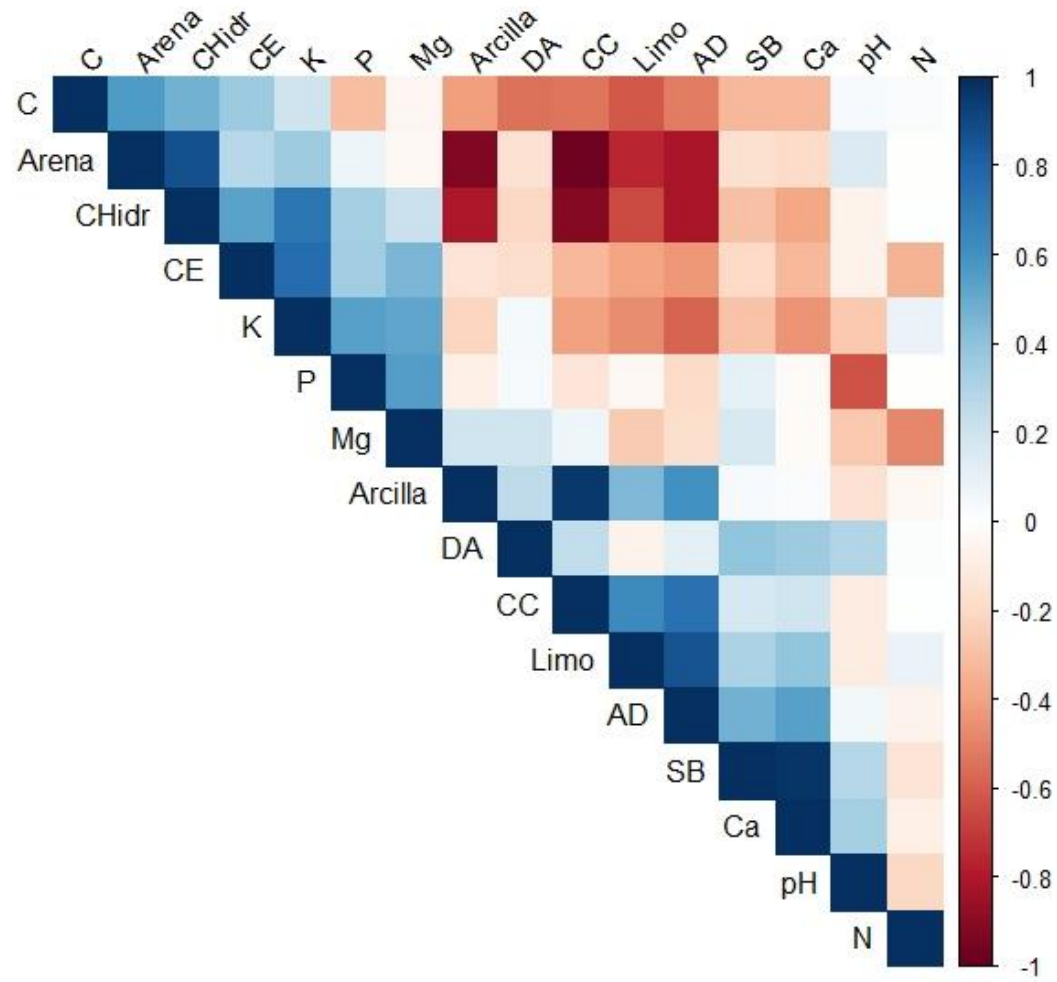


## Anexo I: Correlación por curvatura convexa en el horizonte A

	CORRELACIÓN CONVEXO HORIZONTE A																
	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla	
pH	1.00																
C (%)	-0.03	1.00															
N (ppm)	-0.50	0.16	1.00														
P (ppm)	-0.68	0.05	0.44	1.00													
K (meq/100ml)	0.00	0.12	-0.28	0.05	1.00												
Ca (meq/100ml)	0.58	-0.15	-0.49	-0.45	0.17	1.00											
Mg (meq/100ml)	0.31	-0.06	-0.75	-0.19	0.62	0.60	1.00										
SB (meq/100ml)	0.57	-0.14	-0.54	-0.44	0.25	1.00	0.67	1.00									
CE (dS/m)	-0.30	0.28	0.23	0.25	0.56	-0.22	0.06	-0.18	1.00								
DA (gr/cm3)	0.32	-0.57	-0.31	-0.30	0.09	0.17	0.19	0.18	-0.44	1.00							
CC (cm3/cm3)	0.14	-0.39	-0.23	-0.09	-0.27	0.11	0.13	0.11	-0.45	0.35	1.00						
AD (cm3/cm3)	0.41	-0.30	-0.41	-0.12	-0.28	0.48	0.24	0.46	-0.57	0.26	0.77	1.00					
Chidr (cm/h)	-0.29	0.41	0.28	0.25	0.50	-0.25	-0.10	-0.22	0.66	-0.34	-0.92	-0.81	1.00				
Arena (%)	-0.17	0.31	0.29	0.05	0.17	-0.21	-0.16	-0.20	0.42	-0.28	-0.95	-0.86	0.85	1.00			
Limo (%)	0.29	-0.23	-0.33	-0.04	-0.13	0.42	0.14	0.40	-0.48	0.12	0.65	0.88	-0.61	-0.83	1.00		
Arcilla (%)	0.03	-0.30	-0.19	-0.04	-0.16	-0.02	0.13	-0.01	-0.26	0.33	0.96	0.62	-0.82	-0.88	0.47	1.00	

