



**UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**“EFECTOS DE LAS PLANTACIONES DE PINO (*Pinus patula*) EN LAS  
PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE LOS HORIZONTES ÁNDICOS DE  
LOS SUELOS DE PÁRAMO EN DOS ZONAS DE LA CUENCA ALTA  
DEL RÍO PAUTE”**

Tesis previa a la obtención del título de:  
Ingeniero Agrónomo

**AUTORES:**

Tapia Cabrera Fanny Marlene  
Pacheco Serrano Christian Geovanny

**DIRECTOR:**

Ing. Pedro José Cisneros Espinoza M. Sc.

**CUENCA, ECUADOR**

**2015**



## RESUMEN

El páramo es un ecosistema alto andino de vital importancia por el servicio hídrico que provee especialmente a la población andina. Sin embargo estos ecosistemas son muy frágiles a los cambios de uso de suelo que son provocados por la intervención humana. Una de ellas es la implementación de plantaciones forestales con especies exóticas como el pino (*Pinus patula*). El propósito de esta investigación fue analizar el efecto del pino sobre las propiedades hidrofísicas de los horizontes ándicos de los suelos de páramo. La investigación se realizó en zonas altas de la cuenca del río Paute, a altitudes de 3500 y 3700 m s.n.m. Para la caracterización se seleccionaron sitios de pino y pajonal no intervenido. Se caracterizó el perfil del suelo en 20 calicatas. Se analizaron propiedades físicas como: conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ), densidad aparente, y contenidos de humedad en 6 puntos pF, las cuales se caracterizaron mediante datos de campo y toma de muestras alteradas e inalteradas. Para determinar el aporte de hojarasca de pino se recolectó de 30 sitios y fue pesada en fresca y seca. Mediante la aplicación de análisis paramétricos y no paramétricos se realizó una comparación entre sitios con pino y pajonal no intervenido, además se comparó el aporte de hojarasca en las dos zonas de estudio. Los resultados demostraron que  $K_{sat}$  y densidad aparente mostraron alteraciones en los suelos bajo cobertura de pino. Los contenidos de humedad indican diferencias en el contenido volumétrico de agua existiendo la tendencia de valores más altos en los suelos no alterados bajo cobertura de pajonal. Las diferentes ubicaciones altitudinales de las zonas mostraron ser influyentes en las propiedades hidrofísicas. Por último, el aporte de hojarasca de pino fue diferente en las dos zonas de estudio siendo en Tutupali Alto donde mayormente se registró este aporte.

**Palabras claves:** PÁRAMO, ANDOSOL, PINO, PAJONAL, PROPIEDADES HIDROFÍSICAS, HOJARASCA.



## ABSTRACT

The paramo is a high Andean ecosystem vital for water services that specifically provides the Andean population. However, these ecosystems are very fragile to changes in land use that are caused by human intervention. One is the implementation of forest plantations with exotic species such as pine (*Pinus patula*). The purpose of this research was to analyze the effect of pine on hydrophysical properties of andic horizons of soils paramo. The research was conducted in high areas of the Paute river, at altitudes of 3500 and 3700 m s.n.m. For characterization pine plantations and grassland sites were selected not intervened. The soil profile was characterized in 20 test pits. Physical properties were analyzed as: saturated hydraulic conductivity (Ksat), bulk density and moisture content of 6 points pF which were characterized by field data and making disturbed samples and unchanged. To determine the contribution of pine litterfall was collected of 30 sites was heavy in fresh and dry. By the application of parametric and non-parametric was compared analysis compares pine and grassland sites no intervened the litterfall in the two study areas. The results demonstrated that Ksat and bulk density showed alterations in soils under pine coverage. The moisture contents indicate differences in the volumetric water content existing trend of higher values in undisturbed soils under grassland coverage. The different altitude locations of the areas shown to be influential in the hydrophysical properties. The different altitude locations of the areas shown to be influential in the hydrophysical properties. Finally, the pine litterfall was different in the two study areas being mostly in Tutupali Alto where this contribution was recorded.

