

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Impacto del tipo de cobertura forestal sobre las propiedades edáficas en una zona de bosque montano en el Parque Nacional el Cajas, provincia del Azuay”**

**Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del Título de Ingeniero  
Ambiental**

**AUTORA:**

**JENNIFER MELISSA PLAZA PATIÑO  
C.I. 0105246912**

**DIRECTOR:**

**ING. PABLO MARCELO BORJA RAMON, PhD  
C.I. 0102949088**

**CUENCA – ECUADOR**

**2018**



## RESUMEN

La región altoandina se ha caracterizado por un constante cambio de uso del suelo, por la deforestación y abandono de áreas no productivas, así como por el establecimiento y falta de manejo de plantaciones forestales con especies exóticas de pino y eucalipto. A pesar de que a estas especies se les ha atribuido impactos negativos sobre la vegetación nativa, poco se conoce del impacto que tendría el tipo de cobertura sobre el suelo en zonas de bosque montano en la región sur del Ecuador. Este estudio fue realizado en las zonas de Mazán y Llaviucu, en el Parque Nacional Cajas, al sur de los Andes del Ecuador y en donde se evaluaron algunas propiedades físico-químicas edáficas entre cuatro tipos de coberturas forestales: bosque primario, bosque secundario, plantación de pino, y plantación de eucalipto. Mediante un muestreo sistemático se obtuvieron las muestras de suelo para posteriormente realizar los análisis correspondientes en laboratorio. Se encontraron diferencias sobre las variables, pero de especial interés densidad aparente, punto de saturación, limo, pH, MO, Cu, Fe, CIC. Existe diferencias al momento de cambiar de cobertura nativa a plantaciones exóticas dando a conocer que afecta las propiedades del suelo y sus servicios ecosistémico reflejando la existencia de una disminución en la densidad aparente de un  $0.425 \text{ g/cm}^3$  en suelos bajo coberturas de pino y un pH ácido de 3.61. Con este estudio se espera contribuir al manejo y conservación de la vegetación forestal y del recurso suelo mediante el conocimiento de la variación entre los tipos de cobertura y las propiedades físico-químicas producidos por las especies exóticas tradicionalmente ocupadas en los planes de reforestación en la Sierra ecuatoriana.

**Palabras clave:** suelo, cambio de cobertura, eucalipto, pino, propiedades físicas, propiedades químicas



## ABSTRACT

The high Andean region has been characterized by a constant change in land use, deforestation and abandonment of non-productive areas, as well as the establishment and lack of management of forest plantations with exotic species of pine and eucalyptus. Although these species have been attributed negative impacts on the native vegetation, knowledge of the impact of the type of coverage on the soil in montane forest areas in the region of Ecuador. This study was conducted in the areas of Mazán and Llaviucu, in the Cajas National Park, south of the Andes of Ecuador and where some edaphic physical-chemical properties were evaluated among four types of sketch: primary forest, forest secondary, pine plantation, and eucalyptus plantation. The quality of organic matter in soils can also be reduced, due to the processes that take place when they decompose and change in these areas of the páramo. By means of a systematic sampling, the soil samples were obtained to subsequently carry out the corresponding analyzes in the laboratory. Several differences were found on the variables, but of special interest bulk density, saturation point, silt, pH, MO, Cu, Fe, CIC. There are differences when changing native coverage to exotic plantations, revealing that it affects the properties of the soil and its ecosystem services, reflecting the existence of a  $0.425 \text{ g / cm}^3$  decrease in apparent density in soils under cover pine and an acid pH of 3.61. This study is expected to contribute to the management and conservation of forest vegetation and soil resources through knowledge of the variation between types of cover and physical-chemical properties produced by exotic species traditionally occupied in the reforestation plans in the Ecuadorian Sierra.

**Key words:** soil, cover change, eucalyptus, pine, physical properties, chemical properties



## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	10
<b>2.1 Objetivo general</b> .....	10
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	11
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	11
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	13
<b>4.1 ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	14
<b>4.2 TOMA DE MUESTRAS</b> .....	16
<b>4.3 ANÁLISIS DE MUESTRAS</b> .....	20
<b>4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS</b> .....	28
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	29
<b>5.1 CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS BAJO COBERTURAS DE BOSQUE MONTANO</b> .....	29
<b>5.2 EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS DE BOSQUE MONTANO</b> .....	41
<b>5.3 EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS DE BOSQUE MONTANO</b> .....	45
<b>5.4 ESTIMACIÓN DE DIFERENCIAS DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO DE BOSQUE PRIMARIO A BOSQUE SECUNDARIO, BOSQUE SECUNDARIO DE EUCALIPTO Y BOSQUE SECUNDARIO DE PINO</b> .....	50
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	52
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	53
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	55
<b>9. GLOSARIO</b> .....	61
<b>10. ANEXOS</b> .....	64

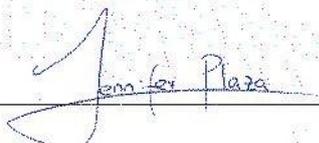
## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Jennifer Melissa Plaza Patiño en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Impacto del tipo de cobertura forestal sobre las propiedades edáficas de una zona de bosque montano en el Parque Nacional el Cajas, provincia del Azuay", 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, 4 de mayo de 2018



---

Jennifer Melissa Plaza Patiño

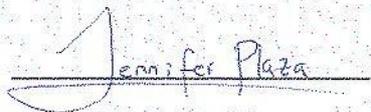
C.I: 0105246912

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Jennifer Melissa Plaza Patiño, autor/a del trabajo de titulación "Impacto del tipo de cobertura forestal sobre las propiedades edáficas en una zona de bosque montano en el Parque Nacional el Cajas, provincia del Azuay", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 04 de mayo de 2018

A handwritten signature in cursive script that reads "Jennifer Plaza". The signature is written in dark ink and is positioned above a horizontal line.

Jennifer Melissa Plaza Patiño

C.I: 0105246912



## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por ser un apoyo incondicional durante toda mi vida para lograr completar mis estudios satisfactoriamente y enseñarme a salir adelante.

A mi hermano por ser mi amigo siempre y haberse partido el lomo conmigo en el campo ayudándome a sacar las muestras para acabar la tesis.

A la facultad de Agronomía de la Universidad de Cuenca por haberme dado la acogida y abrirme las puertas para realizar este proyecto.

Al Dr. Pablo Borja por darme una mano al brindarme todos sus conocimientos y darme todas las herramientas necesarias para la culminación de este proyecto.

Al Ing. Pablo Quichimbo por haber aportado a este proyecto con sus ideas y saberes.

A la Ing. Amanda Suqui por la paciencia en el laboratorio y ayudarme con todo lo necesario.

A Mishel Palacios por su amistad, gran paciencia y perseverancia que sin ella seguramente no hubiera tenido las facilidades y la confianza para poder terminar este trabajo.

A mis amigos por estar conmigo en las buenas y en las malas apoyándome siempre que los necesitaba en especial a Lorena Abad, Daniela Avilés, Ismael Izquierdo, Gustavo Pacheco, Iván Palacios, Miguel Rivera, Angélica Vicuña, Carina Villegas. Gracias por haber estado todo este transcurso junto a mí y por aportar de manera positiva a mi vida.

## **1. INTRODUCCIÓN**



El suelo es considerado un cuerpo natural y dinámico que sufre cambios a través del tiempo y el espacio. Es soporte de una gran variedad de organismos como, por ejemplo, la vegetación; considerada la más importante debido a que de ésta dependen las actividades agrícolas, fuente alimenticia para la humanidad (Bautista, 1999). Los cambios y alteraciones en la superficie terrestre que son producidas por actividades humanas son de especial importancia actualmente. Estos cambios son tan importantes que, combinados, pueden tener un efecto a nivel global. Por ejemplo, es conocido que estos fenómenos son responsables de una notable pérdida de la diversidad biológica en el mundo, de al menos una parte del cambio climático, de la degradación de los suelos y del deterioro de muchos servicios ecológicos (Gómez, 2011). Una de las principales consecuencias a nivel local y global del cambio del uso del suelo es su degradación, demostrándose que el efecto del uso puede producir cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Islam & Weil, 2000).

En Ecuador históricamente han existido grandes procesos de colonización y ampliación de la frontera agrícola que han ocasionado la degradación, fragmentación y pérdida de los bosques naturales (Sierra, 2013). La redistribución de tierras durante dos períodos de la reforma agraria (1964 y 1973) impulsó el cambio de uso del suelo en las zonas altas (3500 m.s.n.m) de la región andina, reemplazando masivamente a los bosques nativos por áreas productivas para la agricultura y ganadería. Igualmente, el desarrollo productivo en la zona andina implicó la introducción y uso de especies forestales exóticas como el pino (*Pinus patula*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (F. Jordán, 2003). Inicialmente, las plantaciones con especies exóticas parecieron favorecer la estabilidad de los ecosistemas, creación de más biomasa, aumento de la cobertura vegetal y la entrada de materia orgánica al suelo (Mansourian, Vallauri, & Dudley, 2005). Sin embargo estudios locales han reportado indicios de más desventajas antes que beneficios dados por el establecimiento de plantaciones exóticas considerando diferentes aspectos tanto ambientales como socio – económicos (Buytaert et al, 2007; Chacón et al, 2009; Crespo et al., 2010; Leischner y Bussmann, 2003; Quichimbo et al., 2012; Quichimbo et al, 2016a; Quichimbo et al, 2016b).

En los Andes, las zonas de bosques montanos que se extienden desde los 500 hasta los 4000 metros sobre el nivel del mar (Kapelle, 2004), son de gran importancia para la sociedad y han sido definidos como ecosistemas estratégicos por estar



localizados en zonas de recarga de cuencas hidrográficas, que proveen de agua a los centros poblados andinos (Cuesta, Peralvo, & Valarezo, 2009). Como ejemplo de aquello se tienen las ciudades de Quito y Cuenca en los Andes ecuatorianos cuya dotación de agua depende en gran medida de los páramos y bosques montanos (Vásconez & Hofstede, 2006). La provisión de agua es un servicio ecosistémico para los centros poblados localizados en los valles interandinos, en gran medida es posible gracias a las características que presentan los suelos de estos ecosistemas y que difieren notablemente de los suelos de ecosistemas tropicales de baja altitud (Kapelle, 2004).

Pese a su importancia, existen aún muchos vacíos de conocimiento sobre los impactos en el suelo causados por diferentes factores especialmente aquellos inducidos por el ser humano. Estudios sobre el tema a nivel de los Andes ecuatorianos, han enfatizado el impacto en los suelos causado por el cambio de uso, por ejemplo, al cambiar una cobertura vegetal nativa por una de uso agropecuario o forestal. Así, los trabajos de Farley (2007); Farley y Kelly (2004); Farley et al, (2004) y Harden (2007) han puesto énfasis en los impactos en los suelos en cuanto a contenido de nutrientes, carbono orgánico y propiedades de contenido de humedad de los suelos bajo ambientes altoandinos del norte del país al cambiar de la típica cobertura de pajonal a plantaciones de pino. Mientras que en el sur del Ecuador los estudios han enfatizado los impactos en la hidrología y en la hidropedología de ecosistemas igualmente localizados en zonas altoandinas de pajonales alteradas por la introducción de plantaciones de pino (Buytaert et al, 2006; Buytaert et al, 2011; Buytaert et al, 2007a; Buytaert et al, 2007b; Crespo et al, 2010; Ochoa-Tocachi et al, 2016).

Muchos trabajos investigativos se han concentrado en las zonas de páramo, sus usos o coberturas de sus suelos (básicamente comparando pajonales con zonas forestadas con especies exóticas predominantemente de pino); en tanto que poco se ha estudiado sobre el impacto directo estos por efecto de múltiples usos o tipos de cobertura del suelo en zonas distintas (Quichimbo et al., 2012; Ramírez et al., 2014). Esto resalta la necesidad de ampliar el estudio hacia otros ecosistemas localizados en altitudes inferiores a la de los páramos, es decir, las zonas de bosques montanos, en donde las afecciones antrópicas también estarían causando impactos en la física y



química de los suelos; en el estudio de Quichimbo et al (2016) reportaron cambios en los suelos, tanto en algunas propiedades hidrofísicas como conductividad hidráulica saturada del suelo y el contenido de humedad a punto de saturación, así como en algunas propiedades químicas como la saturación de bases y el contenido de fósforo, en un estudio considerando áreas sujetas a cultivos anuales, pastos y plantaciones de pino en zonas de bosques montanos en la provincia del Azuay y Cañar. Sin embargo, también se ha podido notar que los impactos en gran medida dependerán de las condiciones originales del lugar y calidad de sitio, tal como se puede evidenciar en las zonas de bosques montanos del sur de los Andes del Ecuador, donde la diversidad es notablemente amplia (Quichimbo et al., 2012).

Sin embargo, poco se conoce sobre cuáles son las características edáficas que se verían alteradas o afectadas debido a algún cambio específico de la tipología forestal, caso muy diferente al cambio de uso del suelo con fines agropecuarios, en zonas de ecosistemas de bosques montanos altos, que según Kappelle (2004) estarían localizados entre los 2400 – 3600 metros sobre el nivel del mar.

Este cambio de tipología forestal estaría dado por una transición de bosques primarios a secundarios, en donde la influencia de plantaciones de especies exóticas (dominantemente pino y eucalipto), se encuentran ampliamente distribuidos en la región Sierra del Ecuador desde la mitad del siglo XX (Knoke et al., 2014; Mejía y Pacheco, 2013) y han afectado la cantidad y calidad de los bosques en el Ecuador.

Con estos antecedentes surge la necesidad del estudio de los impactos causados por el cambio de cobertura forestal sobre los suelos. Los conocimientos generados conducirán a un mejor entendimiento de las relaciones suelo – planta en ambientes forestales montanos que son relevantes por los servicios ambientales que proveen, una contribución que sin duda ayudará a la consecución del manejo sostenible y conservación del recurso forestal en una zona crítica ambientalmente como es la zona de bosque montano del Parque Nacional el Cajas en los Andes del sur del Ecuador.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**



- Evaluar el impacto en las propiedades edáficas del tipo de cobertura forestal: bosque nativo, bosque secundario, plantaciones de pino y plantaciones de eucalipto en las zonas de Mazán y Llaviucu del Parque Nacional Cajas en el sur de los Andes ecuatorianos.

## **2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto del tipo de cobertura forestal sobre las propiedades físicas del suelo en el área de estudio.
- Evaluar el efecto del tipo de cobertura forestal sobre las propiedades químicas del suelo en el área de estudio.
- Determinar si existen diferencias significativas entre las medias que corresponden a las diferentes coberturas vegetales consideradas para cada variable del suelo analizada tanto físicas como químicas.
- Determinar cuantitativamente las diferencias que puede producir un cambio desde un bosque nativo a una cobertura con pino y eucalipto.

## **3. MARCO TEÓRICO**

El bosque montano es uno de los ecosistemas menos conocidos y mayormente amenazados en el Ecuador, está situado en un rango altitudinal de 2500 a 3600 m.s.n.m dentro de la cordillera de los Andes (Sierra, 1999).

Brown y Kappelle (2001) consideran al Ecuador como el segundo país con mayor superficie de bosques montanos en Sudamérica con 11200000 hectáreas, de las cuales tan solo 1448700 hectáreas están protegidas. Kapos et al (2000) indican que los bosques están ubicados en las zonas montañosas que se caracterizan por su clima templado donde la irradiación es menor que en los páramos, debido a que los ecosistemas del bosque montano se encuentran en zonas donde la humedad relativa se mantiene constante durante la mayor parte del tiempo aun sin la presencia de precipitaciones.



En el país cuenta con una biodiversidad extraordinaria, sin embargo, presenta altas tasas de deforestación entre 1.5 a 1.7%, equivalente a 198092 ha/año, en zonas interandinas la vegetación nativa ha sido prácticamente eliminada desde la época colonial y reemplazada por cultivos, pastos y plantaciones exóticas (pino y eucalipto) (Braulete, 2012).

El Ministerio del Ambiente (2012) menciona que la deforestación causa un daño al ecosistema ya que altera los suministros de agua y calidad del suelo por diferentes usos, hechos que impulsan a que las instituciones gubernamentales elaboren proyectos para el uso adecuado de recursos naturales. El MAE realizó un análisis comparativo de deforestación, indicando que en el año de 1990 la cobertura nativa fue aproximadamente del 62% del territorio nacional, 10 años más tarde se presentó una disminución de 1 millón de hectáreas de vegetación natural, es decir la cobertura nativa represento un 58% del territorio nacional, siguiendo una secuencia en el 2008 la cobertura nativa representó un 57% con este estudio se demuestra que la tasa de deforestación en el período 1990 – 2000 fue del 0.71% mientras que en el período del 2000 – 2008 se redujo al 0.66%, concluyendo que el primer período presentó la tasa más alta de deforestación (Ministerio del Ambiente, 2012).

Mena y Medina (2000) determinaron que los Andosoles típicos de estos bosques son suelos de origen volcánico de color oscuro y muy porosos en las cuales la química del hierro y/o aluminio juega un rol principal en su formación.

Debido a la presencia de altos contenido de compuestos órgano minerales estables especialmente en el horizonte superficial, los Andosoles resultan ser suelos muy bien estructurados que propician un buen drenaje, pero a su vez presentan una buena retención de humedad. Estos suelos poseen una densidad aparente baja por lo que son fáciles de arar, sin embargo, son susceptibles a la compactación en caso de realizar sobre pastoreo (ETAPA EP, 2014).

Debido a que existe una alta cantidad de acumulación de materia orgánica es posible que en los bosques se mantenga una estructura del suelo estable



contribuyendo de esta forma a controlar la erosión, ya que son suelos con alta capacidad de infiltración que ayudan a disminuir las tasas de escorrentía superficial e intervienen en la reducción de sedimentos o nutrientes concentrados en el agua de los ríos (Burga et al., 2010).

Lal (1996) en su estudio menciona que las propiedades físicas del suelo conservado bajo bosque mantienen características favorables en comparación con las encontradas en suelos destinados a diferentes usos. Comúnmente al sustituir una cobertura forestal nativa por pastos y cultivos el régimen hidrológico se ve afectado debido a cambios en las propiedades hidrofísicas del suelo, como: infiltración y capacidad de retención de agua (Turner et al., 1996), dirección y magnitud de los flujos hacia los ríos resultando en erosión, deslizamientos, inundaciones, contaminación, degradación del régimen hidrológico y escasez de agua; los bosques andinos suelen encontrarse en pendientes considerables lo que los hace más vulnerables a la erosión al darse un cambio de cobertura vegetal (Stadmuller, 1987).

Teniendo presente el problema y las consecuencias que conlleva la deforestación de los bosques alto andinos, tanto la regulación de la escorrentía superficial como la erosión tienen una relación directa con la presencia de la vegetación. Por lo tanto, la manera más efectiva para el control de erosión debido a las lluvias y vientos es asegurar que los suelos posean una densa vegetación. Si esto no fuera posible, se aumenta la infiltración (Stadmuller, 1987) y se limita el cambio de uso de suelo.