*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*





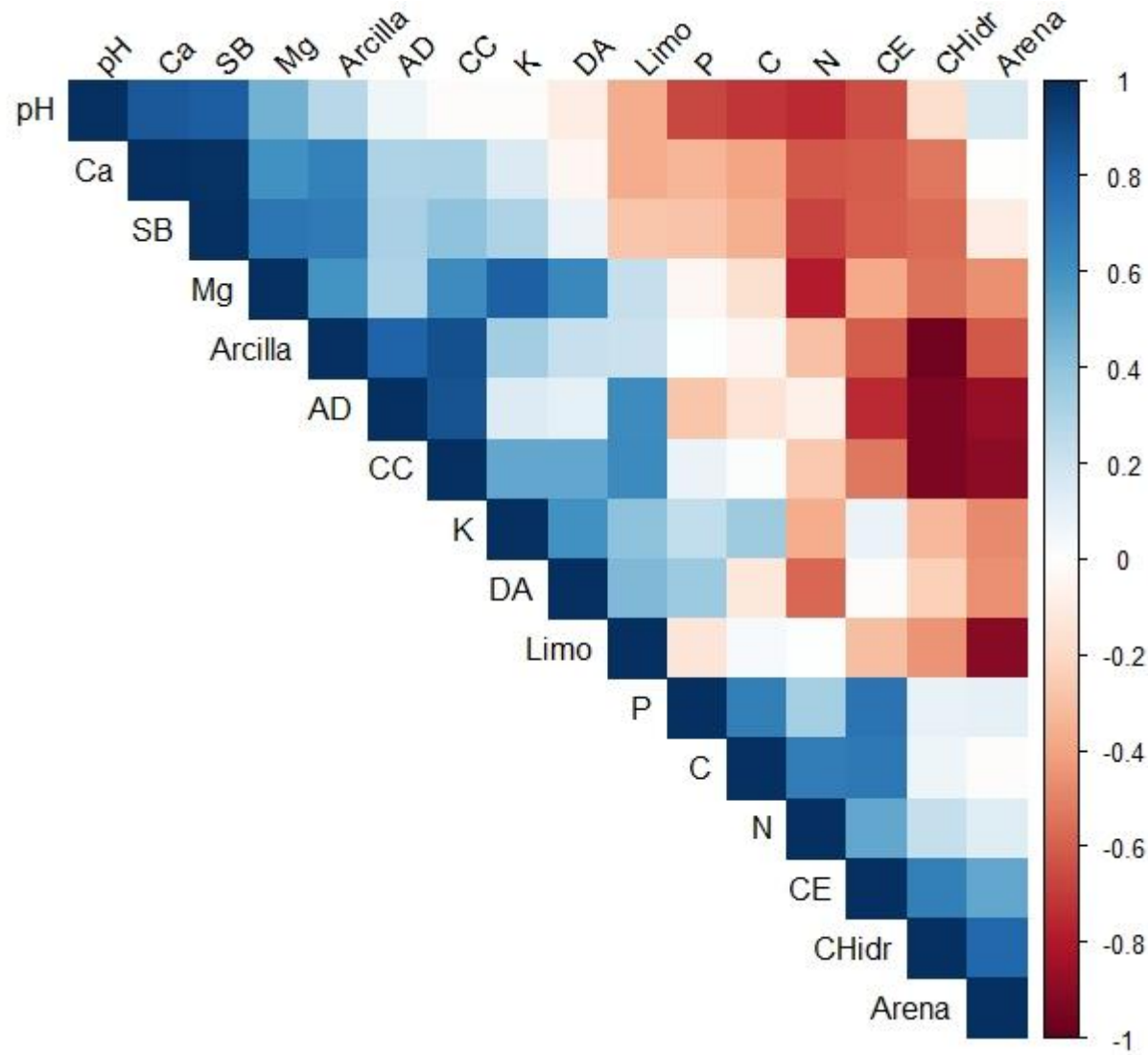


## Anexo J: Correlación por curvatura cóncava en el horizonte A

	CORRELACIÓN CÓNCAVA HORIZONTE A																
	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla	
pH	1.00																
C (%)	-0.72	1.00															
N (ppm)	-0.75	0.69	1.00														
P (ppm)	-0.67	0.69	0.33	1.00													
K (meq/100ml)	-0.02	0.35	-0.37	0.25	1.00												
Ca (meq/100ml)	0.85	-0.40	-0.61	-0.33	0.15	1.00											
Mg (meq/100ml)	0.47	-0.16	-0.78	-0.04	0.82	0.61	1.00										
SB (meq/100ml)	0.82	-0.36	-0.68	-0.29	0.31	0.99	0.73	1.00									
CE (dS/m)	-0.65	0.71	0.52	0.73	0.08	-0.61	-0.37	-0.59	1.00								
DA (gr/cm <sup>3</sup> )	-0.10	-0.12	-0.58	0.37	0.61	-0.04	0.64	0.08	-0.01	1.00							
CC (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	-0.02	0.02	-0.27	0.08	0.51	0.32	0.62	0.40	-0.53	0.51	1.00						
AD (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.07	-0.14	-0.08	-0.28	0.14	0.31	0.31	0.33	-0.75	0.11	0.87	1.00					
Chidr (cm/h)	-0.18	0.08	0.24	0.10	-0.32	-0.53	-0.54	-0.57	0.69	-0.24	-0.94	-0.93	1.00				