**Keywords:** PARAMO, ANDOSOL, PINE, GRASSLAND, HYDROPHYSICAL PROPERTIES, LITTERFALL.

**INDICE DE CONTENIDOS**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>17</b>
<b>2. JUSTIFICACION .....</b>	<b>18</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
3.1. Objetivo general .....	19
3.2. Objetivos específicos (OE) .....	19
<b>4. HIPOTESIS.....</b>	<b>19</b>
<b>5. MARCO TEORICO .....</b>	<b>20</b>
5.1. PÁRAMO.....	20
5.1.1. Definición y límite del páramo .....	20
5.1.2. Importancia del páramo.....	20
5.1.3. Cambio de uso del suelo en los páramos.....	22
5.1.4. Suelos de páramo .....	23
5.1.4.1. Características generales.....	23
5.1.4.2. Condiciones de formación de los suelos de páramo .....	23
5.1.4.3. Características físicas .....	24
5.2. PINO .....	26
5.2.1. Características morfológicas .....	26
5.2.2. Distribución.....	27
5.2.3. Requerimientos .....	27
5.2.4. Efectos producidos en suelos.....	28
<b>6. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>30</b>
6.1. Materiales.....	30
6.2. Área de estudio .....	30
6.2.1. Descripción del área de estudio .....	31
6.3. Metodología .....	33
6.3.1. Establecimiento de los sitios de estudio .....	33
6.3.2. Caracterización de las propiedades hidrofísicas de los suelos bajo plantaciones de pino y pajonal.....	34
6.3.2.1. Textura .....	35
6.3.2.2. Estructura .....	35
6.3.2.3. Color.....	36
6.3.2.4. Densidad aparente .....	36
6.3.2.5. Capacidad de retención de humedad.....	37
6.3.2.6. Conductividad hidráulica .....	39

---



6.3.2.7. Materia orgánica.....	41
6.3.3. Comparación de las propiedades hidrofísicas bajo plantaciones de pino y bajo cobertura vegetal nativa (pajonal).....	43
6.3.4. Comparar el aporte de hojarasca de pino en diferentes ubicaciones altitudinales. ....	44
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
7.1. Caracterización de las propiedades hidrofísicas de los suelos bajo plantaciones de pino ( <i>Pinus patula</i> ) y cobertura vegetal nativa (pajonal) ..	45
7.1.1. Caracterización de las propiedades morfológicas de los suelos bajo plantaciones de pino y pajonal.....	45
7.1.2. Caracterización de las propiedades hidrológicas de los suelos bajo plantaciones de pino y pajonal.....	49
7.2. Comparación de las propiedades hidrofísicas bajo plantaciones de pino ( <i>Pinus patula</i> ) y bajo cobertura vegetal nativa (pajonal) .....	53
7.2.1. Efectos de la cobertura vegetal: pino y pajonal sobre las propiedades hidrofísicas del suelo .....	53
7.2.2. Efectos de la altitud sobre las propiedades hidrofísicas del suelo... ..	58
7.2.3. Efectos de la cobertura vegetal a distinta altitud sobre las propiedades hidrofísicas del suelo.....	61
7.3. Comparar el aporte de hojarasca de pino ( <i>Pinus patula</i> ) en diferentes ubicaciones altitudinales .....	66
7.3.1. Producción de hojarasca en plantaciones de pino en dos altitudes ..	66
7.3.2. Relaciones entre el aporte de hojarasca y las propiedades hidrofísicas.....	68
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>8.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>8.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>74</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>83</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Páramo de Soldados.....	20
Figura 2. Árboles de pino .....	26
Figura 3. Ubicación de los sitios de estudio .....	30
Figura 4. Promedios de precipitaciones mensuales Soldados, periodo 2012-2013 .....	31
Figura 5. Promedios de precipitaciones mensuales Tutupali, periodo 2013-2014 .....	32
Figura 6. Coberturas del estudio .....	33
Figura 7. Descripción de perfil.....	34
Figura 8. Formación de la Cinta .....	35
Figura 9. Identificación de estructuras.....	35
Figura 10. Extracción de muestras.....	36
Figura 11. Secado y pesaje de las muestras.....	37
Figura 12. Saturación de anillos y Caja de arena (pF=0.5 y 1.5) .....	38
Figura 13. Contenido de humedad (punto pF=2.52) .....	38
Figura 14. Placas con pasta saturada .....	39
Figura 15. Diseño del método de pozo invertido .....	40
Figura 16. Pruebas de pozo invertido.....	40
Figura 17. Pesado de muestras y crisol .....	41
Figura 18. Ignición o calcinación para materia orgánica .....	42
Figura 19. Curva de contenido de humedad del suelo con pino a 3700 m s.n.m. ....	49
Figura 20. Curva de contenido de humedad del suelo con pajonal a 3700 m s.n.m. ....	50
Figura 21. Curva de contenido de humedad del suelo con pino a 3500 m s.n.m. ....	50
Figura 22. Curva de contenido de humedad del suelo con pajonal a 3500 m s.n.m. ....	51
Figura 23. Diagrama de caja de densidad aparente y ksat .....	55
Figura 24. Diagramas de caja de los contenidos de humedad bajo cobertura de pino y pajonal .....	57
Figura 25. Diagrama de caja de densidad aparente y ksat .....	58