#### **4. METODOLOGÍA**

Este es un estudio descriptivo y analítico en donde se investigó el efecto del tipo de cobertura forestal sobre un grupo de variables físicas (color, textura y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, concentración de macronutrientes y



capacidad de intercambio catiónico) de los suelos de las zonas de los bosques de Mazán y Llaviucu del Parque Nacional Cajas, cada uno de estos sitios con 16 parcelas.

#### 4.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarcó los bosques de las áreas protegidas de Mazán y Llaviucu en el Parque Nacional Cajas (PNC) (Figura 1). Espacios representativos que albergan una importante biodiversidad y son fuentes hidrológicas que alimentan el sistema de agua potable de la ciudad de Cuenca a través de la subcuenca del río Quinuas (ETAPA EP, 2014). Las dos áreas se integraron como zonas de conservación y protección gracias a un buen manejo del PNC. Llaviucu se encuentra hacia el norte y Mazán hacia el centro sur, entre los 2.900 m.s.n.m y 3400 m aproximadamente de altura sobre el nivel del mar. La temperatura promedio se encuentra entre 8 °C y 12 °C y con un porcentaje de humedad (90%) derivado de un régimen de lluvias elevado (aproximadamente 1000 mm anuales) (Chacón, 2016).

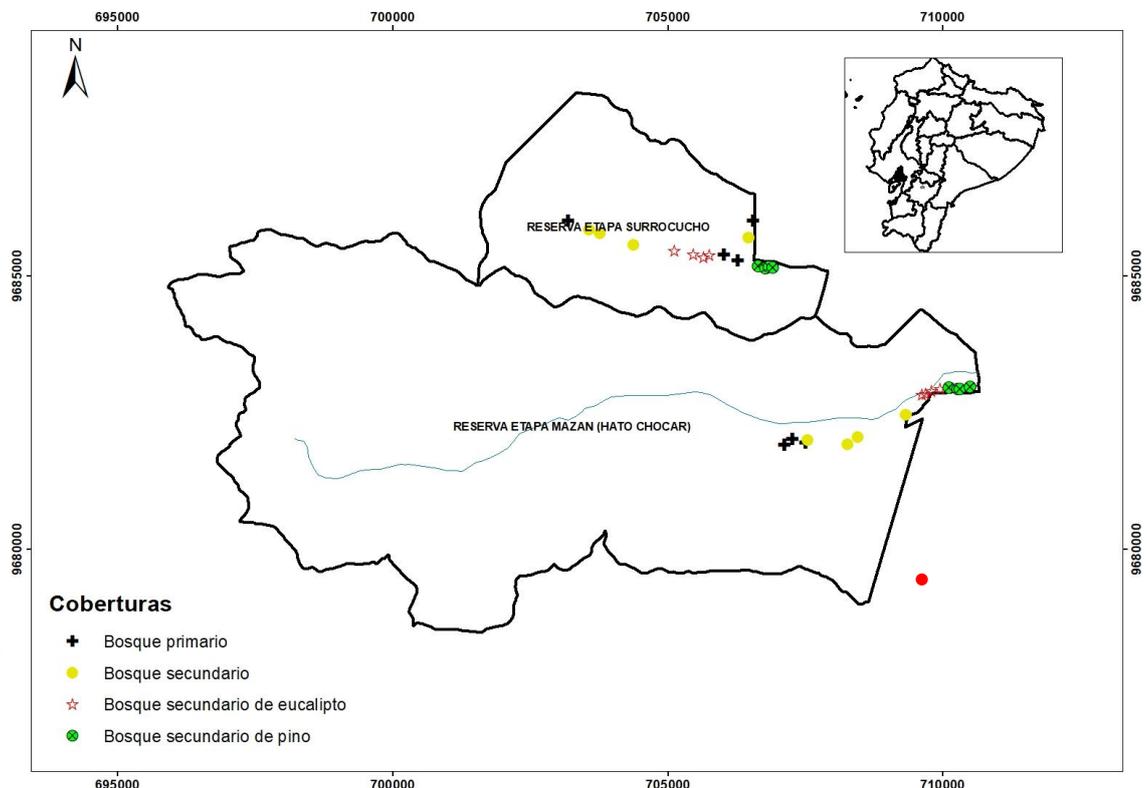




Fig 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

*Elaboración propia*

La vegetación que se encuentra en los bosques montanos es considerada como única ya que solo se la encuentra en dichos ecosistemas (MOBOT, 2016). Los bosques cuentan con una alta diversidad de plantas de alta montaña en el mundo, con una población de 5000 especies de plantas (Llambí et al., 2012). En los páramos Sudamericanos existen alrededor de 4000 especies vasculares y un 60% de estas plantas son endémicas de este ecosistema.

La mayoría de los árboles están cubiertos por musgos y epífitas especialmente *Bromeliaceae*, *Gesneriaceae*, *Pteridophyta*, las *Orchidaceae* en menor presencia (Montano & Aldaz, 2006). Y existen árboles y arbustos como *Symplocos quitensis* Brand, *Critoniopsis dorrii* H. Rob, *Miconia crocea* (Desr.) Naudin, *Gynoxys dielsiana* Domke, *Piper andreanum* C.DC, *Hedyosmum luteinii* Todzi que fueron identificados en el proyecto de “Regeneración natural del bosque secundario alto andino bajo la influencia de diferentes tipos de cobertura vegetal nativa y de plantaciones exóticas en el Parque Nacional el Cajas en la provincia del Azuay” (2017).



El suelo del PNC es sumamente rico en materia orgánica, gracias a que existen aquí una gran variedad de flora endémica y adaptada además de sus características en cuanto al clima. Según la Guía de Rutas del Parque Nacional Cajas la materia orgánica alcanza un espesor de 50 cm a 100 cm, lo cual promueve la retención de agua y una escorrentía anual que favorece la disponibilidad continua de este recurso (ETAPA EP, 2014).

#### 4.2 TOMA DE MUESTRAS

En cada uno de los sitios, Llaviucu y Mazán, existen parcelas rectangulares de 500 m<sup>2</sup> (20 m x 25 m) que corresponden a cuatro tipos de cobertura forestal: bosque primario (BP), bosque secundario (BS), plantaciones de eucalipto (BSE) y plantaciones de pino (BSP). En cada tipo de cobertura forestal hay cuatro parcelas, teniendo en total de 16 parcelas por cada sitio de estudio. En cada parcela fueron tomadas cuatro muestras de suelos (muestreo sistemático), tres muestras de horizonte O (Oi, Oe y Oa) y una muestra de capa mineral de 20 cm de profundidad que en casi todos los casos corresponden a un horizonte A.

Para la toma de muestras en campo se utilizó de un marco de madera de 20 x 20 cm, varillas de metal, cuchillo, fundas transparentes, un barreno, un muestreador, anillos de Kopecky y un combo.

El procedimiento fue el siguiente:

1. Se dividió a la parcela en cuatro cuadrantes (Figura 2) en donde se procedió a tomar las muestras (23 muestras por parcela). Se colocó el marco de madera de 20 x 20 cm fijándolo con las varillas de metal (Figura 3) en uno de los cuadrantes, en una zona que visualmente no estuviera intervenida y a una distancia mínima de cinco metros del límite de la parcela, según la metodología del proyecto: “*Regeneración natural del bosque secundario alto andino bajo la influencia de diferentes tipos de cobertura vegetal nativa y de plantaciones exóticas en el Parque Nacional el Cajas en la provincia del Azuay*” (2017).

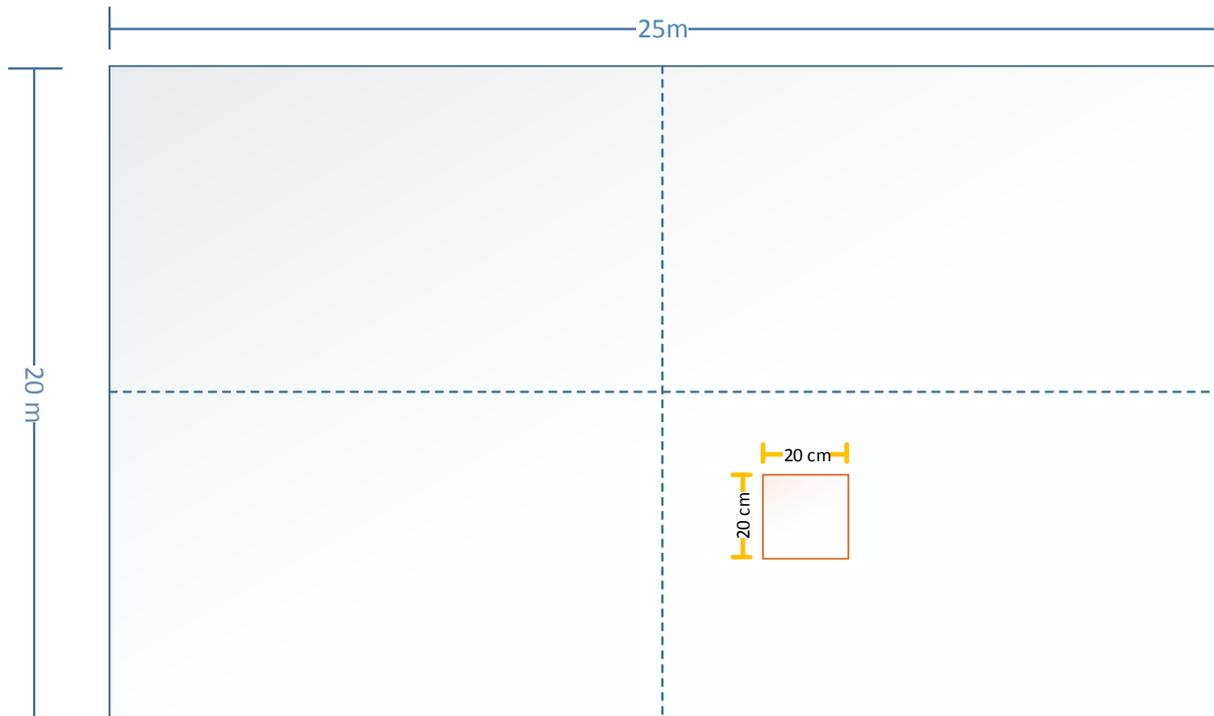


Figura 2. Dimensiones de las parcelas  
Elaboración propia.



Figura 3. Marco de madera colocado en la zona a muestrear

2. Con el cuchillo se cortó el perfil superficial dentro del marco interno con la finalidad de cortar hojas y raíces que conformarían parte de la muestra (Figura 4) y se las almacenó en una funda.



Fig 4. Corte del contorno del marco de madera para recolección de muestra.

3. Basándose en el tacto se obtuvo una mayor precisión para la determinación de los horizontes orgánicos (Oi, Oe y Oa) y se los colocó cada uno en su respectiva funda (Figura 5); para su posterior análisis químico.



Fig 5. Determinación de horizontes a base de tacto.

4. Se retiró el marco, y en la cavidad formada al remover el material, se procedió a medir la profundidad de cada horizonte con una regla (Figura 6). Los horizontes se determinaron visualmente mediante el cambio de interfaz. De las cuatro caras de la cavidad se tomaron las medidas de profundidad para posteriormente obtener un promedio de cada horizonte.



*Figura 6. Medidas de profundidad de cada horizonte,*

5. Para la toma de muestra de la capa mineral se utilizó un barrenó, este debía ser introducido a 20 cm de profundidad (Figura 7). Se tomaron dos muestras, correspondientes a las esquinas diagonales del interior del marco. Estas fueron utilizadas para los análisis físicos y químicos.



*Figura 7. Toma de muestra de la capa mineral con el barrenó.*

6. Por último, se colocó el anillo de Kopecky de 100 cm<sup>3</sup> en el muestreador y se tomó la muestra inalterada en el medio de la cavidad a unos 15 cm de profundidad aproximadamente (Figura 8). Después de haber tomado la muestra se lo cubrió con tapas de plástico y se los envolvió con cinta adhesiva para evitar la pérdida de humedad.



*Figura 8. Toma de muestra inalterada (anillo de Kopecky).*

El procedimiento descrito anteriormente desde el paso uno al paso cinco se lo repitió en los cuatro cuadrantes de la parcela; mientras que el paso seis únicamente para tres de los cuatro cuadrantes.

Al finalizar cada toma de muestras estas fueron llevadas en seguida al laboratorio de física de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Cuenca para ser pesadas. Posteriormente, las fundas fueron abiertas para que las muestras iniciaran su proceso de secado al aire libre dentro del laboratorio. Este proceso de secado duró alrededor de 15 a 20 días, y fueron pesadas nuevamente. La diferencia entre el peso inicial y final de las muestras fueron escritos en una ficha de registro con el objetivo de obtener el porcentaje en peso de humedad del suelo (Anexo 5).

### **4.3 ANÁLISIS DE MUESTRAS**

#### **ANÁLISIS FÍSICOS**

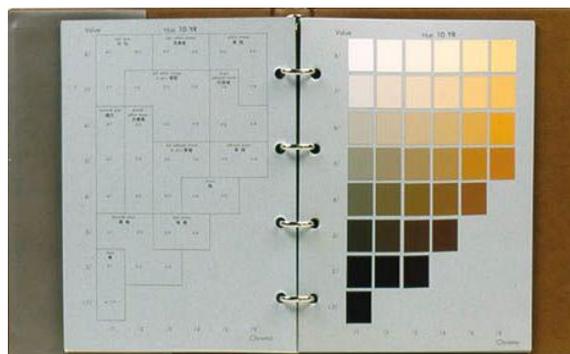


Las muestras fueron secadas al ambiente en el laboratorio de física de suelos. Posteriormente, se utilizó un tamiz de 2 mm para filtrar las muestras y obtener material homogéneo para preparar las muestras compuestas.

Los protocolos que se aplican para los análisis físicos (color, textura y densidad aparente) de las muestras obtenidas fueron los siguientes:

### *Color*

Para fines prácticos se determina el color en húmedo por comparación con las tablas de color de Munsell (Figura 9). Estas tablas incluyen tres características y un nombre para cada color. Un ejemplo, la clave del color café rojizo podría ser 7.5YR 5/3. La primera característica corresponde al matiz (hue), el cual indica la relación del color con el rojo, amarillo, verde, azul o púrpura, y asigna una carta para cada matiz. La segunda característica 5/ se refiere al brillo (value) e indica la claridad del color; varía desde oscuro en la parte inferior hasta más claro en la parte superior. La tercera y última característica, 3, expresa la intensidad (chroma) indica la fuerza del color o su desviación al gris, con una misma claridad.



*Figura 9. Cartas de color estándar de Munsell*

### *Textura*



Para el análisis de la textura es de suma importancia el pre – tratamiento de la muestra con el propósito de completar la dispersión de las partículas primarias. Por lo tanto, materiales cementantes, como por ejemplo materia orgánica y carbonato de calcio, podrían tener que ser removidos. Para realizar este análisis se prepararon muestras compuestas con las muestras de capa mineral y fue pasado por un tamiz de 2 mm removiendo la mayor parte de materia orgánica.

A estas muestras tamizadas se les realizó un pre tratamiento que consistía en agregar agua oxigenada al 30% para la remoción total de materia orgánica. En este caso se pesaban 50 gramos de muestra y fue colocado en un vaso de precipitación y añadíamos 15 mililitros de agua destilada y 15 mililitros de agua oxigenada lo que causa un efecto de efervescencia. La muestra fue colocada en una placa de calor a 60 °C y se incrementa gradualmente hasta llegar a los 90 °C (Figura 10). Se debe agregar máximo cinco veces más agua oxigenada en la muestra para asegurarnos que toda la materia orgánica haya sido removida.



Figura 10. Muestra en la placa de calor

A continuación, se pesaron 20 gramos de suelo y se colocaba 20 mililitros de agente dispersante de partículas y se agregó agua hasta completar un volumen aproximado de 400 ml. Esta solución se mezcló en la batidora por cinco minutos (Figura 11), la arena fue separada de la arcilla y limo con un tamiz de 0.063mm (Figura 12). La arena fue fraccionada mediante un tamizado en seco y las fracciones de limo y arcilla pueden ser determinadas mediante el



hidrómetro. El procedimiento consiste básicamente en medir la densidad de la suspensión, la cual está en función de la concentración y tipo de partículas presentes.



*Figura 11. Mezcla de solución en batidora      Figura 12. Separación de arena mediante un tamiz*

La fracción de arena retenida en el tamiz se colocó en un recipiente a 105 °C por 24 horas para secar el material. Las fracciones de limo y arcilla fueron colocadas en el hidrómetro y se tomaban las mediciones de densidad en diferentes tiempos a 50 segundos, 5 minutos, 2 horas, 16 horas y 24 horas (Figura 13).



*Figura 13. Método del hidrómetro*

La determinación de la textura por el método del hidrómetro presenta limitaciones en cuanto a la dispersión de las partículas en los suelos formados a partir de



cenizas volcánicas, por lo que los resultados pueden contener errores. El método produciría una dispersión incompleta de las partículas en este tipo de suelos debido a los complejos orgánico – minerales que forman pseudo agregados de arena y/o limos (Llambí et al., 2012). Sin embargo, este método se utiliza en suelos del Austro por motivos de comparación.

### ***Densidad aparente (DA)***

Para la determinación de este parámetro se utilizaron los anillos que contenían la muestra inalterada de suelo los cuales fueron sometidos a 105 °C en la estufa durante 24 horas, transcurrido ese tiempo se pesó la muestra y el anillo y se obtuvo la densidad aparente mediante la siguiente formula:

$$D_a = \frac{(\text{peso seco de la muestra + anillo}) - (\text{peso del anillo})}{\text{Volumen del anillo}}$$

### ***Capacidad de retención de humedad***

a) Las muestras inalteradas fueron registradas al ingresar en el laboratorio, se retiraron las tapas que protegían la muestra, se limpiaron los anillos evitando la pérdida de suelo, se cortaron las raíces pequeñas y finalmente fueron enraizadas.

b) En el bisel del anillo se dispuso una tela nylon sujeta con una liga como medida de protección, las muestras se colocaron en bandejas y paulatinamente se agregó agua hasta alcanzar casi todo el anillo dejando un centímetro libre permaneciendo así durante una semana (Figura 14). Después de alcanzar el punto de saturación, se secó el exceso de agua de la parte externa de los anillos y se procedió a pesarlos incluyendo telas y ligas; este procedimiento permitió el cálculo del contenido de agua del suelo sometido a pF 0.



Figura 14. Muestras sometidas a sobresaturación

c) Para pF 2.52 o capacidad de campo (CC) se utilizaron placas de cerámica (previamente saturadas) de extractores de presión, sobre la placa se esparció pasta saturada de material limoso con el objetivo de obtener un mejor contacto entre la muestra y la placa, en seguida se ubicaron los anillos en las placas preparadas y en el fondo de los extractores se colocó un recipiente con agua para evitar la pérdida de humedad por transpiración. Por último, estas placas fueron colocadas dentro de los extractores y se procedió a cerrarlas. Se utilizó el sistema de válvulas del equipo y se estableció una presión correspondiente a pF 2.52 (0.33 bares) (Figura 15). Después de 7 días o hasta que no se observe salida de agua de los extractores de presión se determinó el peso de los anillos con muestra, posteriormente se procedió a secar las muestras a 105° C durante 24 horas para determinar el peso seco del suelo.