Arena (%)	0.17	-0.01	0.13	0.10	-0.48	-0.01	-0.45	-0.10	0.51	-0.45	-0.90	-0.86	0.79	1.00			
Limo (%)	-0.36	0.04	0.00	-0.13	0.40	-0.37	0.23	-0.27	-0.30	0.44	0.63	0.63	-0.45	-0.90	1.00		
Arcilla (%)	0.27	-0.04	-0.29	0.01	0.34	0.68	0.60	0.71	-0.61	0.23	0.88	0.81	-0.96	-0.62	0.22	1.00	

*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases), CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*







Anexo K: Prueba ANOVA por cobertura y curvaturas – páramo cóncavo, páramo convexo, pasto cóncavo y pasto convexo –

Parámetro	ANOVA
pH	0.0998
C (%)	0.792
N (ppm)	0.132
P (ppm)	0.652
K (meq/100ml)	0.0624
Ca (meq/100ml)	0.00722
Mg (meq/100ml)	0.0163
SB (meq/100ml)	0.00523
CE (dS/m)	0.494
DA (gr/cm <sup>3</sup> )	0.843
CC (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.757
AD (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.401
Chidr (cm/h)	0.68
Arena (%)	0.638
Limo (%)	0.431
Arcilla (%)	0.812

*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases), CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*



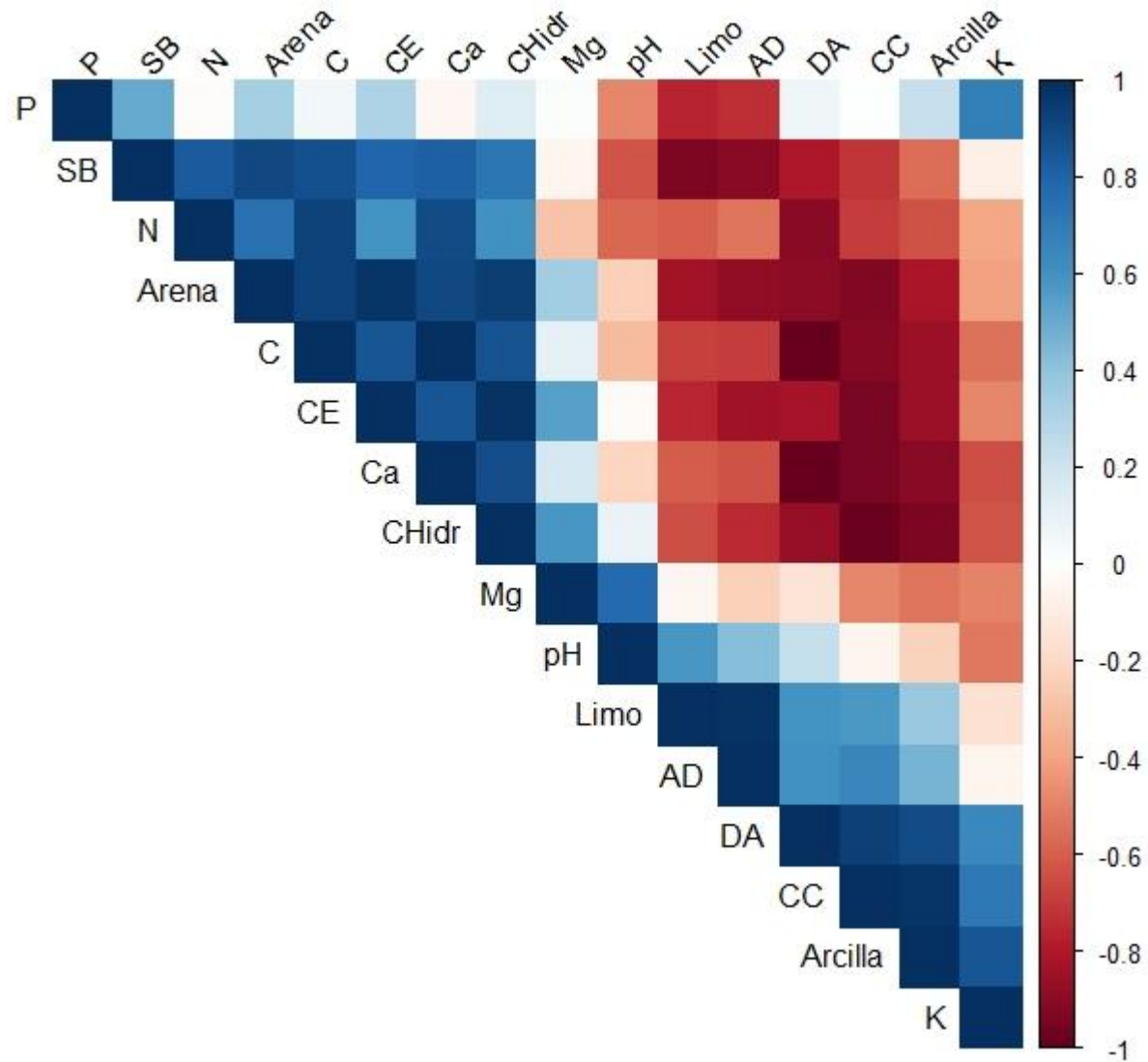
Anexo L: Correlación por cobertura y curvatura páramo-cóncavo.