---



Figura 26. Diagramas de caja de los contenidos de humedad en dos altitudes 60

Figura 27. Diagrama de caja de densidad aparente y  $k_{sat}$  ..... 63

Figura 28. Diagramas de caja de los contenidos de humedad bajo cobertura de pino y pajonal a dos altitudes ..... 65

Figura 29. Diagramas de caja de la producción de hojarasca de pino en dos altitudes..... 68



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de significancia .....	43
Tabla 2. Descripción de las características de las plantaciones.....	44
Tabla 3. Características morfológicas de los suelos de las coberturas estudiadas (pino y pajonal).....	48
Tabla 4. Propiedades hidrofísicas de los suelos bajo cobertura de pino y pajonal.....	52
Tabla 5. Efectos de la cobertura vegetal (Pino y pajonal) sobre las propiedades hidrofísicas del suelo.....	53
Tabla 6. Promedio $\pm$ error estándar de las propiedades hidrofísicas bajo cobertura de pino y pajonal .....	54
Tabla 7. Promedio error estándar de las propiedades hidrofísicas a distinta altitud.....	58
Tabla 8. Efectos de la cobertura vegetal y la altitud sobre las propiedades hidrofísicas del suelo en dos altitudes.....	61
Tabla 9. Promedio $\pm$ error estándar de las propiedades hidrofísicas bajo cobertura de pino y pajonal a dos altitudes .....	62
Tabla 10. Producción de hojarasca ( $\text{Mg ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ) en plantaciones de pino en dos altitudes .....	66
Tabla 11. Correlaciones de Pearson de la producción de hojarasca de pino con las propiedades hidrofísicas .....	69





## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Materiales utilizados.....	83
Anexo 2. Coordenadas geográficas de las plantaciones.....	85
Anexo 3. Descripción de perfiles de las calicatas.....	86
Anexo 4. Diagrama para la determinación de la textura por el tacto .....	96
Anexo 5. Ficha de ingreso de muestras de suelo al laboratorio. ....	97
Anexo 6. Ficha de laboratorio para datos requeridos en la obtención de contenido de agua del suelo.....	98
Anexo 7. Ficha de campo para lecturas de pruebas de pozo invertido .....	99
Anexo 8. Pruebas de normalidad .....	100
Anexo 9. Correlaciones de Pearson de las propiedades hidrofísicas del suelo.....	100



Yo, Fanny Marlene Tapia Cabrera, autora de la tesis "Efectos de las plantaciones de pino (*Pinus patula*) en las propiedades hidrofísicas de los horizontes ándicos de los suelos de páramo en dos zonas de la cuenca alta del río Paute", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Diciembre de 2015

Fanny Marlene Tapia Cabrera  
C.I. 0105806855



Yo, Christian Geovanny Pacheco Serrano, autor de la tesis "Efectos de las plantaciones de pino (*Pinus patula*) en las propiedades hidrofísicas de los horizontes ándicos de los suelos de páramo en dos zonas de la cuenca alta del río Paute", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.


Cuenca, Diciembre de 2015

Christian Geovanny Pacheco Serrano  
C.I. 0105057350



Yo, Fanny Marlene Tapia Cabrera, autora de la tesis "Efectos de las plantaciones de pino (*Pinus patula*) en las propiedades hidrofísicas de los horizontes ándicos de los suelos de páramo en dos zonas de la cuenca alta del río Paute", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (título que obtiene). El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Diciembre de 2015

  
Fanny Marlene Tapia Cabrera  
C.I. 0105806855



Yo, Christian Geovanny Pacheco Serrano, autor de la tesis "Efectos de las plantaciones de pino (*Pinus patula*) en las propiedades hidrofísicas de los horizontes ándicos de los suelos de páramo en dos zonas de la cuenca alta del río Paute", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (título que obtiene). El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Diciembre de 2015

Christian Geovanny Pacheco Serrano  
C.I. 0105057350



## DEDICATORIA

A Dios por guiar mi camino, darme fortaleza y lograr cumplir este sueño.