Figura 15. Anillos colocados en los extractores de presión



**d)** Para 4.2 o punto de marchitez (PM) se elabora pasta saturada con suelo proveniente de la muestra alterada de cada horizonte representativo de los sitios de estudio, la que fue tamizada (tamiz 2 mm). Posteriormente fue colocada en anillos de PVC previamente codificados (1 cm de alto x 4.6 de diámetro) estos fueron ubicados sobre las placas de cerámica saturadas de 15 bares para disponerlas con facilidad en el extractor y nuevamente con el sistema de válvulas se estableció la presión requerida de 4.2 cabe destacar que los anillos estuvieron durante 7 días o hasta que no se observe salida de agua de los extractores (Figura 16), estas fueron pesadas y en secuencia fueron secadas en la estufa a 105° C durante 24 horas para determinar el peso seco del suelo.



*Figura 16. Anillos colocados en los extractores de presión*



## ANÁLISIS QUÍMICOS

Las propiedades químicas que se analizaron fueron: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y concentración de macronutrientes. Las muestras de 100 gramos aproximadamente de horizonte O y A respectivamente fueron enviadas al Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro – AGROCALIDAD en Quito para la determinación de estas propiedades.

A continuación, en la Tabla 1 se enumeran los parámetros que fueron determinados con sus métodos estandarizados:

*Tabla 1. Métodos de determinación de variables químicas*

<b>Variables</b>	<b>Método</b>
<b>pH</b>	Potenciometría
<b>Materia Orgánica (MO)</b>	Método de Walkley y Black
<b>Nitrógeno (N)</b>	Volumétrico
<b>Fósforo (P)</b>	Colorimétrico
<b>Potasio (K)</b>	
<b>Calcio (Ca)</b>	
<b>Magnesio (Mg)</b>	
<b>Cobre (Cu)</b>	Absorción atómica
<b>Hierro (Fe)</b>	
<b>Manganeso (Mn)</b>	
<b>Zinc (Zn)</b>	
<b>Azufre (S)</b>	Turbidimétrico
<b>Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)</b>	Cálculo de cationes básicos



## 4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

### 4.4.1 Análisis de las variables: revisión de los datos

Los parámetros que fueron seleccionados para el análisis estadístico fueron las variables físicas como densidad aparente (DA), punto de saturación (PS), capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM), arcilla, limo, arena. En cuanto a los parámetros químicos se tomaron en consideración el pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, S, CIC. Tanto como para los parámetros físicos y químicos se utilizó a correlación de Pearson. Se identificaron valores atípicos al comparar los valores de cada variable respecto a  $\pm 2$  veces la desviación estándar. Sin embargo, se corrió el análisis sin eliminarlos de la base datos.

Una vez armada la base de datos, se procedió a utilizar la prueba de normalidad de Shapiro – Wilks al 5% para verificar si las variables son normales y consecuentemente aplicar un test ANOVA para reflejar si existen diferencias en las propiedades físico químicas del suelo bajo los diferentes tipos de cobertura vegetal. Adicionalmente se emplearon los diagramas de caja (Box – plots) para ver su comportamiento respecto a la mediana. En el caso en que no presentaron normalidad se utilizó el test no paramétrico de Kruskal Wallis para observar las diferencias.

### 4.4.2 Análisis del efecto del tipo de cobertura en las propiedades del suelo

Se evaluó cual es el efecto del tipo de cobertura vegetal sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Se obtuvo resultados mediante la aplicación de pruebas estadísticas, en este caso el ANOVA al 5% de significancia con el software R. Para los datos que no tuvieron la normalidad esperada se utilizó el test no paramétrico de Kruskal Wallis, con la finalidad de identificar las diferencias entre las propiedades físicas y químicas de los suelos bajo las diferentes coberturas y a su vez que variables fueron afectadas de manera significativa debido a la influencia del cambio de uso de suelo en el área de estudio.



#### 4.4.3 Análisis de las diferencias producidas por el cambio de bosque nativo a una cobertura de pino y eucalipto.

Finalmente, al haber aplicado el análisis ANOVA sobre las variables que presentaron normalidad, como siguiente paso se realizó la prueba de Tukey para hacer comparaciones por grupos y visualizar las diferencias de un cambio de bosque primario (BP) a bosque secundario de eucalipto (BSE) o a un bosque secundario de pino (BSP) para las variables de interés de una manera más específica.

### 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS BAJO COBERTURAS DE BOSQUE MONTANO

##### 5.1.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Obtenido los valores con el test de Shapiro Wilks (Tabla 2a y Tabla 2b) se determinó que no todas las variables son normales por lo que se realizó una correlación de Pearson (Tabla 3) para todos los datos. Para los horizontes orgánicos se utilizó la prueba de Kruskal Wallis ya que ninguno de los datos presentaba normalidad (Tabla 4); en cuanto al horizonte A (Tabla 4) se utilizó la prueba ANOVA para las propiedades hidrofísicas y para ciertas propiedades químicas (ver valores en negrita de la Tabla 2b) que presentaban normalidad y en cuanto a las otras variables se utilizaba Kruskal Wallis ya que no cumplían el supuesto de normalidad.

Tabla 2a. Prueba de normalidad Shapiro – Wilks para propiedades físico químicas (A)

Horizonte A	Shapiro - Wilks
	P<0.05
<b>DA</b>	0.2594
<b>PS</b>	0.4262
<b>CC</b>	0.1871
<b>PM</b>	0.079
<b>ARENA</b>	0.2876
<b>LIMO</b>	0.7936
<b>ARCILLA</b>	0.5084

DA. Densidad aparente, PS. Punto de saturación, CC. Capacidad de campo, PM. Punto de marchitez



Continuación Tabla 2a

Horizonte A	Shapiro - Wilks
	P<0.05
<b>pH</b>	<b>0.0001</b>
<b>MO</b>	<b>0.0004</b>
<b>N</b>	<b>0.0004173</b>
<b>P</b>	0.2653
<b>K</b>	<b>0.022</b>
<b>Ca</b>	0.9349
<b>Mg</b>	<b>0.0214</b>
<b>Fe</b>	<b>0.00000378</b>
<b>Mn</b>	0.2292
<b>Cu</b>	<b>0.00785</b>
<b>Zn</b>	<b>0.005</b>
<b>S</b>	0.07
<b>CIC</b>	<b>0.005652</b>

pH. Potencial hidrógeno, MO. Materia orgánica, P. Fósforo, K. Potasio, Ca. Calcio, Mg. Magnesio, Fe. Hierro, Mn. Manganeseo, Cu. Cobre, Zn. Zinc, S. Azufre, CIC. Capacidad de intercambio catiónico.

Tabla 2b. Prueba de normalidad Shapiro Wilks para propiedades químicas (O)

Horizonte O	Shapiro - Wilks
	P<0.05
<b>pH</b>	3.56E-09
<b>MO</b>	0.03495
<b>N</b>	0.01999
<b>P</b>	1.17E-06
<b>K</b>	2.08E-11
<b>Ca</b>	3.41E-09
<b>Mg</b>	0.001148
<b>Fe</b>	2.20E-16
<b>Mn</b>	0.00193
<b>Cu</b>	8.44E-13
<b>Zn</b>	8.80E-08
<b>S</b>	4.83E-10
<b>CIC</b>	4.80E-10

pH. Potencial hidrógeno, MO. Materia orgánica, P. Fósforo, K. Potasio, Ca. Calcio, Mg. Magnesio, Fe. Hierro, Mn. Manganeseo, Cu. Cobre, Zn. Zinc, S. Azufre, CIC. Capacidad de intercambio catiónico.



A continuación, se muestra unas figuras generales para entender ciertas variables de las cuales serán escogidas las de interés para este estudio (Figura 17).

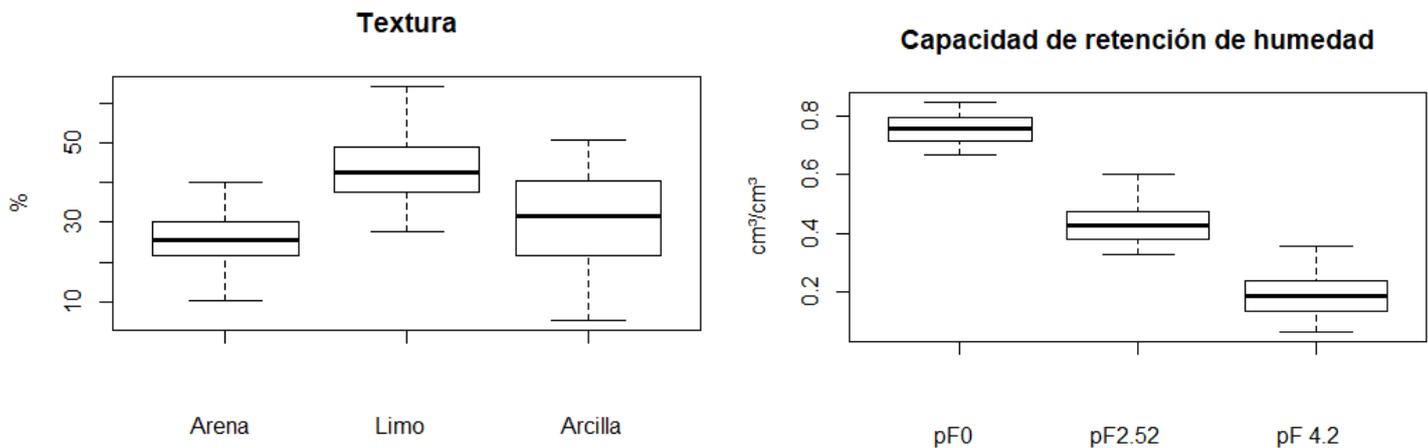


Figura 17. Box - plots de propiedades hidrofísicas

Los suelos limosos no suelen ser frecuentes suelen limitarse a zonas de acumulación aluvial. Si la proporción de MO en el suelo es baja, la CIC y las reservas de nutrientes son poco importantes. El grado de desarrollo de la estructura es muy bajo, ya que los limos carecen de capacidad de agregación, también posee una cierta capacidad de retención de agua, superior a la de las arenas. Además de ser partículas relativamente finas, pueden ser arrastradas por el agua y depositarse relleno los poros, de forma que disminuye la aireación y la permeabilidad (Jordán, 2005).

La capacidad de retención de humedad comparado con la curva pF para páramo semi – húmedo (Anexo 8) observamos que para pF 2.52 tiene un porcentaje de humedad del 70% mientras que en la zona de estudio nos da aproximadamente un 55%. Para pF 4.2 en la curva nos da alrededor de un 40% de contenido humedad en comparación con la investigación que nos muestra que se encuentra en un 30%. La retención de agua en los suelos de páramo puede ir desde el 90% al punto de saturación y disminuir hasta un 50 – 30% al punto de marchitez. Al ser Andosoles poseen mayor cantidad de macroporos lo que produce una mayor retención de agua (Llambí et al., 2012).

Se observan las correlaciones de variables de mayor interés y que se supone producen un mayor impacto en el suelo y los servicios ambientales que estos poseen.

**Tabla 3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE VARIABLES QUÍMICAS DEL HORIZONTE O**

	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC
pH	1.0000											
MO	0.1630	1.0000										
P	-0.2814	-0.0547	1.0000									
K	<b>0.7218</b>	0.2241	0.1299	1.0000								
Ca	<b>0.6735</b>	0.1228	0.0032	0.6681	1.0000							
Mg	<b>0.6846</b>	0.1521	0.1809	<b>0.7640</b>	<b>0.7656</b>	1.0000						
Fe	<b>-0.7284</b>	-0.2706	0.0565	<b>-0.6837</b>	<b>-0.6358</b>	<b>-0.7066</b>	1.0000					
Mn	<b>-0.5109</b>	-0.1455	0.1467	-0.4639	-0.4355	-0.4660	0.4448	1.0000				
Cu	<b>-0.5135</b>	-0.0245	0.0188	-0.3452	<b>-0.5530</b>	<b>-0.6264</b>	<b>0.5423</b>	0.2879	1.0000			
Zn	-0.2819	-0.2713	0.1706	-0.2544	-0.1593	-0.2649	0.3312	<b>0.5477</b>	0.2657	1.0000		
S	0.3422	0.1345	0.1391	<b>0.6116</b>	0.4345	0.3734	-0.2801	-0.0007	-0.1013	-0.0875	1.0000	
CIC	0.4844	0.1564	-0.0150	0.4419	<b>0.6156</b>	<b>0.5023</b>	<b>-0.5575</b>	-0.2950	<b>-0.5552</b>	-0.2015	0.1779	1.0000

pH. Potencial hidrógeno, MO. Materia orgánica, P. Fósforo, K. Potasio, Ca. Calcio, Mg. Magnesio, Fe. Hierro, Mn. Manganeseo, Cu. Cobre, Zn. Zinc, S. Azufre, CIC. Capacidad de intercambio catiónico.



**Tabla 4. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL HORIZONTE A**

	DA	PS	CC	PM	Arcilla	Limo	Arena
DA	1.0000						
PS	<b>-0.8675</b>	1.0000					
CC	-0.1908	0.4801	1.0000				
PM	0.2886	-0.1597	0.3482	1.0000			
Arcilla	-0.0876	-0.0225	-0.3152	-0.4889	1.0000		
Limo	0.4691	-0.3800	0.1186	<b>0.5606</b>	<b>-0.8156</b>	1.0000	
Arena	-0.3923	0.4894	0.4059	0.2885	<b>-0.7152</b>	0.2493	1.0000

DA. Densidad aparente, PS. Punto de saturación, CC. Capacidad de campo, PM. Punto de marchitez



Continuación Tabla 4

	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC
<b>pH</b>	1.0000											
<b>MO</b>	-0.3724	1.0000										
<b>P</b>	0.2794	-0.2847	1.0000									
<b>K</b>	<b>0.6090</b>	-0.1740	0.4204	1.0000								
<b>Ca</b>	<b>0.6983</b>	-0.3908	0.3049	<b>0.7019</b>	1.0000							
<b>Mg</b>	<b>0.6799</b>	-0.2931	0.4129	<b>0.8266</b>	<b>0.8431</b>	1.0000						
<b>Fe</b>	<b>-0.8727</b>	0.2572	-0.3231	<b>-0.7720</b>	<b>-0.7338</b>	<b>-0.7527</b>	1.0000					
<b>Mn</b>	-0.0138	-0.0510	0.3819	0.0343	-0.2606	-0.1193	-0.0095	1.0000				
<b>Cu</b>	<b>-0.7729</b>	0.2906	-0.2540	<b>-0.6517</b>	<b>-0.8447</b>	<b>-0.8692</b>	<b>0.7208</b>	0.2450	1.0000			
<b>Zn</b>	0.0347	-0.0652	0.4176	0.2176	-0.0832	-0.0071	-0.1128	<b>0.6866</b>	0.1836	1.0000		
<b>S</b>	0.3465	-0.1441	<b>0.5281</b>	<b>0.7367</b>	<b>0.5194</b>	<b>0.6132</b>	<b>-0.5471</b>	0.1870	-0.3863	0.3295	1.0000	
<b>CIC</b>	<b>0.6700</b>	-0.2757	0.1668	<b>0.5038</b>	<b>0.5618</b>	<b>0.6978</b>	<b>-0.6430</b>	0.0262	<b>-0.6731</b>	-0.1237	0.4313	1.0000

pH. Potencial hidrógeno, MO. Materia orgánica, P. Fósforo, K. Potasio, Ca. Calcio, Mg. Magnesio, Fe. Hierro, Mn. Manganeseo, Cu. Cobre, Zn. Zinc, S. Azufre, CIC. Capacidad de intercambio catiónico.

Mediante el análisis de correlación se observó que existe una relación entre el pH y ciertos cationes (valores en negrita Tabla 3) en este caso al existir mayor K, Ca y Mg existe un aumento de pH en el suelo. Y para Fe, Mn, Cu debido a su relación inversa hace que el pH aumente cuando existen estos componentes en menor proporción.

En cuanto a las relaciones con CIC se aprecia que P, Mn, Zn y S no favorecen a la misma.

MO no tiene relación con ninguno de los parámetros mencionados ya que este no posee cationes.

En la Tabla 3 se observan las correlaciones de las propiedades físicas del horizonte A, en donde una de las principales están el punto de marchitez con respecto al limo, esto podría llegar a ser perjudicial para el recurso hídrico debido a que mayor infiltración de agua mayor punto de marchitez. Y en cuanto a las texturas se asume que a mayor cantidad de arcilla menor proporción de limo y arena.

En cuanto a las propiedades químicas del horizonte A se tiene una correlación parecida a la de los horizontes orgánicos en cuanto al pH, ya que al existir menor concentración de Fe y Cu existe un aumento de pH aquí el Mn no interviene en este aumento o disminución. Se mantienen los cationes K, Ca y Mg en cuanto a mientras mayor concentración mayor pH. Una investigación conducida en Estados Unidos refuta los conceptos asumidos por mucho tiempo que indican que se debe mantener una relación específica entre calcio y magnesio en el suelo. Según Kelling y Schulte (2000) las relaciones específicas de Ca:Mg no tienen efecto consistente en el rendimiento de los cultivos y compactación del suelo. Otra correlación importante es la de Mg a mayor concentración de Mg disminuye Fe y Cu.

### **5.1.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA**

Todas las zonas de estudio bajo la cobertura nativa presentaron horizontes orgánicos formados por hojarasca que proviene de la vegetación. En forma general las capas orgánicas presentaron las siguientes características: un horizonte O con un espesor aproximadamente de 5 cm (Tabla 5). Suelo típico representado por Andosoles que poseen una profundidad del horizonte A de 20 cm, con un color negro marrón (10YR 2/2). La textura es franca; en cuanto a contenidos de arena se encuentra entre 10 a 40% y un promedio de 26%, el limo esta entre 30 y 65% y un promedio de 43%, la arcilla entre valores de 5 a 50% y un promedio de 30%, la DA con valores entre 0.144 y 0.774 g/cm<sup>3</sup> y un promedio de 0.506 g/cm<sup>3</sup>, el pF 0 se encuentra entre 0.667 y 0.846



cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> con un promedio de 0.754 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, para pF 2.52 el contenido se encuentra entre 0.331 y 0.6 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> y con un promedio de 0.4374 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> y finalmente para pF 4.2 su contenido se encuentra entre 0.066 y 0.355 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> con un promedio de 0.197 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (Tabla 6).

Tabla 5. *Espesor de horizontes orgánicos*

Cobertura	Horizontes (cm)		
	Oi	Oe	Oa
<b>LBP</b>	1.8	1.7	1.4
<b>LBS</b>	1.5	1.3	0.9
<b>LBSE</b>	2.0	1.5	0.9
<b>LBSP</b>	5	3.8	3.4
<b>MBP</b>	2.5	1.4	1.1
<b>MBS</b>	2.1	1.5	0.9
<b>MBSE</b>	2.4	1.7	1.0
<b>MBSP</b>	2.9	2.5	1.2

L, Llaviucu; M, Mazan; BP, Bosque Primario; BS, Bosque Secundario; BSE, Bosque Secundario de Eucalipto; BSP, Bosque Secundario de Pino.