CORRELACIÓN PÁRAMO-CÓNCAVO																
	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla
pH	1.00															
C (%)	-0.32	1.00														
N (ppm)	-0.58	0.92	1.00													
P (ppm)	-0.49	0.05	-0.02	1.00												
K (meq/100ml)	-0.52	-0.55	-0.38	0.68	1.00											
Ca (meq/100ml)	-0.22	0.99	0.90	-0.04	-0.64	1.00										
Mg (meq/100ml)	0.78	0.11	-0.28	0.02	-0.49	0.17	1.00									
SB (meq/100ml)	-0.62	0.87	0.83	0.51	-0.08	0.81	-0.05	1.00								
CE (dS/m)	-0.02	0.85	0.59	0.31	-0.48	0.85	0.55	0.80	1.00							
DA (gr/cm3)	0.23	-0.99	-0.91	0.07	0.65	-1.00	-0.14	-0.81	-0.83	1.00						
CC (cm3/cm3)	-0.06	-0.92	-0.70	0.01	0.72	-0.94	-0.49	-0.72	-0.95	0.93	1.00					
AD (cm3/cm3)	0.43	-0.69	-0.53	-0.74	-0.05	-0.63	-0.24	-0.91	-0.84	0.61	0.66	1.00				
Chidr (cm/h)	0.08	0.87	0.60	0.14	-0.63	0.88	0.58	0.72	0.98	-0.87	-0.98	-0.74	1.00			
Arena (%)	-0.24	0.93	0.74	0.34	-0.41	0.91	0.34	0.91	0.97	-0.89	-0.93	-0.88	0.95	1.00		



Limo (%)	0.59	-0.69	-0.60	-0.76	-0.16	-0.61	-0.05	-0.94	-0.76	0.59	0.57	0.98	-0.64	-0.84	1.00	
Arcilla (%)	-0.22	-0.85	-0.63	0.23	0.86	-0.90	-0.53	-0.55	-0.86	0.90	0.97	0.47	-0.93	-0.82	0.37	1.00