A papá y mamá con amor, gracias por su apoyo y confianza, papis son mi orgullo. A mi hermana por los momentos de alegría y tristeza, te quiero ñaña.  
A mi familia entera gracias.

*Fanny Marlene*



## DEDICATORIA

A Dios y a la Virgencita del Cisne por darme la fuerza, la paciencia e interceder por mí en momentos difíciles.

A la persona que jamás me dio la espalda y creyó en mí, a mi viejita hermosa, a mi padre por su ejemplo de trabajo, esfuerzo y consejos para hacer de mí una persona de bien, a mis hermanos mi súper héroe favorito, a la que más me sabe hablar, al más largo de los hermanos y al que espero que esto le sirva de ejemplo. GRACIAS!

*Christian Geovanny*



## AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría en primer lugar dar las gracias a Dios por permitirnos concluir el presente trabajo y darnos la paciencia y fortaleza en momentos difíciles.

A nuestros padres, GRACIAS por la confianza puesta en nuestras manos, GRACIAS por el apoyo brindado todo este tiempo. Y por aquella pregunta que nos ponía un poquito de presión ¿Y ya acabas? Por ser como son y por todo. Son nuestro mejor ejemplo, PADRES LES AMAMOS MUCHO!!

De manera muy especial de damos las gracias a nuestro director de tesis Ing. Pedro José Cisneros Espinoza M. Sc. por sus enseñanzas y tiempo invertido en este trabajo.

Al Departamento de Recursos Hídricos y Grupo de Investigación Ciencias de la Tierra y del Ambiente de la Universidad de Cuenca quedamos eternamente agradecidos por abrirnos las puertas y facilitarnos todo el equipo necesario para esta investigación.

A las personas que de una u otra manera colaboraron en este trabajo y cada consejo, cada palabra de aliento, de paciencia, ayudaron para seguir caminando hacia adelante y como olvidar esas salidas al páramo con caminos peligrosos en donde hasta el vehículo pedía un descanso entre el fango, cuando a pesar del clima devastador encontrábamos esos minutos para reírnos y ansiábamos que llegara el medio día para al fin poder comer nuestros refrigerios que serían nuestro sustento en todo el día.

A nuestro amigos y compañeros de toda la vida universitaria, gracias a ustedes esta etapa de la vida fue inolvidable, cuando en cada mañana y tarde en nuestras aulas nos reíamos de todo, nadie se escapaba. Por ese trabajo prestado, por esas alertas de deberes pendientes. Gracias compas.

*FANNY  
CHRISTIAN*





## 1. INTRODUCCION

En los ecosistemas de páramo los suelos son uno de los componentes más importantes dentro de la conservación de las fuentes de agua y más aún debido a los servicios ambientales que provee a toda la población andina que se encuentra en las partes bajas, (Medina et al., 2000). Estos suelos de páramo especialmente los Andosoles se caracterizan por su elevada capacidad de retención de humedad que juegan un papel importante en la regulación de la calidad y cantidad de caudales hídricos (Cisneros et al, 2010). Pero estos ecosistemas de páramo se han visto alterados por el cambio de uso del suelo debido a la presencia de plantaciones de especies exóticas, sin conocer con absoluta claridad los efectos que provocan en las zonas donde se han implantado (Hofstede, 2000).

Estudios realizados por Celleri et al., (2004) cuantificaron la influencia del pino en la retención de humedad, esto se ve reflejada en la disminución del contenido volumétrico de agua. A nivel de microcuencas éstas muestran una disminución en los caudales mínimos debido al consumo de agua por evapotranspiración por parte de los árboles (Buytaert et al., 2006). Sin embargo a pesar de estas aparentes consecuencias ambientales negativas se siguió sembrando pinos sin tener en cuenta la zona, llegando a plantar hasta en zonas de páramo, esto se puede evidenciar en las cercanías del El Parque Nacional El Cajas (Chacon & Ansaloni, 2003).