En la Tabla 7 se observan los valores globales de los horizontes Oi, Oe y Oa en el que el pH se encuentra entre valores de 3.36 a 6.86 con un promedio de 5.90, para MO con valores entre 45.93 a 51.43% y un promedio de 49.20%, valores de N entre 2.3 a 2.57 y el promedio de 2.46, la concentración de fósforo entre 16.5 a 138.1 ppm con un promedio de 52.79 ppm, las concentraciones de K entre 0.39 a 14.4 cmol/kg con un promedio de 3.44 cmol/kg, los valores de Ca entre 0.52 a 24.89 cmol/kg con un promedio de 17.84 cmol/kg, la concentración de Mg se caracteriza por estar entre 0.37 y 8.41 cmol/kg con un promedio de 4.39 cmol/kg, Fe entre valores de 2.91 y 1997 ppm con un promedio de 117.71 ppm, Mn con concentraciones características de 7.31 a 304.5 ppm y un promedio de 129.09 ppm, concentraciones de Cu entre 0.78 y 8.45 ppm y con un promedio de 1.64 ppm, en Zn con valores de 7.43 a 37.77 ppm con un promedio de 15.00 ppm, S con concentraciones de 11.66 a 582.37 ppm y un promedio de 157.106 ppm y finalmente CIC con valores entre 11.19 y 20.14 cmol/kg y un promedio de 15.57 cmol/kg.

Tabla 6. Valores mínimos – máximos, promedio y mediana de las variables físicas según el tipo de coberturas de los horizontes minerales (A)

Cobertura		DA (g/cm <sup>3</sup> )	PS (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	CC (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	PM (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
<b>BP</b>	(Min – Max)	(0.144 – 0.5)	(0.716 -0.842)	(0.362 – 0.6)	(0.066 – 0.242)	(20.58 – 40.16)	(29.23 – 50.56)	(18.81 – 50.19)
	Promedio	0.2785	0.784	0.481	0.160	29.753	39.785	30.463
	Mediana	0.2585	0.780	0.468	0.159	29.385	38.635	28.12
<b>BS</b>		(0.194 – 0.616)	(0.681 – 0.846)	(0.404 – 0.551)	(0.128 – 0.289)	(10.23 – 37.4)	(27.59 – 49.34)	(25.13 – 50.62)
		0.362	0.772	0.476	0.191	24.594	37.901	37.505
		0.318	0.779	0.474	0.186	25.07	37.2	38.62
<b>BSE</b>		(0.223 – 0.774)	(0.667 – 0.827)	(0.341 – 0.471)	(0.07 – 0.314)	(15.58 – 26.97)	(29.22 – 64.32)	(17.92 – 50.38)
		0.535	0.725	0.397	0.193	21.800	44.585	33.616
		0.570	0.709	0.391	0.189	22.455	43.235	34.37
<b>BSP</b>		(0.354 – 0.575)	(0.669 – 0.787)	(0.331 – 0.461)	(0.123 – 0.355)	(16.6 – 40.29)	(39.97 – 60.04)	(5.32 – 39.94)
		0.425	0.735	0.396	0.244	29.636	50.738	19.625
		0.369	0.742	0.386	0.262	30.8	50.96	16.82
<b>Promedio Total</b>		0.400	0.754	0.437	0.197	26.44	43.25	30.30

DA, Densidad aparente; PS, Punto de saturación; CC, Capacidad de campo; PM, Punto de marchitez; BP, Bosque primario; BS, Bosque secundario; BSE, Bosque secundario de eucalipto; BSP, Bosque secundario de pino.

Tabla 7. Promedios de propiedades químicas según horizontes orgánicos (O)

Horizonte/ Componente	Oi	Oe	Oa	Promedio Total
<b>pH</b>	4.13 – 6.86 5.93	3.36 – 6.76 5.91	3.55 – 6.78 5.84	5.90
<b>MO</b>	46.15 – 51.28 49.47	45.93 – 50.8 48.92	47.3 – 51.43 49.20	49.20
<b>NT</b>	2.31 – 2.56 2.47	2.3 – 2.54 2.45	2.36 – 2.57 2.46	2.46
<b>K</b>	0.86 – 14.4 3.75	0.85 – 12.6 4.17	0.39 – 4.43 2.39	3.44
<b>Ca</b>	14.27 – 23.01 18.24	3.38 – 23.51 18.00	0.52 – 24.89 16.93	17.72
<b>Mg</b>	0.98 – 8.41 4.74	1.37 – 8.35 4.52	0.37 – 8.03 3.90	4.39
<b>CIC</b>	12.36 – 20.06 15.42	12.42 - 19.93 15.57	11.19 – 20.14 15.71	15.57
<b>P</b>	27.7 – 138.1 60.16	19.6 – 136.2 57.77	16.5 – 104.4 40.43	52.79
<b>Fe</b>	10.61 – 688.24 74.67	10.31 – 973.488 89.19	2.91 - 1997 189.28	117.72
<b>Mn</b>	29.51 – 267.6 134.87	40.68 – 275.7 130.12	7.31 – 304.5 122.29	129.093
<b>Cu</b>	0.78 – 4.4 1.51	0.78 – 8.45 1.81	0.78 – 4.16 1.59	1.64
<b>Zn</b>	7.43 – 28.25 13.32	7.7 – 33.62 16.025	7.65 – 37.77 15.66	15.00
<b>S</b>	11.66 – 564.16 174.03	19.6 – 136.2 188.01	40.58 – 206.81 109.28	157.11

pH, potencial hidrógeno; MO, Materia orgánica; N, Nitrógeno; P, Fósforo; K, Potasio; Ca, Calcio; Mg, Magnesio; Fe, Hierro; Mn, Manganeseo; Cu, Cobre; Zn, Zinc; S, Azufre; CIC, Capacidad de Intercambio Catiónico.

Por la naturaleza de su formación y condiciones ambientales, estos suelos por lo general tienen valores de pH ligeramente ácido, como lo muestra el estudio de Bach et al. (2003) en sitios de bosque montano en Bolivia que concuerda con esto.



### 5.1.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

En la Tabla 8 se presentan las propiedades químicas de estos suelos en la capa mineral donde se aprecia el pH con valores que van desde 3.61 a 6.18 con un promedio de 5.33, siendo el resultado un nivel neutro, aunque ligeramente ácido, MO con valores entre 23.02 y 51.84% y un promedio de 36.82%, con respecto a estos resultados Lozano et al. (2007) encontraron que los suelos bajo bosques andinos se caracterizan por un alto contenido de materia orgánica presentando un promedio de 12.67% en todo el perfil. N entre 1.15 y 2.59% con un promedio de 1.84%, los valores de P entre 8.7 y 31 ppm y un promedio de 17.22 ppm, K con valores entre 0.07 y 2.97 cmol/kg y con un promedio de 0.943 cmol/kg, Ca con valores entre 7.91 y 21.27 cmol/kg y con un promedio de 14.358 cmol/kg, Mg entre 0.17 y 4.43 cmol/kg y con un promedio de 1.766 cmol/kg, Fe con valores entre 10.606 y 1142 ppm y con un promedio de 249.650 ppm, Mn entre 2.58 y 171.8 ppm con un promedio de 75.75 ppm, el contenido de Cu con valores entre 0.551 y 4.32 ppm con un promedio de 1.763 ppm, los valores de Zn entre 1.79 y 19.27 ppm con promedio de 7.322 ppm, S con valores entre 8.53 y 166.87 ppm y un promedio de 73.238 ppm y finalmente la CIC con valores entre 3.96 y 20.23 cmol/kg con un promedio de 14.805 cmol/kg.

Las principales características de los suelos de Llaviucu y Mazán vienen dadas por las propiedades típicas del suelo y también por el aporte de la materia orgánica por parte del bosque lo cual da características únicas como en el estudio realizado por Silver, W.L., et al, (1999), donde los contenidos y características de los suelos son similares, como en el caso del pH que es ligeramente ácido y posee un alto contenido de materia orgánica y la densidad aparente se encuentra en un rango de 0.60 y 1.44 g/cm<sup>3</sup>. Por lo general, los suelos de bosques tropicales se encuentran muy meteorizados o poseen bajo contenido de nutrientes, sin embargo la materia orgánica contiene la mayoría de nutrientes disponibles para las plantas (Wilcke et al., 2013), Esta materia orgánica es la que impone un conjunto único de características en el suelo.



Tabla 8. Promedios de las variables químicas según coberturas de los horizontes minerales (A)

Cobertura	BP	BS	BSE	BSP	Promedio Total
<b>pH</b>	5.62	5.57	5.49	4.66	5.33
<b>MO (%)</b>	37.969	32.938	35.090	41.304	36.82
<b>N (%)</b>	1.898	1.648	1.758	2.064	1.84
<b>P (ppm)</b>	17.688	18.988	17.150	15.050	17.22
<b>K (cmol/kg)</b>	1.149	1.319	0.999	0.309	0.943
<b>Ca (cmol/kg)</b>	16.008	15.635	13.48	12.31	14.36
<b>Mg (cmol/kg)</b>	2.584	2.254	1.661	0.569	1.77
<b>Fe (ppm)</b>	115.924	99.688	220.627	562.363	249.650
<b>Mn (ppm)</b>	73.25	63.604	95.578	70.580	75.75
<b>Cu (ppm)</b>	1.511	1.310	1.629	2.605	1.763
<b>Zn (ppm)</b>	7.828	7.563	6.451	7.449	7.322
<b>S (ppm)</b>	96.935	91.434	64.213	40.374	73.24
<b>CIC (cmol/kg)</b>	16.811	16.299	14.261	11.851	14.805

pH, potencial hidrógeno; MO, Materia orgánica; N, Nitrógeno; P, Fósforo; K, Potasio; Ca, Calcio; Mg, Magnesio; Fe, Hierro; Mn, Manganeseo; Cu, Cobre; Zn, Zinc; S, Azufre; CIC, Capacidad de Intercambio Catiónico; BP, Bosque Primario; BS, Bosque Secundario; BSE, Bosque Secundario de eucalipto; BSP, Bosque secundario de pino.

## **5.2 EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS DE BOSQUE MONTANO**

En Andosoles una elevada acumulación de materia orgánica es responsable del desarrollo de las propiedades físicas de manera extraordinaria, ya que es un suelo más poroso con una estructura fuerte, alta capacidad de infiltración y alta retención de humedad (Buytaert et al, 2007). En los suelos con vegetación nativa Daza et al (2014) exponen haber encontrado que la humedad retenida a capacidad de campo fue del 80% que son valores similares encontrados por Podwojewski & Poulenard (2000) en páramos de Colombia y Buytaert et al. (2006) en páramos de Ecuador.

Para el análisis de los efectos del cambio de cobertura vegetal sobre las propiedades físicas de los suelos se utilizó la información recopilada en las zonas de bosque montano de Llaviucu y Mazán. La alteración entorno a esta zona es debido al cambio de bosque primario (BP) a bosque de eucalipto (BSE) y bosque de pino (BSP) ya que traen como consecuencia que la capa de vegetación nativa desaparezca. Los suelos dedicados a estos diferentes usos según Daza et al. (2014) mostraron una reducción en su capacidad de almacenamiento de agua. Esta reducción se puede ver reflejada en disminución del drenaje interno, menor alimentación de aguas subterráneas y en los nacimientos de los ríos. Al disminuir la cantidad de agua en el perfil del suelo se favorecen problemas de erosión ya que aumenta la escorrentía.

Los bosques montanos son ecosistemas muy importantes debido a su función natural como reguladores hídricos en donde el suelo juega un papel sumamente importante. Al ser estos sistemas frágiles que sufren degradación con los cambios de uso de suelo en el estudio de Harden et al. (2015) la vegetación leñosa puede reemplazar el pajonal del páramo, y que la transición de vegetación herbácea a arbórea se acompaña de cambios en las características hidrológicas del suelo. Es probable que el uso del agua por arbustos y árboles afecte el ambiente biofísico del suelo y que la presencia de raíces leñosas, en comparación con las redes de raíces muy finas y densas del pajonal, altere la estructura del suelo y cree macroporos.

Al realizar la prueba de Shapiro - Wilks se determinó la normalidad de las variables físicas, se encontraron diferencias significativas entre los suelos bajo bosque secundario (BS) y bosque secundario de pino (BSP) (Figura 9) en donde se identificó que para el caso de la densidad aparente (DA) existe una diferencia significativa entre bosque primario (BP), bosque secundario (BS) con bosque secundario de eucalipto (BSE) y bosque secundario de pino (BSP) lo cual según Donoso,



(2008) nos indica que al tener menor densidad aparente implica que los suelos son porosos, aunque con las diferentes implicaciones que significan sus distintas coberturas, poseen buena aireación con buen drenaje y buena penetración de las raíces lo que significa un buen crecimiento y desarrollo de los árboles.

Para el caso de CC se observa un ligero descenso bajo coberturas con pino. La capacidad de campo baja de un  $0.391 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  en los sitios de BSE a un promedio de  $0.386 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  en los sitios de BSP. Esto quiere decir que la CC de agua disminuye en el caso de BSP. Esto podría deberse a la compactación del suelo, reordenamiento de los agregados y disminución de espacio poroso en los suelos con cobertura de pino como lo explica Daza et al., 2009; al observar el gráfico de cajas (Figura 17) de PS vemos que también presentan una disminución en los valores promedio en el sitio de BSP con un valor de  $0.742 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , esto produce un aumento en DA, ya que al compactarse el suelo tiende a reducirse la capacidad de retención de agua del mismo.

En los páramos del Ecuador se han realizado investigaciones con el esfuerzo de determinar el efecto del cambio de uso de suelo sobre las propiedades hídricas de los Andosoles, se hicieron hallazgos sobre la introducción de plantaciones de pino que demuestran que producen una reducción en el contenido de humedad del suelo. Por lo tanto, esta investigación confirma los resultados de las investigaciones anteriores que presentan que los cambios en el uso de suelo pueden afectar de manera significativa a las propiedades hidrofísicas del suelo, dando a conocer que el contenido de humedad es del 73%.

El estudio presentado por el estudio de Daza et al. (2009), demuestra que al disminuir la humedad de capacidad de campo y consecuentemente al producirse una pérdida de las propiedades de drenaje natural del suelo, se provoca una disminución en la retención de agua, la capacidad de infiltración, porosidad y densidad aparente, que afecta de manera directa la función hidrológica original de estos suelos.

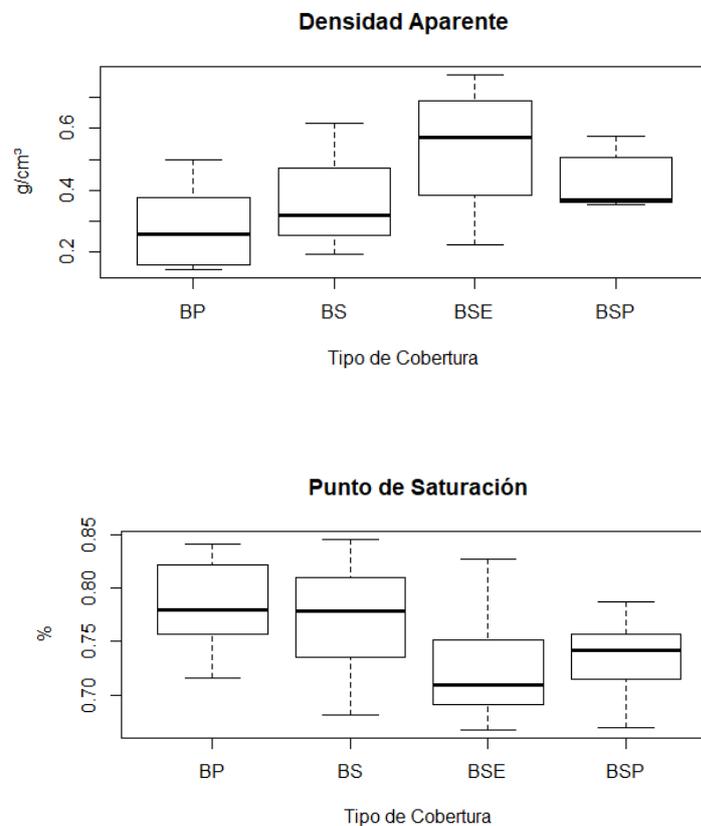
El tema del efecto de las plantaciones forestales sobre el suelo es que a su vez afecta la función hídrica y esto es debido a que la información científica no es utilizada para crear las políticas ambientales adecuadas. Una percepción común es que los árboles tengan un efecto positivo sobre la función hídrica en todos los casos. En el caso de ecosistemas forestales en Sudamérica los datos sobre el flujo de agua son extremadamente escasos (Farley, 2008). Adicionalmente, el estudio de Guo & Gifford (2002) muestra que el cambio de vegetación nativa por plantaciones forestales favorece al secuestro de carbono en la biomasa de los árboles



produciendo la pérdida de carbono en el suelo, este es el caso del bosque de Llaviucu y Mazan que al ser zonas intervenidas han cambiado su uso de suelo.

Según el estudio de Bremer et al., (2011) los suelos con plantaciones de pino suelen tener una capacidad de retención de agua muy baja en comparación a sitios con vegetación nativa. Entonces el estudio ha demostrado que la forestación de estos bosques con árboles de pino puede reducir el contenido de humedad del suelo de manera significativa. Esto confirman estudios previos localizados en plantaciones de pino (Farley et al 2004 y Buytaert et al 2007) y se suma la creciente cantidad de datos que muestran que los pinos en páramos andinos, al igual que pinos en otros lugares tropicales y templados, tienen un efecto de secado en el suelo.

Los árboles afectan las características físicas y químicas del suelo, eliminan el agua del suelo, capturan agua atmosférica que de otro modo podría pasar por encima, y afectan las tasas de evaporación, proporcionando sombra y reducción de flujo de aire. A nivel mundial, los estudios de los efectos hidrológicos de la deforestación en más de 100 cuencas pareadas indican que la producción de agua aumenta cuando se tala un bosque (Bremer et al., 2011)



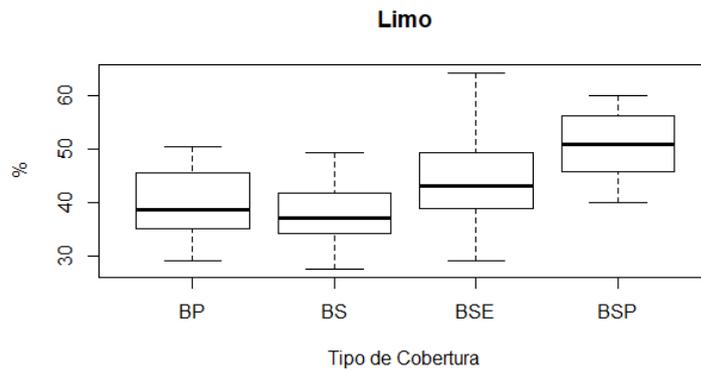


Figura 18. Boxplots bosque Llaviucu y Mazán; propiedades hidrofísicas de interés de los sitios de estudio.