*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*





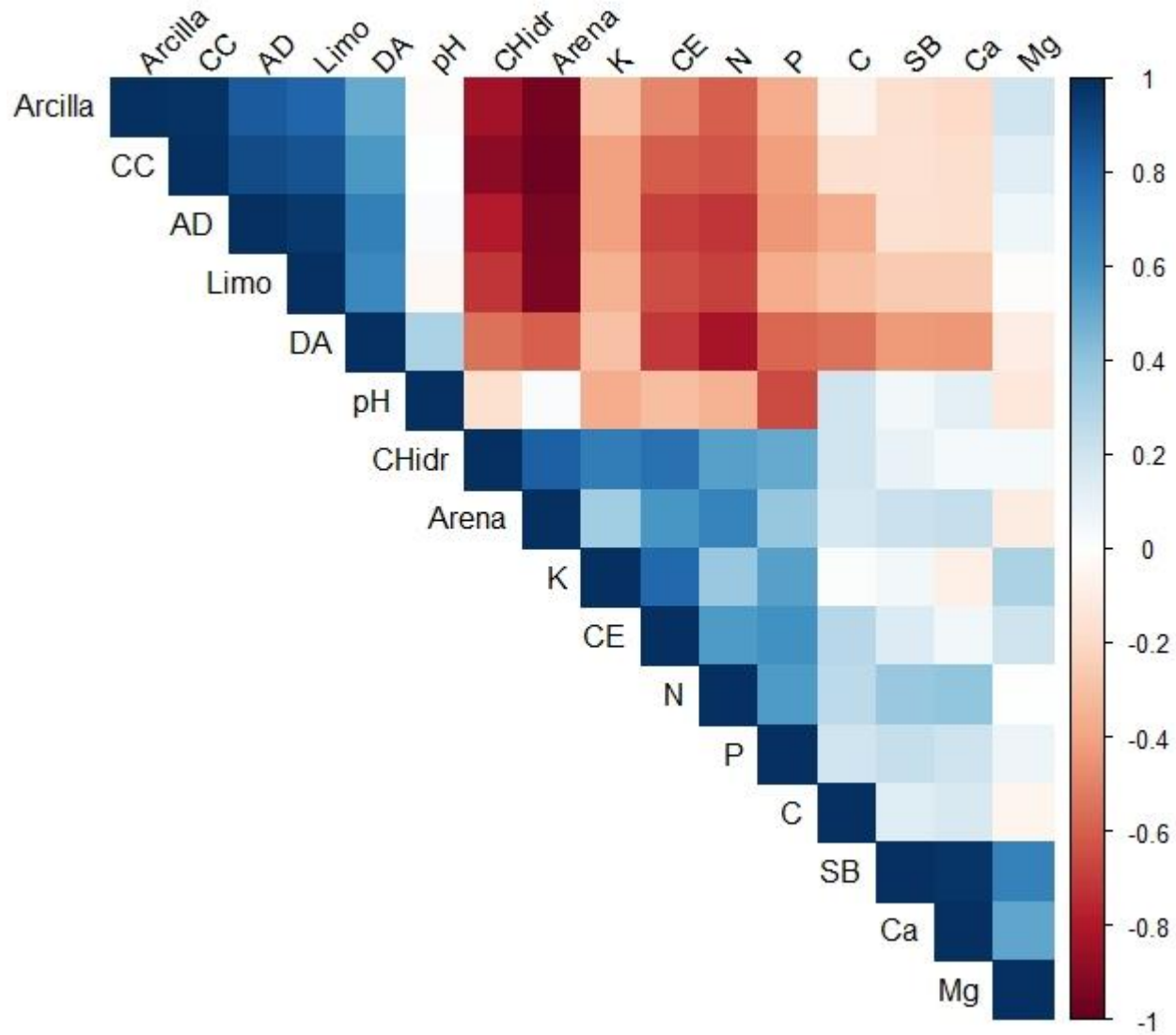
## Anexo M: Correlación por cobertura y curvatura páramo-convexo

CORRELACIÓN PÁRAMO-CONVEXO															
	pH	C	N	P	K	Ca	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla
pH	1.00														
C (%)	0.20	1.00													
N (ppm)	-0.35	0.26	1.00												
P (ppm)	-0.66	0.20	0.56	1.00											
K (meq/100ml)	-0.36	0.01	0.37	0.55	1.00										
Ca (meq/100ml)	0.12	0.16	0.40	0.20	-0.09	1.00									
Mg (meq/100ml)	0.25	0.17	0.34	-0.01	-0.16	0.84									
SB (meq/100ml)	0.06	0.13	0.38	0.23	0.05	0.98	1.00								
CE (dS/m)	-0.31	0.28	0.56	0.60	0.79	0.05	0.14	1.00							
DA (gr/cm3)	0.31	-0.55	-0.83	-0.57	-0.29	-0.43	-0.42	-0.70	1.00						
CC (cm3/cm3)	0.01	-0.17	-0.62	-0.41	-0.40	-0.17	-0.16	-0.60	0.58	1.00					
AD (cm3/cm3)	0.03	-0.36	-0.72	-0.44	-0.41	-0.17	-0.17	-0.68	0.68	0.90	1.00				
Chidr (cm/h)	-0.17	0.19	0.55	0.51	0.70	0.05	0.10	0.74	-0.55	-0.90	-0.78	1.00			
Arena (%)	0.02	0.18	0.67	0.39	0.34	0.24	0.21	0.59	-0.60	-0.98	-0.95	0.82	1.00		