Considerando la importancia de los suelos en los ecosistemas de páramo, el estudio ha caracterizado y comparado las propiedades hidrofísicas de los suelos bajo plantaciones de pino (*Pinus patula*) y bajo cobertura vegetal nativa (pajonal), además se pudo realizar la comparación del aporte de hojarasca de pino en diferentes ubicaciones altitudinales. Los resultados encontrados son un aporte que permite evaluar los efectos de las plantaciones de pino en las propiedades hidro-físicas del suelo dentro de las áreas de estudio.



## 2. JUSTIFICACION

El abastecimiento de agua proveniente de los páramos es de vital importancia especialmente para los pueblos andinos (Buytaert et al., 2006). Se conoce que una alteración en la cobertura vegetal nativa influye en la regulación de los flujos de agua, por lo tanto actividades como implementación de plantaciones forestales dentro de estos ecosistemas están amenazando la regulación de los caudales de agua (Hofstede, 1995).

La forestación en nuestro país se ha realizado exclusivamente por medio de plantaciones y su gran mayoría de especies exóticas (*Pinus radiata* y *P. patula*). Esta actividad se ha desarrollado particularmente para altitudes mayores a los 3000 m s.n.m. (Medina et al., 2000). Estudios realizados en la sierra ecuatoriana indica que los efectos que provocan las plantaciones de pino no se pueden generalizar, este efecto va a depender de la región el uso anterior de la tierra y el manejo actual de la plantación. Sin embargo, existe la tendencia general de que las plantaciones de *Pinus* están relacionadas con sitios de menor materia orgánica, menor humedad y textura gruesa (Hofstede et al. 1998) .

En este contexto, la investigación será un aporte para conocer los efectos que generan las plantaciones de pino (*Pinus patula*) en las propiedades hidrofísicas de los horizontes ándicos, ubicados en estas localidades y generar información sobre la afectación que sufren las características edafológicas, ya que como se observa en la literatura revisada la información existente es en su mayoría de carácter hidrológico, siendo importante un aporte a la edafología de estos ecosistemas.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

- Evaluar los efectos de las plantaciones de pino (*Pinus patula*) en las propiedades hidrofísicas de los horizontes ándicos de los suelos de páramo en dos zonas de la cuenca alta del río Paute.

#### 3.2. Objetivos específicos (OE)

- Caracterizar las propiedades hidrofísicas de los suelos bajo plantaciones de pino y bajo cobertura vegetal nativa (pajonal).
- Comparar las propiedades hidrofísicas bajo plantaciones de pino y bajo cobertura vegetal nativa (pajonal).
- Comparar el aporte de hojarasca de pino en diferentes ubicaciones altitudinales.

### 4. HIPOTESIS

**Ha1:** Las propiedades hidrofísicas del horizonte Ándico se ven afectadas por las plantaciones de *Pinus patula*.

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1. PÁRAMO

#### 5.1.1. Definición y límite del páramo



**Figura 1. Páramo de Soldados**

**Fuente:** Pacheco y Tapia, 2015

La palabra páramo proviene del latín “paramus”, ubicados en regiones de alta montaña en el norte de los andes, su límite puede variar de acuerdo a aspectos botánicos, ecológicos (Delgado & Zarate, 2002) . En general para motivos de estudio se utiliza una altura desde 3500 m s.n.m. como cifra de trabajo. En Ecuador este límite puede variar, el límite inferior puede ir hasta debajo de los 3000 m s.n.m., como se presenta en el sur del país (Loja) que se inician desde los 2800 m s.n.m. y como límite superior pueden llegar hasta los 4000 m s.n.m., donde se encuentran nieves perpetuas (Mena & Medina, 2001). La distribución altitudinal de acuerdo principalmente a los factores climáticos clasifican a los páramos en tres pisos altitudinales: subpáramo, páramo y super-páramo (Llambi et al., 2012).

En el Ecuador tienen una superficie de 12560 km<sup>2</sup> equivalente aproximadamente 5% del territorio (Páramo, 1999). En la provincia del Azuay la superficie aproximada es de 161269 ha, lo que constituye el 20 % de su área total, considerando únicamente páramos de pajonal (Delgado & Zarate, 2002).