La circulación de agua a través del suelo según el estudio de Bremer et al., (2011) realizado en la reserva de Mazar mostro que existe un movimiento muy rápido del agua por el perfil de suelo bajo plantaciones de pino, pero la infiltración fue de mayor consistencia en los sitios de bosque nativo.

En el punto de saturación se observa claramente que se tiene mayor porcentaje de agua en los bosques primario y secundarios, esto quiere decir que existe mayor aireación y mayor porosidad (macroporos) traduciéndose en una mejor estructura del suelo que el bosque de eucalipto y pino, sin embargo, a nivel de coloides es mejor la condición en los bosques de plantaciones forestales, esto debido a la materia orgánica. Una de las características más notorias de estos suelos es el elevado contenido de materia orgánica (MO), lo que confiere estas propiedades excepcionales para retener agua. Es responsable también de la estabilidad estructural de sus agregados.

En cuanto al agua disponible para las plantas que se obtuvo en este estudio tienen un porcentaje del 32,05% para un bosque primario, un 28,45% para bosque secundario, 20.42% en bosque de eucalipto y 15.26% para el bosque de pino. Esto nos demuestra que al existir un cambio de uso del suelo las plantaciones forestales exóticas tienden a utilizar más cantidad de agua produciendo desbalances hídricos , por ejemplo el pino por su tipo de estructura foliar y por sus acículas absorben una gran cantidad de precipitación (entre 20 y 50%) y esta agua es devuelta a la atmósfera por medio de la evaporación, lo cual causa una reducción en la conversión de la precipitación en aguas subterráneas y caudal (Hamilton, 2009).



### 5.3 EFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS DE BOSQUE MONTANO

Con los resultados se procedió a estimar los efectos sobre las propiedades químicas, en este caso los resultados obtenidos en laboratorio nos dieron para Ca, Fe y Cu fueron valores debajo del límite de detección (LOD) de cada uno de ellos. Para poder obtener valores con menos sesgo se realizó una relación entre el Ca y Mg obteniendo la ecuación de la recta y con un  $R^2$  mayor a 0.5 para estimar un valor más aproximado a lo real.

En cuanto al Fe se lo relacionó con pH ya que a menor pH mayor Fe y viceversa. Para los valores de Cu debajo del LOD, no se encontró relación alguna por lo que se procedió a utilizar el método de reemplazo propuesto por Croghan (2003) que en su estudio concluyó que la mejor manera de reemplazar estos valores es dividiendo el LOD para la . De esta manera obteniendo valores con un error del 1.29%.

En cuanto a las variables químicas de interés de los horizontes O se encuentra el pH, P, Cu y CIC (Figura 18).

Los efectos que se producen sobre los horizontes superficiales son debido al cambio de cobertura en especial cuando se encuentra bajo el bosque de pino ya que este modifica el contenido de humedad lo que atribuiría a una disminución de la materia orgánica la misma que determina de manera crucial el comportamiento de retención de agua en los suelos. Para el bosque secundario de pino se tiene un porcentaje de materia orgánica es de 32.93% lo que se traduce en un contenido de agua disponible para las plantas de un 28%.

Este proceso puede ser neutralizado en suelos con capacidad de intercambio catiónico elevado; sin embargo, en suelos limitados en estas características y propiedades puede verse afectada en forma importante su fertilidad. Es fundamental entonces realizar investigaciones al respecto para precisar las relaciones causales aquí señaladas y así desarrollar métodos que permitan neutralizar eventuales efectos negativos sobre la fertilidad del suelo (Schlatter, 1995).

Por lo tanto, al determinar los impactos en el suelo, se deben considerar las características del ciclo de nutrientes, junto con intensidad de manejo. Los niveles de fósforo y demás nutrientes variaron y parecen relacionarse directamente con los tipos de suelo.



Los suelos parecen más propensos al agotamiento de nutrientes en la superficie que en otros niveles gradacionales. Esto resulta de una explotación más intensa de la superficie del suelo por raíces de árboles debido a impedimentos físicos para una penetración más profunda de la raíz. No hay evidencia de que los procesos acelerados, ocurran como un resultado de la plantación. Se necesita más trabajo para estudiar los efectos particulares que especies, densidad de plantación y prácticas de manejo específicas (por ejemplo, uso de equipos, aplicaciones de fertilizantes) puedan tener en las propiedades del suelo e identificar los procesos que están involucrados en los cambios, aun así, el cambio de diversidad trae consigo una distribución distinta de frecuencias de individuos por especie, que señala en dirección a un cambio en el equilibrio biológico (Schlatter, 1995).

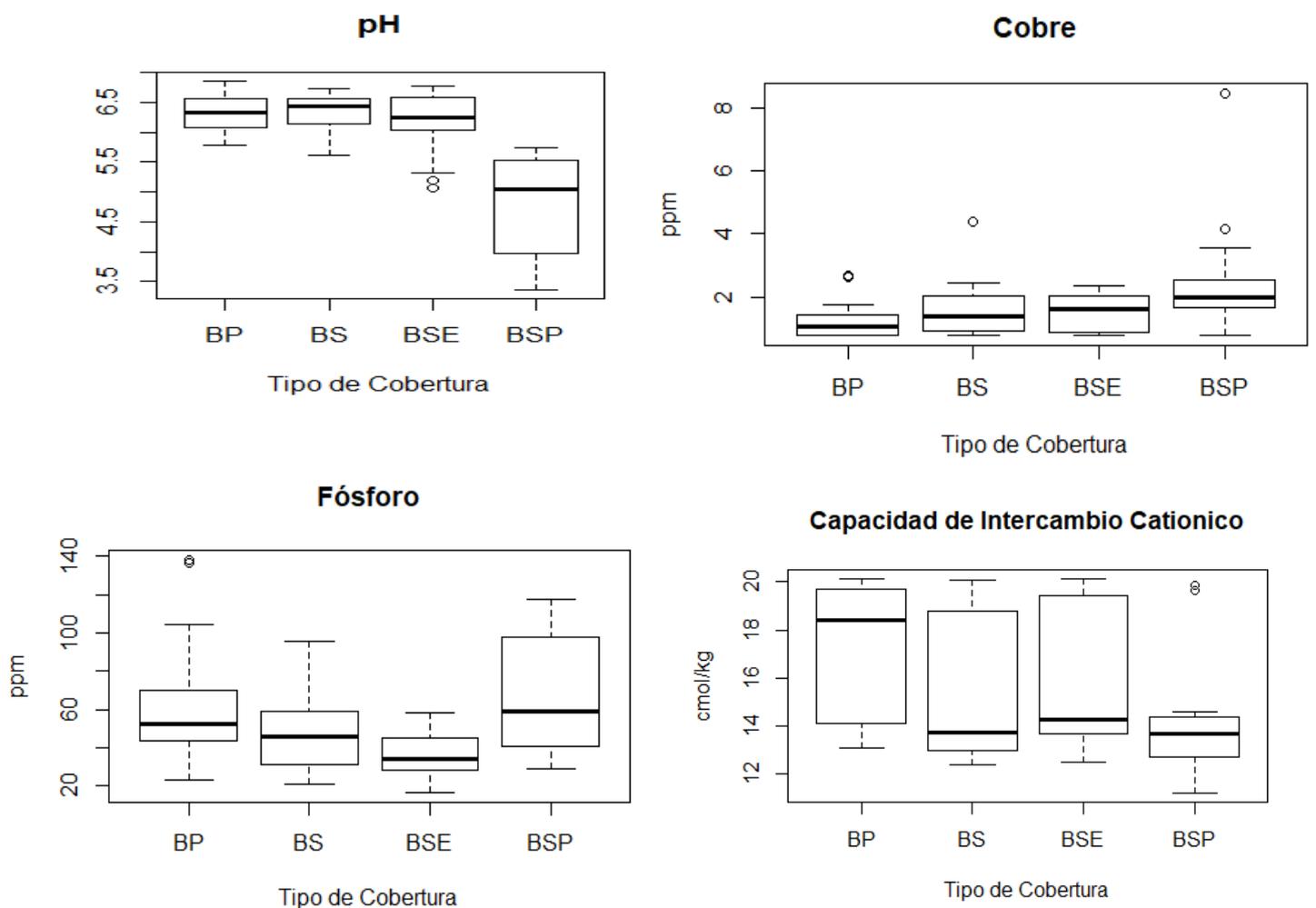
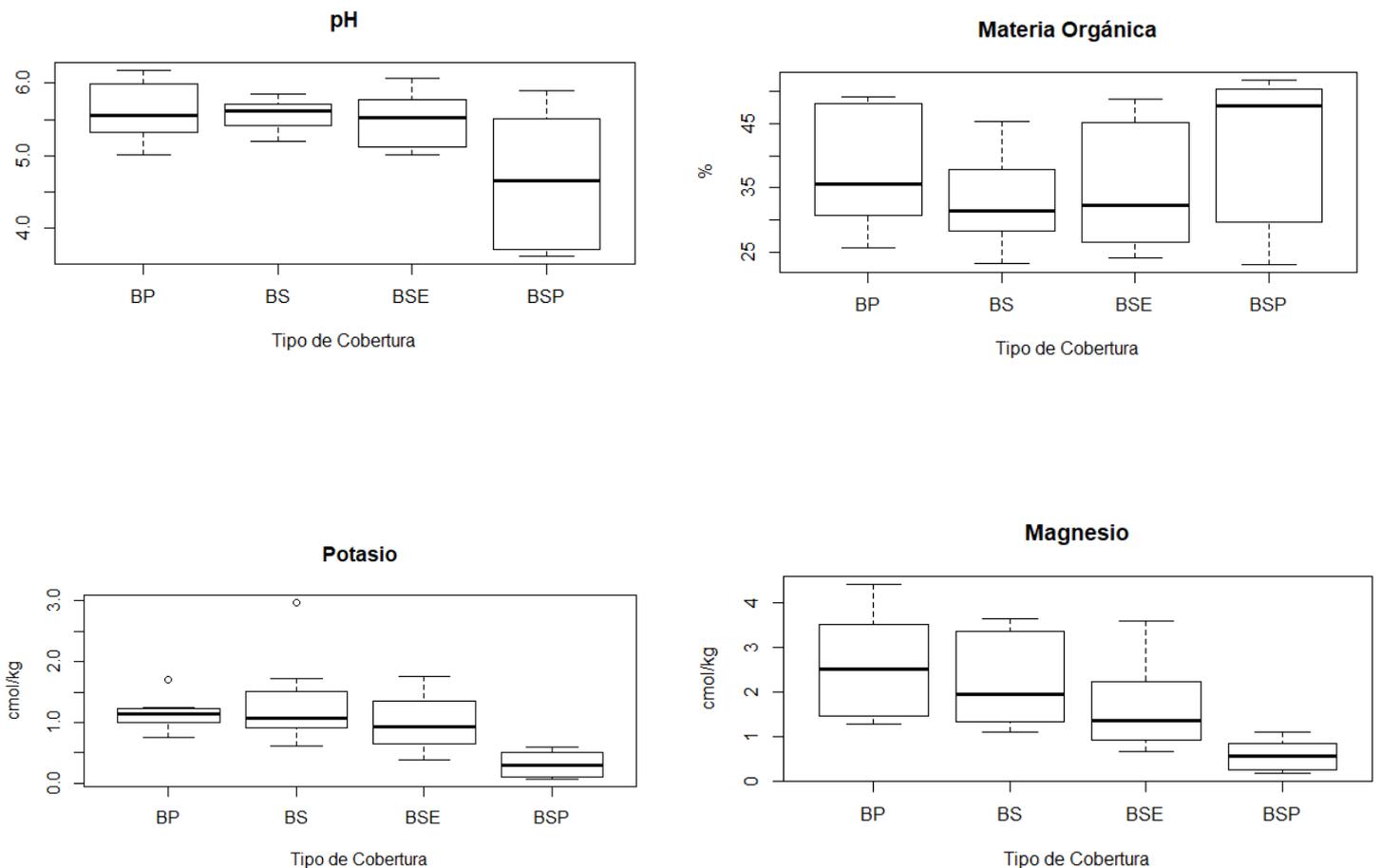


Figura 19. Box plots bosque de Llaviucu y Mazán; propiedades químicas de los sitios de estudio horizonte O



Para las variables químicas del horizonte mineral A se realizó la prueba de Kruskal Wallis en donde se encontraron diferencias poco significativas ( $p < 0.05$ ) K, Mg, Fe, Cu, Zn y CIC (Figura 20). Un factor importante es el efecto de la vegetación sobre la meteorización en el ciclo de cationes. Por lo general se considera que la eliminación de nutrientes (Ca, Mg, K) de la solución del suelo se debe precisamente al consumo de las plantas y a la lixiviación que ocurre en el agua por percolación. El reciclaje de estos nutrientes debido a la descomposición de hojas y raíces en ecosistemas de páramo se considera lenta. Al descomponerse la materia vegetal se da de manera lenta debido a la temperatura fría que nos da como resultado que los suelos acumulen mayor materia orgánica.



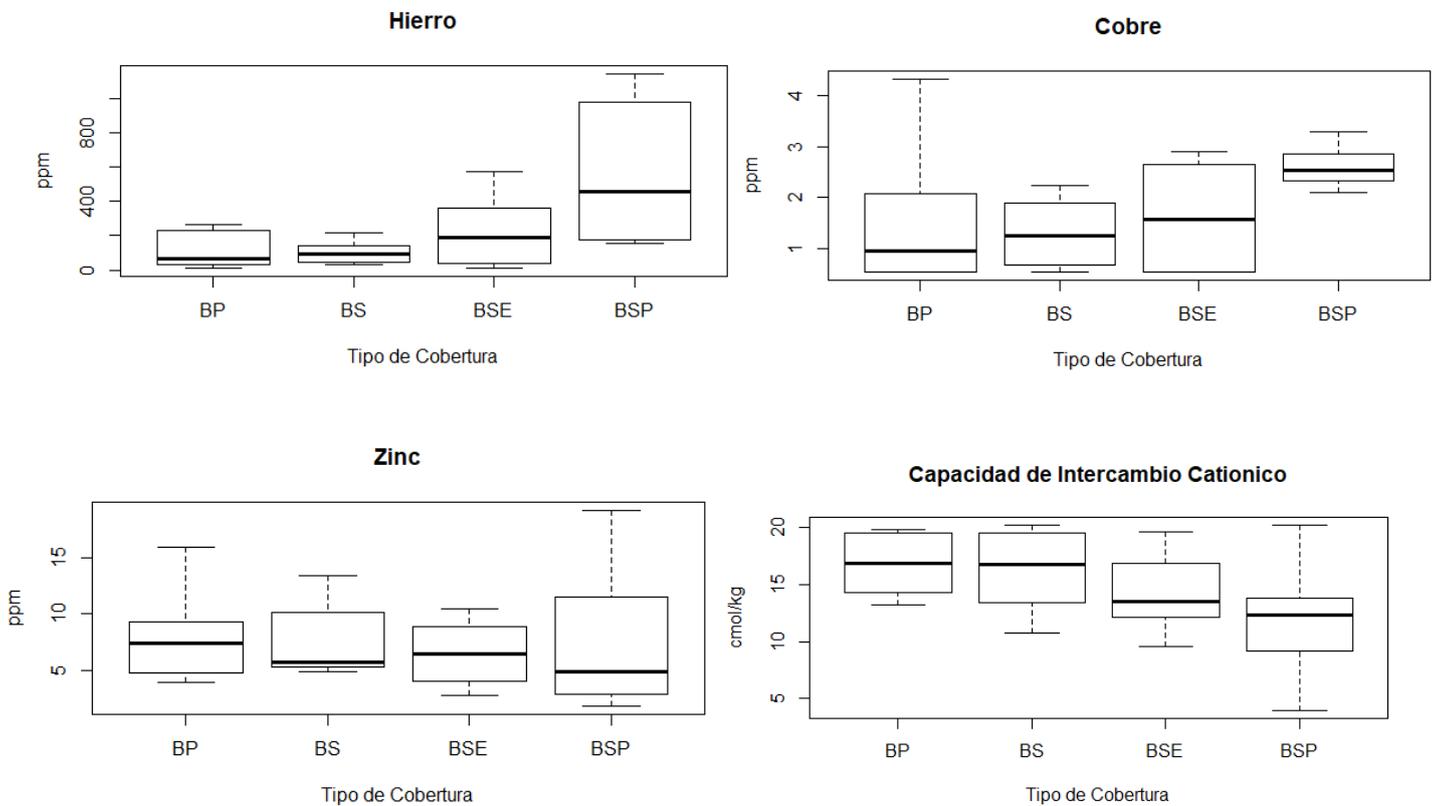


Figura 20. Box plots bosque de Llaviucu y Mazán; propiedades químicas de los sitios de estudio horizonte A

También se pudieron encontrar diferencias significativas entre los cuatro tipos de cobertura para el caso del pH, MO y Fe, en el caso de pH se observa que existe una diferencia que se debe a un descenso de los valores en BSP con respecto al resto de coberturas debido a que se produce mayor acidificación en los suelos bajo BSP con valores desde 5.9 hasta 3.61 (Schlatter & Otero, 1995). Para el caso de MO es evidente un incremento en los sitios de BSP debido a las grandes cantidades de acículas de pino que se descomponen y aportan MO (Prescott et al., 1993).

Lo que afirma el estudio realizado por Hofstede et al. (2002) que concluye que la materia orgánica cumple un papel importante debido a su influencia directa sobre el grado de estructuración del suelo, lo que nos daría como resultado valores de densidad bajos y una retención de agua alta para estos suelos, en contraposición con la disminución de materia orgánica que comprometería, en un periodo relativamente corto, el equilibrio químico de los suelos. Entonces, en base a esta disminución también disminuye la calidad de la materia



orgánica debido a los procesos que aceleran la descomposición y se debería al cambio de cobertura en estas zonas de bosque montano.

Existen escasos datos sobre el efecto de la forestación sobre la calidad del agua. En este caso la percepción también es la tendencia a pensar que los árboles aportan de manera positiva la calidad de agua. La mayoría de datos existentes de forestación son en el norte de Europa y existen pocos datos provenientes de Sudamérica. Un estudio reciente donde se observaron los efectos de plantaciones de eucalipto en Uruguay y plantaciones de pino en Argentina mostraron resultados mixtos. En el caso de Argentina se mostraron tendencias significativas sobre el pH y en el caso Uruguay, en siete de ocho casos se observó acidificación del agua en las cuencas forestadas. Los patrones observados indican que la acidificación es debido a la retención de cationes en la biomasa de los árboles y se demostró una comparación entre eucalipto y pino en un mismo lugar, indicando que el eucalipto produce una mayor acidificación (Farley, 2008).

En el caso del fósforo, se ve que existen ligeras diferencias con respecto a bosque nativo y secundario en relación al de eucalipto y pino, lo que afirma el estudio de Farley & Kelly (2004) sobre la poca influencia del cambio en la vegetación sobre el contenido de fósforo.