Limo (%)	-0.03	-0.30	-0.68	-0.37	-0.34	-0.25	-0.25	-0.64	0.64	0.87	0.97	-0.71	-0.94	1.00	
Arcilla (%)	-0.01	-0.07	-0.59	-0.37	-0.31	-0.20	-0.16	-0.49	0.51	0.98	0.84	-0.83	-0.96	0.80	1.00

*C(Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases), CE (Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*





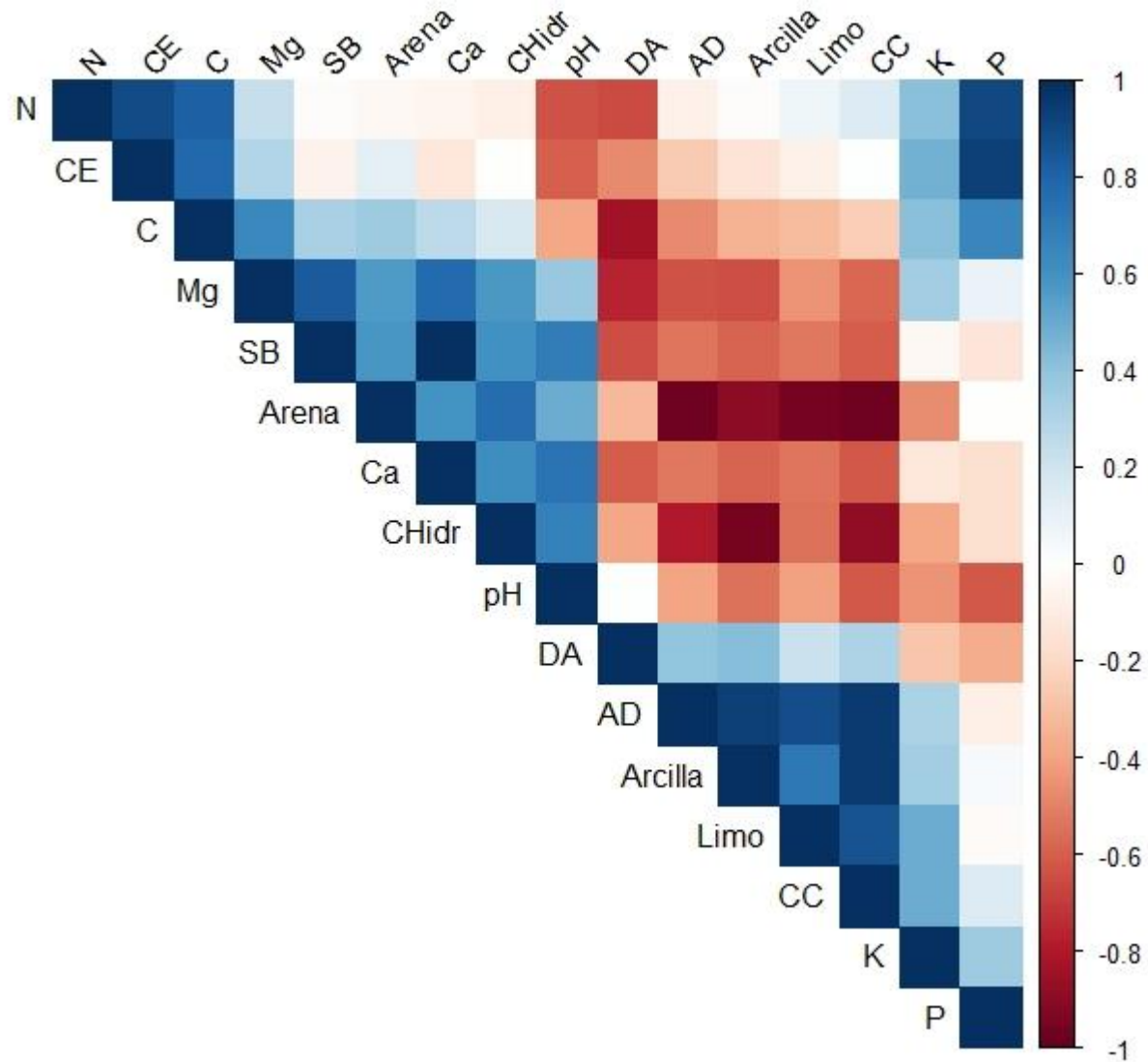


## Anexo N: Correlación por cobertura y curvatura pasto-cóncavo

	CORRELACION PASTO CONCAVO															
	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla
pH	1.00															
C (%)	-0.39	1.00														
N (ppm)	-0.63	0.81	1.00													
P (ppm)	-0.62	0.65	0.91	1.00												
K (meq/100ml)	-0.45	0.41	0.42	0.35	1.00											
Ca (meq/100ml)	0.74	0.26	-0.06	-0.17	-0.12	1.00										
Mg (meq/100ml)	0.37	0.65	0.24	0.09	0.35	0.78	1.00									
SB (meq/100ml)	0.70	0.32	-0.01	-0.13	-0.04	1.00	0.83	1.00								
CE (dS/m)	-0.59	0.79	0.90	0.94	0.48	-0.13	0.30	-0.07	1.00							
DA (gr/cm3)	0.00	-0.83	-0.66	-0.37	-0.28	-0.61	-0.76	-0.65	-0.47	1.00						
CC (cm3/cm3)	-0.62	-0.24	0.14	0.14	0.50	-0.62	-0.57	-0.60	0.00	0.30	1.00					
AD (cm3/cm3)	-0.39	-0.47	-0.07	-0.08	0.32	-0.53	-0.64	-0.54	-0.26	0.39	0.95	1.00				
Chidr (cm/h)	0.67	0.16	-0.09	-0.16	-0.39	0.62	0.58	0.61	-0.01	-0.39	-0.89	-0.79	1.00			
Arena (%)	0.50	0.36	-0.04	0.00	-0.46	0.60	0.57	0.59	0.12	-0.33	-0.97	-0.98	0.77	1.00		
Limo (%)	-0.41	-0.32	0.07	-0.02	0.49	-0.54	-0.45	-0.52	-0.08	0.22	0.86	0.89	-0.55	-0.95	1.00	
Arcilla (%)	-0.54	-0.35	-0.01	0.04	0.34	-0.58	-0.65	-0.59	-0.15	0.43	0.96	0.93	-0.95	-0.90	0.72	1.00



*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases),CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*