#### 5.1.2. Importancia del páramo

##### 5.1.2.1. Biodiversidad

Los páramos por su ubicación altitudinal y clima poseen una diversidad de especies vegetales de las cuales muchas de ellas son exclusivas de estos



ecosistemas (Josse et al, 2000). Según León & Yáñez, (2000) las familias con mayor número de especies que se encuentran en los páramos ecuatorianos son *Orchidaceae* y *Asteraceae*. Una característica especial de la vegetación es que siempre es verde (Páramo, 1999). En cuanto a la presencia de fauna es muy importante constituyendo el hábitat de muchos animales silvestres como aves y mamíferos (Mena & Medina, 2001) .

#### **5.1.2.2. Hidrología**

Unas de las funciones más importantes de los ecosistemas de páramo es la de regulación de agua. Esta característica es generada principalmente por la acumulación de materia orgánica en los suelos y también por la presencia de especies vegetales que funcionan como una verdadera esponja (Mena & Medina, 2001; Llambi, 2012). El agua es suministrada para las poblaciones que se encuentran en las partes bajas para uso doméstico, agrícola y generación de fuentes de energía (Buytaert et al., (2006).

#### **5.1.2.3. Almacenamiento de carbono**

Los ecosistemas de páramo son una gran fuente de captura de carbono, se encuentra en la materia orgánica presente en el suelo, debido a las bajas tasas de descomposición en estos ecosistemas temperaturas (Cunalata et al., 2013) . Por otra parte, la vegetación existente también realiza dicha acumulación por sus propios procesos fisiológicos, ese es el motivo que ha llevado a la forestación de extensas áreas dentro de estos ecosistemas y que contribuyan a la fijación de carbono, esto evita que existan emisiones de este elemento a la atmosfera (Hofstede, 1999).

#### **5.1.2.4. Economía**

Son áreas donde se han desarrollado actividades agrícolas, se han introducido nuevos cultivos y tecnologías, además la utilización para el pastoreo de ganado vacuno, ovino y equino (Molinillo & Monasterio, 2002). También puede considerarse la diversidad de paisajes un atractivo para turistas, y que generan recursos para las comunidades locales (Mena & Hofstede, 2006). Por otro lado Hofstede, (2000) destaca que la implementación de plantaciones forestales



cuyo motivo ha sido la futura producción de madera, generando empleo e ingresos económicos a la población local.

#### **5.1.2.5. Importancia científica**

Las investigaciones y estudios de las condiciones parameras en su gran mayoría se han centrado en su parte botánica, esto ha ayudado a conocer su funcionamiento y generar información que ayude a su manejo como un sistema de carácter único a nivel mundial (Llambi, 2012).

#### **5.1.3. Cambio de uso del suelo en los páramos**

##### **5.1.3.1. Agricultura**

Estos ecosistemas se han visto alterados por el avance de la frontera agrícola y la utilización inadecuada de pesticidas. El cultivo principal es la papa pero también existen otros como las ocas, mellocos (Podwojewski, 1999); sin embargo esta práctica ha traído como efecto la degradación de los suelos especialmente de la estructura y con ello la cantidad de materia orgánica y los minerales (Buytaert et al., 2006).

##### **5.1.3.2. Ganadería**

El efecto de la introducción de ganado vacuno y bovino tiene un efecto negativo en el suelo, estos son pisoteados provocando que se compacten y pierdan capacidad de retención de agua, además del consumo de la vegetación por parte de los animales dejando sin cubierta vegetal que proteja al suelo, contra el sol y evite la erosión hídrica y eólica (Hofstede, 1995a; Buytaert et al., 2006).

##### **5.1.3.3. Quemas**

Hofstede et al., (1998), habla de esta actividad que se practica por lo general para estimular el nacimiento de los brotes de las plantas, que sirven de alimento para el ganado y para limpiar el terreno antes de una siembra. Se realiza en grandes extensiones de terreno dejándolo desnudo.



#### **5.1.3.4. Forestación con especies exóticas**

Según Farley (2008), en el Ecuador las plantaciones forestales se iniciaron en los años 1800 siendo el *Pinus radiata* la especie escogida por su rápido crecimiento. La forestación con especies exóticas se ha dado básicamente por dos razones: económica y ambiental (Hofstede, 2000). En cuanto a los aspectos edafológicos Cortés et al., (1990) indica que en el caso del pino existe una disminución hídrica, volviendo al suelo más seco debido a la presencia de la hojarasca, siendo esta resistente a microorganismos, dando como resultado un suelo menos orgánico.