Aparentemente los niveles de Fe al realizar un cambio gradual a los diferentes tipos de cobertura y debido al grado de meteorización que tiene cada uno se da como resultado un aumento significativo de Fe, esto podría traducirse en toxicidad del suelo si este llegara a niveles demasiado elevados y que se encuentra en función de la disminución de los niveles de pH que haría que aumente su solubilidad (Storey, 2006).

En este estudio se determinaron valores bajos de Fe con un promedio de 249.650 ppm lo que se traduce en un aumento de pH del suelo.

El Cu se encuentra con una diferencia entre tipos de cobertura en el que el material parental y los procesos de formación dominan el estado inicial de Cu en el suelo. Generalmente las deficiencias de concentración de cobre están también asociadas a suelos orgánicos (Storey, 2006). Lo que demuestra que existe una diferencia bastante notable al darse un cambio de cobertura a bosque de pino debido a que según Storey (2006) las capas minerales con mayor cantidad de materia orgánica poseen menores cantidades de cobre.



En este estudio se obtuvieron valores de Cu de 2.605 ppm siendo el valor más alto entre las diferentes coberturas, sin embargo, sigue siendo un valor bajo para establecer que los suelos son de origen orgánico.

La CIC tiene valores promedio más elevados en la cobertura de bosque nativo y bosque secundario (valores de 16.811 y 16.299 ppm respectivamente) que la coberturas antrópicas (BSE y BSP) (Tabla 8), este efecto se da por el aumento de actividad de la MO que liberan los complejos órgano metálicos, pero que también se vuelve susceptible a descomposición y pérdida a largo plazo (Hofstede et al., 2002).

**5.4 ESTIMACIÓN DE DIFERENCIAS DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO DE BOSQUE PRIMARIO A BOSQUE SECUNDARIO, BOSQUE SECUNDARIO DE EUCALIPTO Y BOSQUE SECUNDARIO DE PINO.**

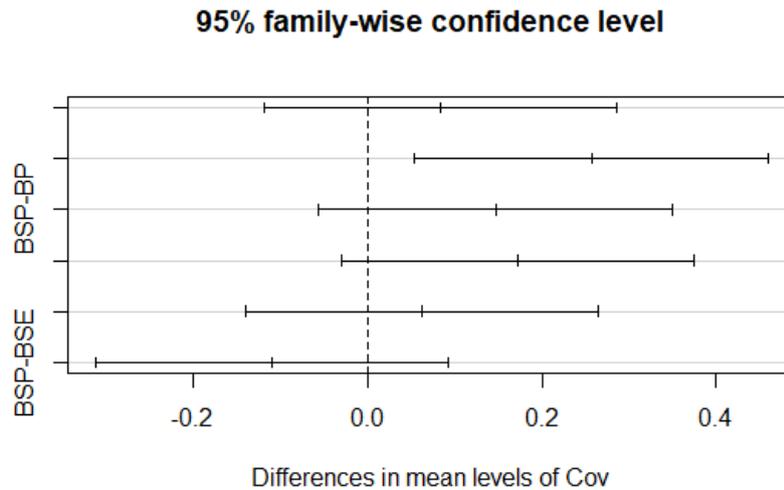
Para la determinación de las diferencias del cambio de cobertura se utiliza la prueba de Tukey para determinar los grupos que poseen diferencias ( $p < 0.05$ ) (Tabla 9). En este caso la DA tiene diferencias entre el BP y BSE (Figura 21) y de acuerdo con Ceccon (1999) existiría una lenta descomposición que genera el mantillo de eucalipto y que crea una reducción en el contenido de materia orgánica. Estas particularidades demuestran que las diferencias encontradas generan cambios en el suelo, disminuyendo los macroporos y así teniendo un descenso en los valores de DA.

Los pinos y eucaliptos poseen hojas más pequeñas que las de las especies nativas. Esto implica que ocupen mayor superficie, tanto para la evapotranspiración como para la fotosíntesis. Es decir, al tiempo que pierden más cantidad de agua que las especies nativas, requieren más agua para llevar a cabo sus procesos.

*Tabla 9. Prueba de Tukey DA*

<b>Cov</b>	<b>diff</b>	<b>lwr</b>	<b>upr</b>	<b>p adj</b>
<b>BS - BP</b>	0.0839	-0.1186	0.2864	0.6740
<b>BSE - BP</b>	0.2569	0.0544	0.4594	0.0089
<b>BSP - BP</b>	0.1469	-0.0556	0.3494	0.2195
<b>BSE - BS</b>	0.1730	-0.0295	0.3755	0.1148
<b>BSP - BS</b>	0.0630	-0.1395	0.2655	0.8304
<b>BSP - BSE</b>	-0.1100	-0.3125	0.0925	0.4608

Cov. Cobertura, diff. Diferencia, lwr. valor mínimo, upr. valor máximo, padj. p value.



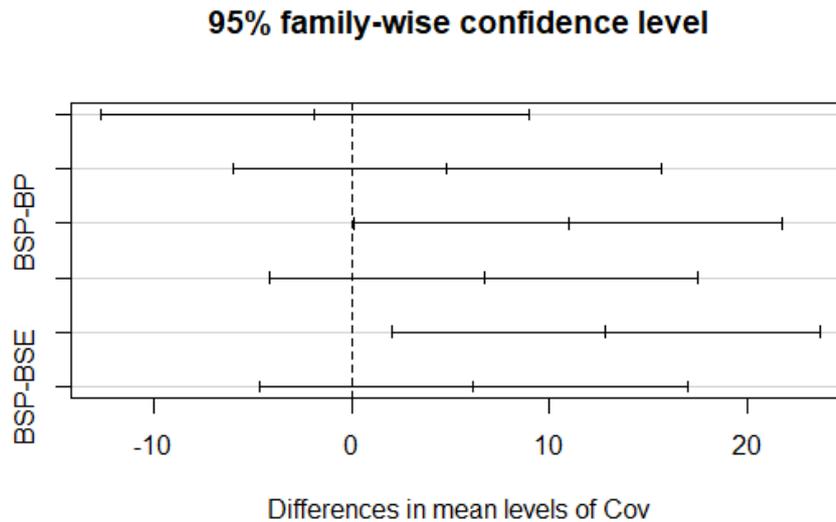
**Figura 21. Gráfico del 95% de nivel de confianza familiar**

El porcentaje de limo también trae diferencias entre bosque primario (BP) y bosque secundario de pino (BSP) (Figura 22) con un promedio aproximadamente de 50.96% de contenido del mismo, esto se debe a que en el suelo bajo cobertura de BSP se tiene una estructura más compacta. Grandes cantidades de limo suele ser un factor que determina la erosión del suelo.

**Tabla 10. Prueba de Tukey - Limo**

Cov	diff	lwr	upr	p adj
BS - BP	-1.8838	-12.7252	8.9577	0.9641
BSE - BP	4.8000	-6.0414	15.6414	0.6265
BSP - BP	10.9525	0.1111	21.7939	0.0470
BSE - BS	6.6838	-4.1577	17.5252	0.3511
BSP - BS	12.8363	1.9948	23.6777	0.0156
BSP - BSE	6.1525	-4.6889	16.9939	0.4228

Cov. Cobertura, diff. Diferencia, lwr. valor mínimo, upr. valor máximo, padj. p value.



*Figura 22. Gráfico del 95% de nivel de confianza familiar*

## 6. CONCLUSIONES

En cuanto a la zona de bosque de pino, este es el cambio que produjo un mayor impacto en el suelo, tanto sobre las propiedades físicas como en las propiedades químicas del mismo. Posee un mayor impacto sobre las propiedades hidrofísicas ya que existe un aumento de la densidad aparente con un valor de 0.425 g/cm está dado a que estos suelos cubiertos de pino tienden a tener valores mayores de secamiento. Sin embargo, tiene una mayor influencia sobre las propiedades químicas de los suelos produciendo acidificación en los mismos con un valor de pH de hasta 3.61.

Dentro de las coberturas antrópicas, el análisis en el horizonte mineral, nos permite observar el efecto producido por el tipo de cobertura sobre las propiedades físicas. Dentro de este argumento, la transición de bosque nativo a bosque de eucalipto o pino, estaría aumentando el contenido de humedad en el punto de saturación en un 73% y capacidad de campo en un 39%. Al igual que la densidad aparente que bajo coberturas exóticas (eucalipto y pino) es de un 0.48 g/cm<sup>3</sup> lo que causa un efecto sobre la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos.

Se considera que las plantaciones de eucalipto podrían generar impactos negativos en las áreas en donde se establecen como cambios en la capacidad de almacenamiento y retención de



humedad de los suelos. Sin embargo, hay pocos estudios en condiciones locales y como cualquier otra especie forestal los eucaliptos pueden contribuir a la regulación de los ciclos hidrológicos y de nutrientes, así como al control de la erosión del suelo.

Esto estaría confirmando la importancia que poseen los suelos de bosques altoandinos como reguladores hidrológicos debido a sus características particulares en lo que refiere a retención de agua; es por esto que se consideran a las propiedades físicas la fuente de mayor variabilidad en lo que respecta el cambio de cobertura en los horizontes minerales.

Los resultados muestran las diferencias estadísticas entre las características del suelo nativo sin intervención con áreas en las que se ha dado un cambio en su cobertura y en sí del uso del suelo, pero resulta insuficiente para más datos, ya que no se aclara si los eucaliptos o pinos producen un impacto positivo o negativo sobre el suelo. Por tanto, es necesario ampliar la línea de investigación para que un futuro se pueda llegar a identificar con mayor claridad la existencia de un mejoramiento o degradación al provocar la conversión de un bosque montano a cualquier otro tipo de uso.

## 7. RECOMENDACIONES

- Es necesario desarrollar más estudios sobre la importancia de los bosques montanos debido a las múltiples funciones que cumple dentro del ecosistema y a los beneficios que brinda a las comunidades.
- En próximas investigaciones similares se debería adquirir un enfoque más relevante sobre la edad de las coberturas, intensidad de uso, por lo que es importante identificar el proceso de cambio, si es largo o corto y en qué tiempo es posible determinarlos en las propiedades del suelo.
- Es de vital importancia conocer los antecedentes del uso de la tierra como información preliminar (cómo se dio el cambio de cobertura y su uso de suelo hasta la actualidad) para el desarrollo de proyectos a futuro. El adecuado conocimiento sobre estas temáticas ayudaría a solventar inquietudes sobre la degradación de parámetros físicos, químicos. Así mismo, sería de vital importancia realizar estudios



complementarios acerca del impacto del cambio de cobertura vegetal sobre las características biológicas del suelo.

Las diferencias encontradas en las propiedades del suelo sirven como justificativo para que las entidades gubernamentales tomen medidas con respecto a la conservación de ecosistemas forestales nativos, los cuales cumplen un rol importante en la protección de suelo y agua, conservación de la biodiversidad y sustentabilidad económica a comunidades. Por último, se debe desarrollar proyectos dirigidos hacia la sociedad en general, enfatizando la importancia de la reforestación con especies nativas mediante el Ministerio del Ambiente.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Bach, K., Schawe, M., & Beck, S. (2003). Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia: Primeros resultados. *Ecología En Bolivia*, 38, 3–14. Retrieved from [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282003000100002&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282003000100002&script=sci_arttext&tlng=en)
- Bautista Zuñiga, F. (1999). Introducción al Estudio de la Contaminación del Suelo por Metales Pesados.
- Braulete, G. (2012). Análisis de las posiciones de Ecuador en relación a la iniciativa REDD después de Copenhague, 1–77. Retrieved from <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/3492/1/T1247-MRI-Braulete-Analisis.pdf>
- Bremer, L., Farley, K., & Harden, C. (2011). Servicios ambientales ecosistémicos y cambio en el uso de suelo en el páramo, 91.
- Brown, A. D., & Kappelle, M. (2001). Introducción a los bosques nublados del Neotrópico: una síntesis regional. *Bosques Nublados Del Neotrópico*, 25–40.
- Burga, C., Peña, M., & Ges, J. (2010). *Los bosques nublados de San Ignacio , Cajamarca , cuenca del río Chinchipe*.
- Buytaert, W., Cuesta-Camacho, F., & Tobón, C. (2011). Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions: Climate change and environmental services. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 19–33. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00585.x>
- Buytaert, W., Deckers, J., Dercon, G., Bièvre, B., Poesen, J., & Govers, G. (2006). Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. *Soil Use and Management*, 18(2), 94–100. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2002.tb00226.x>
- Buytaert, W., Deckers, J., & Wyseure, G. (2007). Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena*, 70(2), 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.08.003>



- Buytaert, W., Iñiguez, V., & Bièvre, B. De. (2007a). 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., Iñiguez, V., & Bièvre, B. De. (2007b). 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>
- Chacón, G. (2016). Mazán y Llaviuco: 40 años después.
- Chacón, G., Gagnon, D., & Paré, D. (2009). Comparison of soil properties of native forests, *Pinus patula* plantations and adjacent pastures in the Andean highlands of southern Ecuador: Land use history or recent vegetation effects? *Soil Use and Management*, 25(4), 427–433. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00233.x>
- 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. In *IAHS-AISH ...* (pp. 71–76).
- Croghan Carry, W., E. P. P. (2003). Methods of Dealing with Values Below the Limit of Detection using SAS.
- Cuesta, F., Peralvo, M., & Valarezo, N. (2009). *Los bosques montanos de los Andes tropicales*. Quito, Ecuador: Programa Regional ECOBONA - Intercooperation.
- Daza, M., Hernandez, F., & Triana, F. (2009). Efecto de actividades agropecuarias en la capacidad de infiltración de los suelos del páramo del sumapaz. *Ingeniería de Recursos Naturales Y Del Ambiente*, 8(8), 29–39. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa>
- Dirnböck, T., Dullinger, S., Grabherr, G., & Medium. (2003). A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography*, 30(3), 401–417. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00839.x>
- Donoso, C. (2008). *Ecología Forestal*.
- Ecuador Forestal. (n.d.). Bosque Nativo. Retrieved April 26, 2018, from <http://ecuadorforestal.org/informacion-s-f-e/bosque-forestal/bosque-nativo/>
- ENCE. (2009). La gestión forestal sostenible y el eucalipto, 74. Retrieved from



[https://www.ence.es/pdf/El\\_Eucalipto.pdf](https://www.ence.es/pdf/El_Eucalipto.pdf)

ETAPA EP. (2014). Plan de Manejo Integral del Parque Nacional El Cajas.

FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4ta ed.). Roma.

Farley, K. (2008). Plantaciones forestales y producción de servicios ambientales.

Farley, K. A. (2007). Grasslands to Tree Plantations: Forest Transition in the Andes of Ecuador. *Annals of the Association of American Geographers*, 97(4), 755–771.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2007.00581.x>

Farley, K. A., & Kelly, E. F. (2004). Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology and Management*, 195(3), 281–290.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.12.015>

Farley, K. A., Kelly, E. F., & Hofstede, R. G. M. (2004). Soil Organic Carbon and Water Retention after Conversion of Grasslands to Pine Plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems*, 7(7), 729–739. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0047-5>

Gómez, M. (2011). *Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Hamilton, L. S. et al. (2009). Los Bosques y el Agua. *FAO Montes*, 155, 86.

Harden, C. (2007). Two soil toposequences in a tropical glacial trough, southern {Ecuador}. *Zeitschrift Für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 51(2), 139–152.

<https://doi.org/10.1127/0372-8854/2007/0051S2-0139>

Hofstede, R. G. M., Groenendijk, J. P., Coppus, R., Fehse, J. C., & Sevink, J. (2002). Impact of {Pine} {Plantations} on {Soils} and {Vegetation} in the {Ecuadorian} {High} {Andes}. *Mountain Research and Development*, 22(2), 159–167.

[https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2002\)022\[0159:IOPPOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2002)022[0159:IOPPOS]2.0.CO;2)

Islam, K. R., & Weil, R. R. (2000). Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of {Bangladesh}. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.

Jordán, A. (2005). Manual De Edafología. Retrieved from

[http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia del suelo.pdf](http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf)



- Jordán, F. (2003). *Reforma agraria en el Ecuador*. La Paz.
- Kapelle, M. (2004). Tropical Montane Forests. *Tropical Forests*, (1981), 1782.  
<https://doi.org/10.1016/B0-12-145160-7/00175-7>
- Kapos, V., Rhind, J., Edwards, M., Price, M. F., & Ravilious, C. (2000). Developing a map of the world's mountain forests. *Forests in Sustainable Mountain Development: A State of Knowledge Report for 2000*, (October 2017), 4–19.  
<https://doi.org/10.1079/9780851994468.0000>
- Knoke, T., Bendix, J., Pohle, P., Hamer, U., Hildebrandt, P., Roos, K., ... Beck, E. (2014). Afforestation or intense pasturing improve the ecological and economic value of abandoned tropical farmlands. *Nature Communications*, 5, 5612.  
<https://doi.org/10.1038/ncomms6612>
- Kriström, B., & Boman, M. (2001). Valuing the Multiple Function of Forests. *World Forests, Markets and Policies*, (January), 3–12. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0664-4>
- Lal, R. (1996). Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. II. Soil chemical properties. *Land Degradation & Development*, 7(2), 87–98. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199606\)7:2<87::AID-LDR219>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199606)7:2<87::AID-LDR219>3.0.CO;2-X)
- Lara, A. Soto, Do. Armesto, J. Donoso, P. Wernli, C. (2003). *Componentes Científicos Clave Para Una Política Nacional Sobre Usos, Servicios Y Conservación De Los Bosques Nativos Chilenos. Informe expertos*.
- Leischner, B., & Bussmann, R. W. (2003). Mercado y uso de madera en el Sur de Ecuador. *Lyonia*, 5(1), 51–60.
- Llambí, L. D., Soto-w, A., Borja, P., Soto-w, A., & Calle, T. (2012). *Páramos Andinos Ecología, hidrología y suelos de páramos*.
- Mansourian, S., Vallauri, D., & Dudley, N. (2005). *Forest Restoration in Landscapes*. New York, NY: Springer New York.
- Mejía, E., & Pacheco, P. (2013). *Aprovechamiento forestal y mercados de la madera en la Amazonía Ecuatoriana. Documentos Ocasionales 97*.
- Ministerio del Ambiente. (2012). Línea base de deforestación del Ecuador continental, 22–