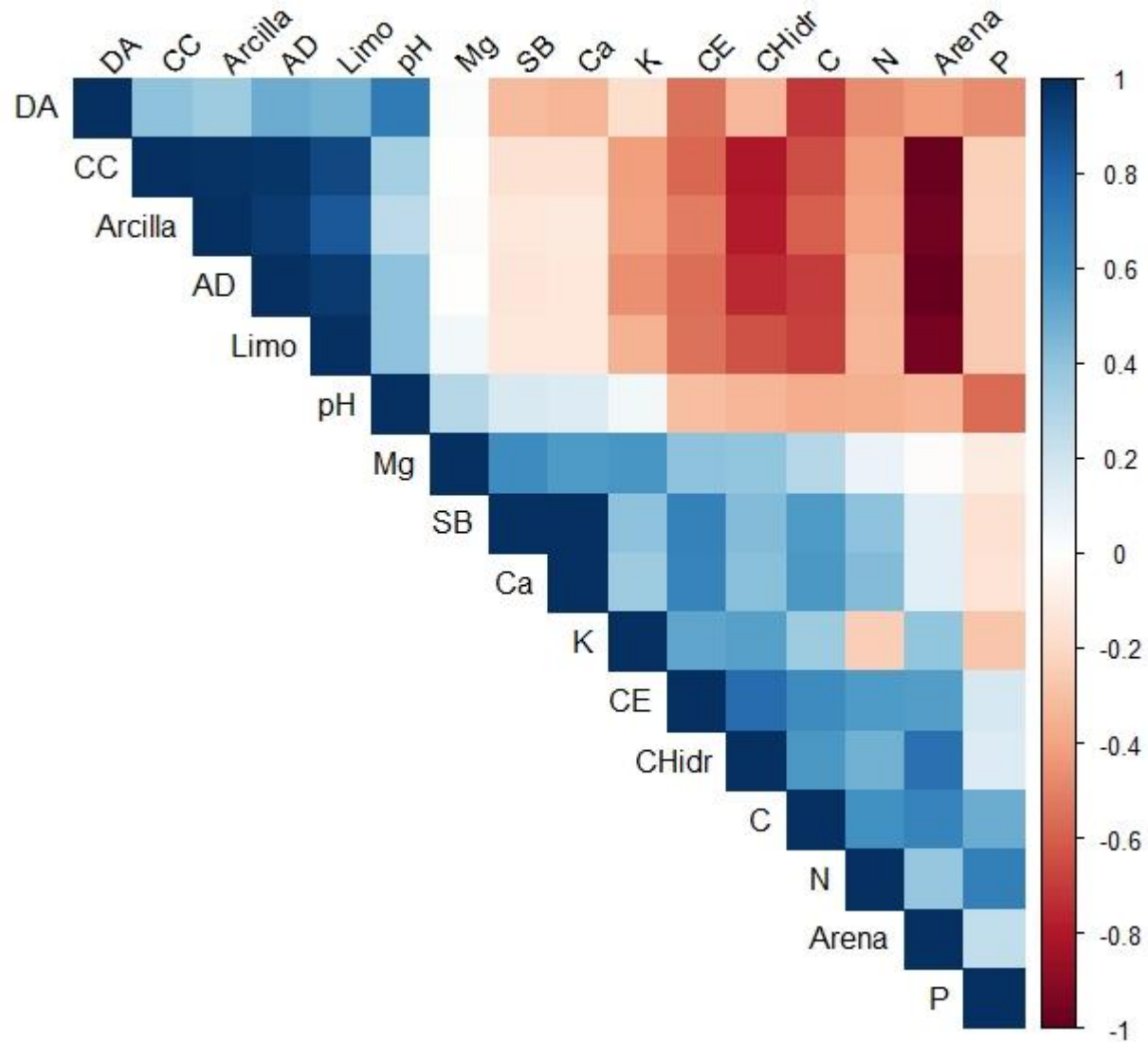


Anexo O: Correlación por cobertura y curvatura pasto-convexo

	CORRELACION PASTO CONVEXO															
	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	SB	CE	DA	CC	AD	CHidr	Arena	Limo	Arcilla
pH	1.00															
C (%)	-0.37	1.00														
N (ppm)	-0.36	0.61	1.00													
P (ppm)	-0.56	0.49	0.68	1.00												
K (meq/100ml)	0.06	0.36	-0.25	-0.27	1.00											
Ca (meq/100ml)	0.15	0.57	0.43	-0.14	0.35	1.00										
Mg (meq/100ml)	0.29	0.29	0.09	-0.11	0.59	0.57	1.00									
SB (meq/100ml)	0.16	0.57	0.41	-0.15	0.40	1.00	0.63	1.00								
CE (dS/m)	-0.31	0.63	0.57	0.18	0.53	0.67	0.40	0.67	1.00							
DA (gr/cm3)	0.71	-0.71	-0.47	-0.46	-0.18	-0.34	0.01	-0.32	-0.55	1.00						
CC (cm3/cm3)	0.33	-0.65	-0.42	-0.24	-0.41	-0.16	-0.01	-0.16	-0.57	0.41	1.00					
AD (cm3/cm3)	0.40	-0.69	-0.35	-0.26	-0.45	-0.13	0.00	-0.13	-0.56	0.49	0.98	1.00				
Chidr (cm/h)	-0.34	0.57	0.48	0.14	0.55	0.41	0.39	0.43	0.77	-0.33	-0.81	-0.74	1.00			
Arena (%)	-0.34	0.66	0.39	0.25	0.39	0.13	-0.02	0.13	0.55	-0.42	-0.99	-0.99	0.75	1.00		
Limo (%)	0.40	-0.68	-0.34	-0.26	-0.34	-0.13	0.06	-0.12	-0.55	0.46	0.90	0.95	-0.64	-0.95	1.00	