26. Retrieved from [http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Folleto mapa-parte1.pdf](http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Folleto%20mapa-parte1.pdf)
- MOBOT. (2016). MBG: Flora Ilustrada del Páramo del Cajas, Azuay, Ecuador. Retrieved April 23, 2018, from [http://www.mobot.org/MOBOT/research/paramo/flora\\_vege.shtml](http://www.mobot.org/MOBOT/research/paramo/flora_vege.shtml)
- Montano, B., & Aldaz, J. C. (2006). Composition and structure of a montane forest in Tambo Palictahua , Chimborazo. *Bosque*, 9(February).
- Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W., De Bièvre, B., Célleri, R., Crespo, P., Villacís, M., ... Arias, S. (2016). Impacts of land use on the hydrological response of tropical {Andean} catchments. *Hydrological Processes*, 30(22), 4074–4089. <https://doi.org/10.1002/hyp.10980>
- Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2000). Los suelos de los páramos del {Ecuador}.
- Porta Casanellas, Jaime; López-Acevedo, Marta; Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3rd ed.).
- Prescott, C. E., Taylor, B. R., Parsons, W. F. J., Durall, D. M., & Parkinson, D. (1993). Nutrient release from decomposing litter in Rocky-mountain coniferous forests - influence of nutrient availability. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(8), 1576–1586. <https://doi.org/10.1139/x93-198>
- Quichimbo, P., Marín, F., Quiroz, C., & Crespo, P. (2016). Effects of human activities on hydrophysical and chemical soil properties in montane forest and páramo ecosystems in the Ecuadorian Andes. In *AGU-Chapman Conference: Emerging Issues in Tropical Ecohydrology* (Vol. R-18). Cuenca, EC: American Geophysical Union.
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Celleri, 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}.
- Quichimbo, P., Veintimilla, D., Carrión, Y., & Jiménez, L. (2016). Litterfall production under pine plantations in the southern Andes region of Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(3), 14–25.
- Ramírez, J. A., León-Peláez, J. D., Craven, D., Herrera, D. A., Zapata, C. M., González-Hernández, M. I., ... Osorio, W. (2014). Effects on nutrient cycling of conifer restoration in a degraded tropical montane forest. *Plant and Soil*, 378(1–2), 215–226. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2024-x>



- Schlatter, J., & Otero, L. (1995). Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico-nutritivas del suelo mineral superficial. *Bosque*, 16(1), 29–46. Retrieved from <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art03.pdf>.
- Sierra, R. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental, (November). <https://doi.org/10.13140/2.1.4520.9287>
- Sierra, R. (2013). *Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años*. Quito, Ecuador: Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends.
- Silver, W.L., A. E. L. and M. K. (1999). Soil oxygen availability and biogeochemistry along rainfall and topographic gradients in upland wet tropical forest soils.
- Stadtmuller, T. (1987). *Cloud forests in the humid tropics: a bibliographic review*.
- Storey, J. B. (2006). Plant Nutrition. *Handbook of Plant Nutrition*, 411–435. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq048>
- Turner, I. M., Chua, K. S., Ong, J. S. Y., Soong, B. C., & Tan, H. T. W. (1996). A century of plant species loss from an isolated fragment of lowland tropical rain forest. *Conservation Biology*, 10(4), 1229–1245. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10041229.x>
- Vásconez, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 91–109. Retrieved from [http://www.beisa.dk/Publications/BEISA\\_Book\\_pdfer/Capitulo\\_06.pdf](http://www.beisa.dk/Publications/BEISA_Book_pdfer/Capitulo_06.pdf)
- Wadsworth, F. H. (2000). Los bosques secundarios y su manejo. *Producción Forestal Para América Tropical*, 113–172.
- Wilcke, W., Leimer, S., Peters, T., Emck, P., Rollenbeck, R., Trachte, K., ... Bendix, J. (2013). The nitrogen cycle of tropical montane forest in Ecuador turns inorganic under environmental change. *Global Biogeochemical Cycles*, 27(4), 1194–1204. <https://doi.org/10.1002/2012GB004471>



## 9. GLOSARIO

**AGUA APROVECHABLE Y RÁPIDAMENTE APROVECHABLE:** el agua aprovechable (AA) es la cantidad de agua retenida en el suelo entre capacidad de campo (pF 2,52) y punto de marchitez permanente (pF 4,2), siendo la principal fuente de agua para el desarrollo de las plantas (Mejía, 2003).

**BOSQUE PRIMARIO:** denominado bosque nativo, es un bosque intacto y con alto grado de naturalidad que no ha sido explotado, fragmentado o influenciado directa o indirectamente por el hombre. Es un ecosistema arbóreo, caracterizado por la presencia de árboles y arbustos de múltiples especies nativas, regenerado por sucesión natural, con una asombrosa biodiversidad de vegetales, animales y microorganismos que viven en armonía (Ecuador Forestal, n.d.).

**BOSQUE SECUNDARIO:** vegetación leñosa de carácter sucesional que se desarrolla sobre tierras originalmente destruidas por actividades humanas. El grado de recuperación dependerá mayormente de la intensidad y duración del uso anterior. El rasgo más común de estos bosques es el disturbio o perturbación del ecosistema, causado naturalmente por fenómenos atmosféricos, geológicos, fauna silvestre entre otros o bien por el hombre. En este caso se habla de disturbios antrópicos (Wadsworth, 2000).

**BOSQUE DE EUCALIPTO:** no es un bosque natural ni un cultivo agrícola, es un cultivo forestal que por sus funciones actúa de manera similar a un bosque. Una plantación de eucalipto posee menor biodiversidad animal y vegetal que un bosque natural, pero su objetivo y función principal no es ser similar a este sino que en cualquier caso una nueva plantación crea nuevos espacios naturales para el desarrollo de la vida (ENCE, 2009).

**BOSQUE DE PINO:** son un grupo de plantas vasculares con semilla de origen muy diverso. Actualmente están representadas solo por grupos reducidos. Pertenecen a la familia de las pináceas que normalmente alcanzan los 25 m. Tallos erectos, con fisuras en la corteza de color marrón grisácea en la parte inferior y rojo anaranjado en el parte superior de las ramas.



**CAPACIDAD DE CAMPO (CC):** es la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se la deja drenar libremente (después de un riego intenso o fuertes lluvias) durante 48 horas. Según la USDA la capacidad de campo corresponde a la cantidad de agua que el suelo retiene a una succión de  $pF= 2.52$  o  $0,33$  bar (Mejía, 2003).

**CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO:** se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo, siendo un indicador del potencial del mismo para retener e intercambiar nutrientes, esta capacidad afecta directamente a la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes.

**DEFORESTACIÓN:** En países en vías de desarrollo la deforestación se debe al cambio en el uso del suelo y la consiguiente transformación de bosques nativos en zonas agrícolas y pecuarias, como resultado de una presión demográfica sobre el uso de los recursos naturales y de un aprovechamiento inadecuado de la tierra (FAO, 2009).

**ENDEMISMO:** Definida como la tendencia de algunas plantas y animales a limitarse de manera natural a una zona determinada dentro de la cual se dice que son propias de ese lugar, el endemismo es el resultado de la combinación de evolución y aislamiento geográfico.

**EROSIÓN:** Consiste en la desintegración de los agregados del suelo por la acción de desgaste, acarreo o transporte y depositación de material intemperizado. El intemperismo y la erosión son agentes externos que actúan juntos y modifican el relieve terrestre.

**ESCORRENTÍA SUPERFICIAL:** Agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. La escorrentía superficial está en función de la topografía, geología, clima y vegetación de la cuenca y está estrechamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca (Porta *et al.*, 2003)

**HORIZONTE ORGÁNICO:** Los horizontes O de suelos bajo bosques suelen estar formados por materiales forestales no descompuestos o parcialmente descompuestos como hojas, ramillas, musgos y líquenes que han sido depositados en la superficie del suelo, pudiendo encontrarse sobre suelos orgánicos o minerales (Gisbert *et al.*, sn). El horizonte O se divide en tres estratos orgánicos correspondientes al horizonte Oi en el cual predominan materiales fibrosos fácilmente reconocibles y la descomposición es bastante pobre, el horizonte Oe que está constituido por residuos orgánicos



parcialmente descompuestos y el horizonte Oa que contiene material orgánico altamente descompuesto y difícilmente reconocible

**PUNTO DE MARCHITES PERMANENTE (PMP):** se considera así al punto en el que las raíces de las plantas presentan dificultad para absorber agua experimentando marchites irreversible, es decir que la planta ya no se recupera cuando su medio está en saturación. El agua del suelo disminuye de la capacidad de campo a causa de la evaporación y transpiración de las plantas. Se considera PMP del suelo a una presión de 4,2 pF (Mejía, 2003).

**PUNTO DE SATURACIÓN:** valor de tensión de un cm ( $pF= 0$ ), equivale al contenido de agua del suelo en la condición de saturación, lo cual significa que este valor es prácticamente similar a la porosidad total. Donde no existe ningún tipo de succión o presión (Mejía, 2003).



## 10. ANEXOS

### ANEXO 1. Ficha de registro para horizontes orgánicos: profundidad (centímetros) tomadas en campo.

FICHA PARA HORIZONTES ORGÁNICOS: profundidad (cm) - Medición en Campo. Experimento de Propiedades físico-químicas

ID. SAMPLE		1		2		3		4		5
ID. SAMPLE		1		2		3		4		5
ID. SAMPLE		1		2		3		4		5
ID. SAMPLE		1		2		3		4		5
ID. SAMPLE		1		2		3		4		5
ID. SAMPLE		1		2		3		4		5
ID. SAMPLE		1		2		3		4		5
ID. SAMPLE		1		2		3		4		5
ID. SAMPLE		1		2		3		4		5
ID. SAMPLE		1		2		3		4		5







**ANEXO 4. Tabla de descripción del color de cada una de las parcelas en Llaviucu y Mazán.**

<b>Cobertura</b>	<b>HUE</b>	<b>Color</b>
<b>LBP - P1</b>	7,5 YR 2/1	Black
<b>LBP - P2</b>	10 YR 2/2	Brownish Black
<b>LBP - P3</b>	7,5 YR 2/2	Brownish Black
<b>LBP - P4</b>	10 YR 1,7/1	Black
<b>LBS -P1</b>	10 YR 2/1	Black
<b>LBS - P2</b>	7,5 YR 2/1	Black
<b>LBS - P3</b>	10 YR 2/2	Brownish Black
<b>LBS - P4</b>	10 YR 1.7/1	Black
<b>LBSE - P1</b>	7,5 YR 1,7/1	Black
<b>LBSE - P2</b>	10 YR 2/2	Brownish Black
<b>LBSE - P3</b>	10 YR 2/1	Black
<b>LBSE - P4</b>	7,5 YR 1,7/1	Black
<b>LBSP - P1</b>	N 1,5/0	Black
<b>LBSP - P2</b>	N 1,5/1	Black
<b>LBSP - P3</b>	N 1,5/2	Black
<b>LBSP - P4</b>	N 1,5/3	Black

<b>Cobertura</b>	<b>HUE</b>	<b>Color</b>
<b>MBP - P1</b>	7,5 YR 2/1	Brownish Black
<b>MBP - P2</b>	10 YR 2/2	Black
<b>MBP - P3</b>	7,5 YR 2/2	Black
<b>MBP - P4</b>	10 YR 1,7/1	Black
<b>MBS -P1</b>	10 YR 2/1	Black
<b>MBS -P2</b>	7,5 YR 2/1	Brownish Black
<b>MBS -P3</b>	10 YR 2/2	Brownish Black
<b>MBS -P4</b>	10 YR 1.7/1	Brownish Black
<b>MBSE - P1</b>	7,5 YR 1,7/1	Brownish Black
<b>MBSE - P2</b>	10 YR 2/2	Dark Brown
<b>MBSE - P3</b>	10 YR 2/1	Brownish Black
<b>MBSE - P4</b>	7,5 YR 1,7/1	Brownish Black
<b>MBSP - P1</b>	N 1,5/0	Brownish Black
<b>MBSP - P2</b>	N 1,5/1	Brownish Black
<b>MBSP - P3</b>	N 1,5/2	Black
<b>MBSP - P4</b>	N 1,5/3	Black



**ANEXO 5. Tabla de pesaje de muestras y porcentaje de humedad.**

Etiquetas Barreno	Peso funda (g)	Peso muestra + funda (g)	Peso muestra seca + funda (g)	% de humedad
LBP - P1 - A - R1 - 1	0.92	198.07	101.27	96.46
LBP - P1 - A - R1 - 2	0.89	267.3	178.2	50.25
LBP - P1 - A - R2 - 1	0.97	260.12	161.25	61.69
LBP - P1 - A - R2 - 2	0.94	235.68	152.87	54.51
LBP - P1 - A - R3 - 1	0.91	163.84	81.35	102.55
LBP - P1 - A - R3 - 2	0.89	198.06	99.97	99.00
LBP - P1 - A - R4 - 1	0.94	206.52	108.16	91.74
LBP - P1 - A - R4 - 2	0.90	226.47	119.73	89.83
LBP - P2 - A - R1 - 1	0.89	242.54	78.55	211.16
LBP - P2 - A - R1 - 2	0.87	168.25	68.56	147.27
LBP - P2 - A - R2 - 1	0.89	219.23	155.57	41.16
LBP - P2 - A - R2 - 2	0.89	113.52	37.78	205.31
LBP - P2 - A - R3 - 1	0.89	190.98	78.2	145.88
LBP - P2 - A - R3 - 2	0.91	177.3	85.89	107.57
LBP - P2 - A - R4 - 1	0.90	271.47	170.41	59.62
LBP - P2 - A - R4 - 2	0.91	301.94	199.7	51.43
LBP - P3 - A - R1 - 1	0.94	261.57	190.89	37.21
LBP - P3 - A - R1 - 2	0.91	260.64	151.03	73.01
LBP - P3 - A - R2 - 1	0.89	291.25	149.89	94.87
LBP - P3 - A - R2 - 2	0.92	301.64	235.96	27.94
LBP - P3 - A - R3 - 1	0.88	323.24	263.51	22.74
LBP - P3 - A - R3 - 2	0.90	377.15	167.56	125.76
LBP - P3 - A - R4 - 1	0.88	228.51	158.69	44.24
LBP - P3 - A - R4 - 2	0.82	359.74	228.04	57.96
LBP - P4 - A - R1 - 1	0.85	417.68	323.24	29.29
LBP - P4 - A - R1 - 2	0.87	385.52	342.57	12.57
LBP - P4 - A - R2 - 1	0.87	283.06	204.00	38.92
LBP - P4 - A - R2 - 2	0.88	242.72	160.83	51.20
LBP - P4 - A - R3 - 1	0.93	313.13	232.41	34.87
LBP - P4 - A - R3 - 2	0.90	293.93	216.48	35.93
LBP - P4 - A - R4 - 1	0.79	273.36	206.41	32.56
LBP - P4 - A - R4 - 2	0.64	322.64	249.85	29.21