Arcilla (%)	0.26	-0.60	-0.40	-0.22	-0.40	-0.12	-0.02	-0.12	-0.51	0.35	0.99	0.95	-0.78	-0.97	0.84	1.00



*C (Carbono), N(Nitrogeno), P (Fosforo), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), SB (Saturación de Bases), CE(Conductividad Electrica), DA (Densidad Aparente), CC (Capacidad de Campo), AD (Agua Disponible), CHidr (Conductividad Hidraulica)*



Anexo P: Anova de 2 Factores Relacion Curvatura-Cobertura

ANOVA 2 FACTORES			
Parámetro	Cobertura (Co)	Curvatura (Cu)	Relacion Cu-Co
pH	0,191	0,584	0,501
C (%)	0,466	0,53	0,57
N (ppm)	0,0995	0,6388	0,7233
P (ppm)	0,526	0,794	0,628
K (meq/100ml)	0,235	0,633	0,452
Ca (meq/100ml)	0,000195	0,834634	0,278879
Mg (meq/100ml)	0,277	0,796	0,236
SB (meq/100ml)	0,00014	0,69764	0,33804
CE (dS/m)	0,0872	0,2209	0,3845
DA (gr/cm3)	0,109	0,822	0,918
CC (cm3/cm3)	0,474	0,647	0,435
AD (cm3/cm3)	0,251	0,634	0,557
Chidr (cm/h)	0,0867	0,6434	1
Arena (%)	0,135	0,936	0,898
Limo (%)	0,0482	0,9539	0,8313
Arcilla (%)	0,507	0,865	0,711

Anexo Q: Relación Pasto/Páramo (%)

Relación Pasto/Páramo	
pH	-5%
C	3%
N	48%
P	31%
K	-44%
Ca	-84%
Mg	-41%
SB	-75%
CE	49%
DA	-17%
CC	-14%
AD	-10%
CHidr	41%
Arena	5%
Limo	-56%
Arcilla	-28%