**ANEXO 6. Base de datos de variables químicas del horizonte O**

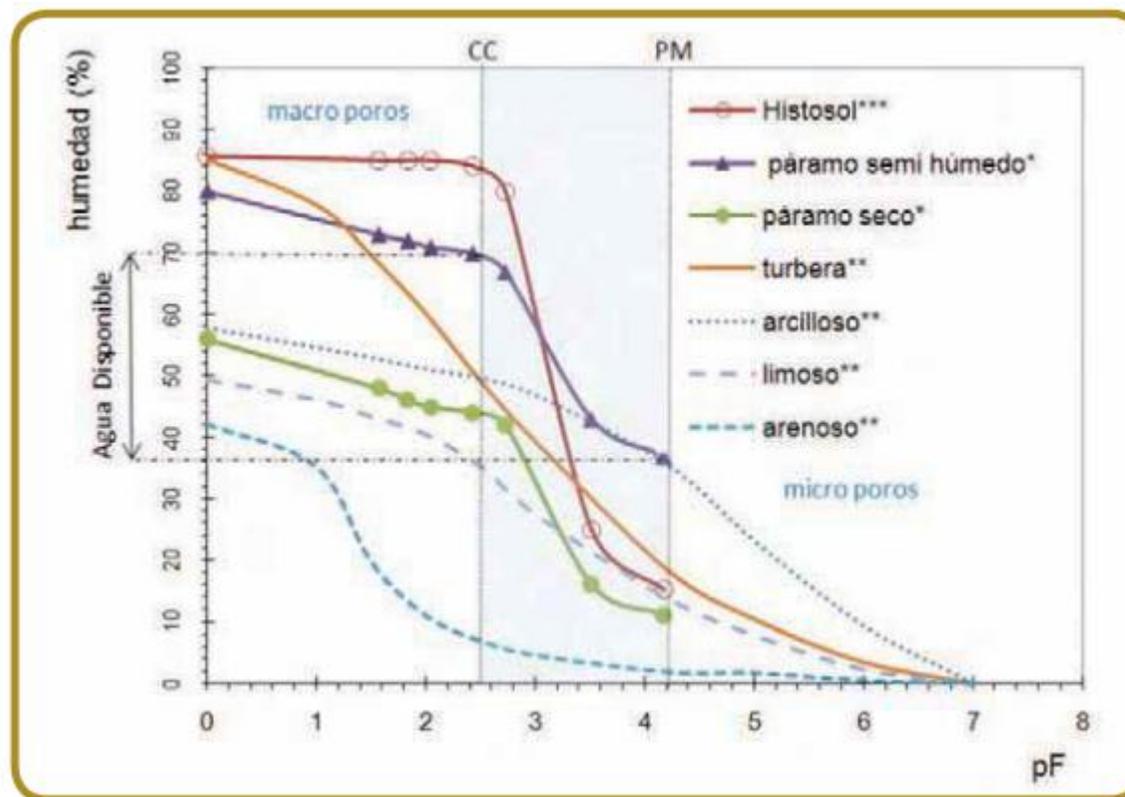
	Cob	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC	Hor
LBP-P1-i	BP	6.37	50.84	2.54	73.4	3.79	21.55	8.41	10.61	77.3	0.78	8.24	144.04	19.71	Oi
LBP-P2-i	BP	6.86	49.55	2.48	40.8	6.41	22.51	7.86	10.61	65.59	1.04	8.94	230.49	18.92	Oi
LBP-P3-i	BP	6.57	49.29	2.46	70.5	5.67	22.63	8.11	10.61	44.73	0.78	8.3	195.92	19.23	Oi
LBP-P4-i	BP	6.53	50.84	2.54	138.1	14.4	20.16	7.82	10.61	70.52	1.72	11.82	326.97	18.41	Oi
LBS-P1-i	BS	5.76	48.29	2.41	65.6	3.84	15.39	4.95	84.41	167.1	0.98	13.16	128.99	12.46	Oi
LBS-P2-i	BS	6.41	47.11	2.36	63.2	3.13	18.76	3.55	10.61	29.51	0.99	9.31	57.31	19.71	Oi
LBS-P3-i	BS	6.52	49.33	2.47	33.8	4.13	23.01	8.16	10.61	73.07	0.78	13.04	181.71	18.56	Oi
LBS-P4-i	BS	6.65	48.92	2.45	95.4	12.8	19.87	7.48	10.61	64.8	1.39	12.6	403.99	12.61	Oi
LBSE-P1-i	BSE	6.27	51.14	2.56	58	4.49	21.39	5.48	10.61	44.17	1.24	7.43	161.29	19.77	Oi
LBSE-P2-i	BSE	6.53	49.88	2.49	29.5	3.87	19.15	5.91	10.61	92.29	0.89	7.59	210.67	18.9	Oi
LBSE-P3-i	BSE	6.44	48.18	2.41	40.8	3.49	22.08	6.44	10.61	79.12	1.52	13.25	143.85	20.06	Oi
LBSE-P4-i	BSE	6.05	50.88	2.54	38.4	4.86	19.23	5.05	10.61	68.38	1.02	11.17	564.16	19.22	Oi
LBSP-P1-i	BSP	5.48	49.59	2.48	36.4	1.45	17.89	3.43	10.61	158.1	2.01	12.15	11.66	13.81	Oi
LBSP-P2-i	BSP	5.07	47.59	2.38	47	1.1	17.29	4.22	188.134	198.7	0.78	12.03	50.97	12.54	Oi
LBSP-P3-i	BSP	4.43	49.95	2.5	58.4	0.86	15.21	0.98	340.02	202.2	0.91	16.69	22.15	13.57	Oi
LBSP-P4-i	BSP	4.13	48.37	2.42	41.2	1.2	16.02	1.53	577.11	243.45	0.78	15.3	44.04	19.67	Oi
MBP-P1-i	BP	6.38	48.15	2.41	49.1	2.56	20.24	5.07	688.24	92.15	1.22	12.33	94.17	13.58	Oi
MBP-P2-i	BP	6.23	49.62	2.48	53.2	2.65	16.67	3.8	10.61	160.2	1.35	14.46	121.74	13.7	Oi
MBP-P3-i	BP	6.17	49.77	2.49	31.9	3.77	17.76	4.95	10.61	87.93	1.74	9.49	83.75	13.06	Oi
MBP-P4-i	BP	6.02	50.1	2.51	69.9	2.74	17.66	4.39	10.61	143.6	1.37	10.87	116.46	14.01	Oi
MBS-P1-i	BS	6.62	49.73	2.49	54.6	4.43	17.6	4.81	36.8	86.1	4.4	9.2	109.59	12.36	Oi
MBS-P2-i	BS	6.45	49.33	2.47	27.7	2.64	14.31	3.67	10.61	190.5	1.62	16.72	71.96	13.67	Oi
MBS-P3-i	BS	6.1	51.28	2.56	60.3	3.81	18.61	4.46	19.1	65	2.2	14.56	98.05	14.48	Oi
MBS-P4-i	BS	6.22	50.73	2.54	45.8	3.54	18.56	3.97	22	98.53	2.42	28.25	126.74	12.82	Oi
MBSE-P1-i	BSE	5.2	49.77	2.49	50.1	2.39	16.79	2.6	37.2	214	1.82	13.32	321.82	12.74	Oi
MBSE-P2-i	BSE	5.31	49.92	2.5	51.7	2.93	17.21	2.76	28.5	253.5	2.07	11.33	549.9	13.88	Oi
MBSE-P3-i	BSE	5.06	50.8	2.54	47.6	1.94	15.38	1.95	29.9	267.6	1.79	8.39	279.61	12.48	Oi
MBSE-P4-i	BSE	5.45	49.7	2.48	53.3	2.09	16.98	2.8	29.8	201.7	1.85	10.01	333.97	13.08	Oi
MBSP-P1-i	BSP	5.61	49.81	2.49	77.9	2.22	14.27	4.09	32.7	244.7	1.8	21.43	126.7	13.62	Oi
MBSP-P2-i	BSP	5.74	48.66	2.43	97.6	2.28	16.63	3.99	34.7	204.8	1.62	24.68	133.02	14.41	Oi
MBSP-P3-i	BSP	5.57	49.73	2.49	106.2	1.97	15.71	3.92	34.6	179.2	1.55	24.25	53.2	13.81	Oi
MBSP-P4-i	BSP	5.63	46.15	2.31	117.8	2.54	17.28	5.03	36.7	147.3	1.78	15.78	69.94	14.49	Oi
LBP-P1-e	BP	6.58	50.29	2.51	64.5	5.05	22.39	8.35	10.61	76.17	0.78	11.03	131.19	19.74	Oe
LBP-P2-e	BP	6.73	49.25	2.46	46	12.6	22.42	7.54	10.61	69.71	0.78	10.69	311.45	19.86	Oe
LBP-P3-e	BP	6.76	50.1	2.51	63.8	5.36	22.33	7.97	10.61	116.35	1.04	11.55	397.31	18.4	Oe
LBP-P4-e	BP	6.14	50.07	2.5	136.2	7.66	22.79	7.83	10.61	90.03	2.63	12.72	176.91	18.99	Oe
LBS-P1-e	BS	6.01	50.36	2.52	60	3.49	15.35	4.92	10.61	147.4	0.93	12.77	110.99	12.99	Oe
LBS-P2-e	BS	6.51	50.14	2.51	58.4	4.52	23.15	3.75	10.61	59.74	1.39	16.82	512.23	19.81	Oe
LBS-P3-e	BS	6.74	49.4	2.47	42.9	12	22.48	7.89	10.61	70.25	0.8	13.7	256.54	19.05	Oe
LBS-P4-e	BS	6.47	47.26	2.36	72.8	5.11	22.67	7.74	10.61	40.68	0.91	14.13	299.04	13.69	Oe
LBSE-P1-e	BSE	6.65	49.88	2.49	43.1	5.39	19.38	5.2	10.61	50.15	1.11	7.7	129.17	19.93	Oe
LBSE-P2-e	BSE	6.7	49.14	2.46	19.6	4.32	20.84	5.78	10.61	111.4	0.78	10.4	193.37	19.54	Oe
LBSE-P3-e	BSE	6.29	48.37	2.42	48.1	2.63	19.67	7.52	10.61	107.3	0.78	11.24	121.1	18.62	Oe
LBSE-P4-e	BSE	6.69	50.8	2.54	30.4	4.22	18.88	4.26	10.61	70.35	0.97	10.88	96.74	19.35	Oe
LBSP-P1-e	BSP	4.25	48.37	2.42	88.7	1.25	14.4	1.37	643.7875	221.8	2	26.59	31.7	13.99	Oe
LBSP-P2-e	BSP	4.3	48.07	2.4	68	1.08	14.84	1.72	625.265	218.8	1.05	15.56	209.69	12.71	Oe
LBSP-P3-e	BSP	3.65	49.33	2.47	40.3	0.88	5.36	2.14	49.4	82.82	8.45	10.62	1.6	12.71	Oe
LBSP-P4-e	BSP	3.36	49.14	2.46	32.3	0.85	3.38	2.35	973.488	44.1	2.1	12.35	7.73	12.48	Oe
MBP-P1-e	BP	6.26	50.8	2.54	48.4	3.75	23.51	5.08	10.61	89.13	1.08	17.96	81.79	19.67	Oe
MBP-P2-e	BP	5.96	49.33	2.47	59.8	2.7	15.15	2.97	10.318	211.2	2.67	13.31	54.09	13.92	Oe
MBP-P3-e	BP	6.29	48.96	2.45	32.9	4.7	19.08	5.05	15.1	138.2	1.48	14.8	137.54	14.45	Oe
MBP-P4-e	BP	5.94	49.47	2.47	84	4.21	17.33	3.71	17.727	159.2	1.47	13.1	104.27	13.84	Oe
MBS-P1-e	BS	6.73	47.93	2.4	42	5.22	18.18	4.09	10.61	68.31	1.65	19.24	149.44	12.42	Oe
MBS-P2-e	BS	6.6	46.15	2.31	24.7	3.76	14.49	3.64	15.2	161.6	2.09	16.79	129.85	14.28	Oe
MBS-P3-e	BS	6.08	50.66	2.53	55.3	4.6	16.41	3.51	21.2	91.71	2.05	15.35	181.81	13.72	Oe
MBS-P4-e	BS	6.2	47.15	2.36	54.4	4.38	18.19	3.62	27.1	87.2	2.07	26.84	134.62	12.96	Oe
MBSE-P1-e	BSE	6.1	47.67	2.38	39.3	2.69	16.52	2.32	50.9	191.9	1.77	21.95	157.25	13.51	Oe
MBSE-P2-e	BSE	6.04	47.08	2.35	36.7	4.03	18.75	3.21	31.7	219.3	2.13	17.24	232.33	14.13	Oe
MBSE-P3-e	BSE	6.03	50.18	2.51	26.6	3.2	18.03	2.26	33	165.2	2.34	10.25	148.54	13.96	Oe
MBSE-P4-e	BSE	6.25	48.81	2.44	34.6	3.82	18.5	3.25	32.1	153.5	2.27	10.47	423.58	14.35	Oe
MBSP-P1-e	BSP	4.77	49.07	2.45	100.3	2.84	16.23	3.48	45.2	275.7	2.9	26.45	288.36	13.32	Oe
MBSP-P2-e	BSP	5.64	49.81	2.49	94.9	2.22	18.7	3.53	37.8	194.6	1.7	27.38	111.42	13.65	Oe
MBSP-P3-e	BSP	5.29	46.52	2.33	102.3	2.03	18.11	3.97	38.4	175.3	1.73	33.62	112.28	13.71	Oe
MBSP-P4-e	BSP	5.26	45.93	2.3	97.6	2.86	18.4	4.58	38.1	204.8	2.04	19.32	582.37	14.6	Oe
LBP-P1-a	BP	6.63	50.62	2.53	58.2	4.39	21.66	5.9	10.61	87.73	0.78	9.62	146.83	19.97	Oa
LBP-P2-a	BP	6.38	48.7	2.44	47.3	4.43	23.44	6.99	10.61	73.05	0.78	8.73	169.15	20.13	Oa
LBP-P3-a	BP	6.56	50.51	2.53	37.7	3.5	24.89	8.01	10.61	83.37	0.78	10.94	149.54	19.19	Oa
LBP-P4-a	BP	5.98	47.3	2.36	104.3	3.95	23.59	8.03	2.91	83.26	0.78	11.45	115.24	19.86	Oa
LBS-P1-a	BS	6.11	49.59	2.48	41.7	3.11	17.55	5.62	10.61	156.4	1.08	15.49	126.1	13.48	Oa
LBS-P2-a	BS	6.49	48.52	2.43	34.9	2.64	21.43	3.19	10.61	75.15	0.9	15.26	96.48	20.1	Oa
LBS-P3-a	BS	6.46	49.33	2.47	23.5	4.22	21.91	7.42	10.61	98.79	0.78	17.45	206.81	19.23	Oa
LBS-P4-a	BS	6.19	49	2.45	54	3.87	20.27	7.01	10.61	53.5	0.78	15.1	121.64	19.73	Oa
LBSE-P1-a	BSE	6.54	49.66	2.48	31.7	2.81	18.79	4.08	10.61	35.04	0.82	7.65	112.66	20.14	Oa
LBSE-P2-a	BSE	6.64	48.26	2.41	19	2.84	22.89	5.67	10.61	79	0.78	9.72	107.64	13.85	Oa
LBSE-P3-a	BSE	6.71	48.85	2.44	34	2.22	16.28	3.86	10.61	91.16	0.89	9.05	98.34	18.75	Oa
LBSE-P4-a	BSE	6.78	50.18	2.51	23.7	2.91	19.56	4.63	10.61	38.19	0.78	10.61	93.52	20.04	Oa
LBSP-P1-a	BSP	3.81	49.11	2.46	45.8	0.52	5.72	1.08	1230	86.36	3.43	12.82	69.21	11.78	Oa
LBSP-P2-a	BSP	3.58	50.07	2.5	34.7	0.42	2.91	0.77	951.5	20.19	3.19	8.11	66.24	12.33	Oa
LBSP-P3-a	BSP	3.55	48.15	2.41	41.1	0.39	0.52	0.66	1131	19.7	4.16	8.3	40.58	11.19	Oa
LBSP-P4-a	BSP	3.59	48.22	2.41	28.9	0.44	0.22	0.37	1997	7.31	3.53	9.48	66.7	13.24	Oa
MBP-P1-a	BP	6.22	47.45	2.37	37.7	2.2	21.99	4.19	10.61	120.6	0.97	20.62	51.94		

## ANEXO 7. Base de datos de las propiedades físico químicas del horizonte

	DA	PS	CC	PM	Cov	Arena	Limo	Arcilla	CT	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC
LBP-P1	0.5	0.716	0.416	0.242	BP	28.89	37.59	33.53	FA	6.17	35.42	1.77	19.7	1.08	16.54	3.6	10.6066	47.78	0.551543	4.93	73.37	19.56
LBP-P2	0.247	0.791	0.478	0.147	BP	25.66	32.56	41.78	F	5.37	35.64	1.78	18	1.04	19.72	2.74	228.88	47.07	0.551543	3.88	149.81	19.56
LBP-P3	0.409	0.769	0.6	0.199	BP	29.88	46.88	23.24	FA	6.18	25.68	1.28	17.7	0.95	21.27	4.43	10.6066	23.78	0.551543	4.47	59.72	19.83
LBP-P4	0.343	0.803	0.591	0.238	BP	30.62	50.56	18.81	FAL	5.35	35.49	1.77	19.1	1.22	17.27	3.42	236.6	63.82	0.94	9.23	50.01	13.21
LBS-P1	0.566	0.681	0.437	0.2	BS	25.14	44.43	30.43	F	5.19	35.01	1.75	15.7	0.61	13.2	1.9	218.3	138.4	1.15	5.87	64.41	19.66
LBS-P2	0.616	0.715	0.551	0.289	BS	25	49.34	25.66	F	5.72	31.25	1.56	17.1	0.92	18.77	1.99	34.1	25.39	0.83	5.41	96.03	19.2
LBS-P3	0.378	0.755	0.491	0.18	BS	20.02	34.37	45.61	F	5.71	25.35	1.27	24	1.72	16.49	3.64	102.93	26.54	0.551543	4.84	103.24	20.2
LBS-P4	0.344	0.764	0.457	0.186	BS	10.23	39.15	50.62	F	5.85	31.69	1.58	20.7	1.31	16.52	3.45	51.07	47.55	0.551543	13.42	79.68	19.45
LBSE-P1	0.774	0.7	0.471	0.307	BSE	17.76	64.32	17.92	FL	5.75	24.9	1.25	13.2	1.01	14.93	1.61	63	46.07	0.81	2.7	38.32	19.35
LBSE-P2	0.271	0.827	0.449	0.18	BSE	26.97	46.6	26.43	FA	5.62	41.51	2.08	20.6	1.43	18.98	3.59	79.9	67.34	0.551543	4.63	115.15	14.34
LBSE-P3	0.711	0.667	0.427	0.314	BSE	17.66	44.7	37.64	F	6.07	31.95	1.6	22.6	1.28	14.95	2.38	10.6066	66.79	0.551543	3.29	66.02	19.63
LBSE-P4	0.223	0.784	0.341	0.207	BSE	20.4	29.22	50.38	F	5.79	48.7	2.44	12.4	1.75	16.7	2.1	10.6066	82.3	0.551543	7.49	58.79	13.85
LBSP-P1	0.359	0.787	0.461	0.355	BSP	36.07	56.23	7.7	FAL	3.61	49.77	2.49	12.6	0.13	11.71	0.32	858.5	4.2	2.52	5.12	43.58	3.96
LBSP-P2	0.354	0.742	0.401	0.324	BSP	40.29	53.32	6.39	AL	3.76	47.3	2.36	11.3	0.08	11.54	0.21	1088	3.77	2.74	1.79	27.93	10.84
LBSP-P3	0.365	0.742	0.424	0.339	BSP	34.64	60.04	5.32	FAL	3.64	48.15	2.41	13.4	0.19	11.65	0.28	1142	6.59	3.3	3.6	30.02	12.28
LBSP-P4	0.367	0.768	0.46	0.336	BSP	35.12	56.2	8.67	FAL	4.04	51.06	2.55	8.7	0.07	11.48	0.17	663.3	2.58	2.95	2.12	8.53	7.57
MBP-P1	0.159	0.754	0.362	0.066	BP	20.58	29.23	50.19	F	5.75	47.81	2.39	18.8	1.19	13.86	1.6	48.7	92.67	1.6	9.33	125.13	14.41
MBP-P2	0.156	0.841	0.43	0.122	BP	39.42	39.51	21.07	FA	5.01	49.11	2.46	11.7	0.75	9.23	1.28	267.3	106.6	2.57	7.29	73.52	19.36
MBP-P3	0.27	0.76	0.458	0.171	BP	22.81	44.19	33	F	5.82	26.01	1.3	15.2	1.25	17.97	2.27	65.1	71.89	1	7.56	77.05	14.44
MBP-P4	0.144	0.842	0.509	0.095	BP	40.16	37.76	22.08	A	5.28	48.59	2.43	21.3	1.71	12.2	1.33	59.6	132.4	4.32	15.93	166.87	14.12
MBS-P1	0.223	0.811	0.404	0.155	BS	27.06	27.59	45.35	FAa	5.7	40.55	2.03	31	2.97	17.55	3.27	28.8	107.8	1.37	10.25	142.23	14.07
MBS-P2	0.194	0.846	0.492	0.187	BS	37.4	37.47	25.13	FA	5.42	45.38	2.27	10.5	1.04	13.76	1.1	95.7	63.66	2.23	10.03	73.54	14.24
MBS-P3	0.285	0.809	0.551	0.204	BS	29.5	33.93	36.57	FA	5.53	31.1	1.56	13.1	1.09	14.56	1.51	85.9	47.62	1.83	5.47	94.35	12.81
MBS-P4	0.293	0.794	0.424	0.128	BS	22.4	36.93	40.67	F	5.41	23.17	1.16	19.8	0.89	14.23	1.17	180.7	51.87	1.97	5.21	77.99	10.76
MBSE-P1	0.601	0.707	0.341	0.07	BSE	15.58	37.49	46.93	F	5.44	48.81	2.44	18.8	0.39	7.91	0.8	575	114.5	2.35	10.19	43.18	9.57
MBSE-P2	0.54	0.718	0.39	0.096	BSE	24.59	41.77	33.64	F	5.23	28	1.4	23.4	0.84	12.18	1.05	309.3	171.8	2.9	10.47	98.43	12.65
MBSE-P3	0.498	0.712	0.365	0.169	BSE	26.93	52.18	20.89	FL	5.02	32.72	1.64	14	0.53	10.51	0.65	303.1	123.6	2.65	6.25	44.05	13.08
MBSE-P4	0.665	0.682	0.392	0.199	BSE	24.51	40.4	35.1	F	5.01	24.13	1.21	12.2	0.76	11.69	1.11	413.5	92.22	2.67	6.59	49.76	11.62
MBSP-P1	0.496	0.669	0.331	0.145	BSP	22.47	48.6	28.93	F	5.27	51.84	2.59	21	0.41	9.69	0.82	242.1	151.1	2.57	7.47	55.02	12.31
MBSP-P2	0.515	0.73	0.371	0.123	BSP	24.94	39.97	35.08	F	5.6	23.02	1.15	21	0.6	13.73	0.8	187.3	131.6	2.42	15.57	57.66	13.89
MBSP-P3	0.575	0.699	0.37	0.201	BSP	26.96	48.07	24.97	F	5.42	24.79	1.24	22.7	0.4	14.86	1.1	162.3	142.1	2.23	19.27	54.35	13.73
MBSP-P4	0.372	0.745	0.353	0.127	BSP	16.6	43.47	39.94	F	5.9	34.5	1.72	9.7	0.59	13.82	0.85	155.4	122.7	2.11	4.65	45.9	20.23



**ANEXO 8. Curvas de retención de humedad para algunos suelos**



Fuente: (Llambí et al., 2012)