#### **5.1.4. Suelos de páramo**

Los suelos que se encuentran en los páramos son los Andisols, Entisols, Inceptisols e Histosols según la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003) o de acuerdo a la clasificación de la FAO/ISRIC/ISSS, (1998) que son clasificados como Andosols, Regosols, Umbrisols e Histosols.

##### **5.1.4.1. Características generales**

Los páramos más altos poseen suelos rocosos y poco profundos con un alto porcentaje de arena, poca materia orgánica y muy baja retención de agua; son extremadamente infértiles. En elevaciones medias, los suelos son relativamente húmedos, negros o cafés y ácidos, con una gran capacidad de retención de agua. Los páramos más bajos presentan suelos muy oscuros, una acidez moderada, bajos niveles de calcio, alto contenido de agua, potasio y nitrógeno total (Llambi, 2012). Además en su gran mayoría son de origen glaciar y volcánico.

##### **5.1.4.2. Condiciones de formación de los suelos de páramo**

Los principales son el clima, la roca madre y la edad de los suelos. El clima es común a la mayor parte de los páramos del Ecuador. Es el principal factor de la pedogénesis (es decir, el proceso de formación de suelos) pero la diferenciación de los suelos de páramos se debe principalmente a la diferencia de roca madre entre el norte y el sur del país (Podwojewski & Poulénard, 2000).



### 5.1.4.3. Características físicas

Las características físicas de estos suelos los convierte en especiales con respecto a otros tipos de suelos (Borja, 2012). Estos presentan baja densidad aparente, alta capacidad de retención de humedad, una buena estructura micro-porosa, irreversible valor de deshidratación, buena estabilidad de los micro-agregados, y una alta susceptibilidad a la erosión después del secamiento (Borja, 2012). En los páramos podemos encontrar el siguiente tipo de suelos desde el punto de vista taxonómico, de los que se detalla sus características físicas:

- **Andosoles**

Son suelos negros desarrollados sobre depósitos de cenizas volcánicas (Shoji, 1993). Mayormente son encontrados en zonas onduladas, montañosas, húmedas y regiones árticas a tropicales con un rango muy amplio de vegetación. También pueden desarrollarse en materiales ricos en silicatos bajo meteorización ácida en climas húmedos y perhúmedo.

Los Andosoles presentan propiedades únicas llamadas propiedades ándicas, las mismas que se manifiestan en el horizonte ándico (Borja, 2012). Este horizonte se caracteriza por encontrarse en la superficie como subsuperficialmente y por su condición especial tienen un alto contenido de materia orgánica por lo general mayor al 5%. Presenta un color muy oscuro, rico en alofanos o complejos de humus-aluminio.

En este tipo de suelos, la meteorización rápida de vidrios o eyecciones volcánicas da como resultado la acumulación de complejos órgano-minerales estable o mineral de bajo grado de ordenamiento como alofano, imogolita y ferrihidrita. La meteorización ácida de otro material rico en silicato en climas húmedos y perhúmedos también lleva a la formación de complejos órgano-minerales estables (FAO, 2007), por otra parte estos horizontes casi en su mayoría tienen una textura franco limosa o más fina y también se caracteriza por tener un espesor de 50 cm o más (FAO, 1999).





- **Histosoles**

Los Histosoles comprenden suelos formados en material orgánico. Varían desde suelos desarrollados predominantemente en musgo de turba en regiones boreal, ártica y subártica, via turba de musgos, turba de cañas/ciperáceas (pantanos) y turba de bosque en regiones templadas hasta turba de manglares y turba de bosque de pantano en los trópicos húmedos. Los Histosoles se encuentran en todas las altitudes, pero la gran mayoría ocurre en tierras bajas. Los nombres comunes son suelos de turba, suelos de lodo, suelos de pantanos y suelos orgánicos.

La mineralización es lenta y la transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica, y formación de sustancias húmicas crea una capa superficial de moho con o sin saturación con agua prolongada. El material orgánico translocado puede acumularse en capas más profundas pero más frecuentemente es lixiviado del suelo (FAO, 2007)

- **Cambisoles**

Los Cambisoles son suelos que al menos tienen una diferenciación en horizontes subsuperficiales claramente evidenciados por cambios en su estructura, color, contenido de arcilla y remoción de carbonatos. Los Cambisoles se caracterizan principalmente por ser originarios de un amplio rango de rocas en donde provienen los materiales de textura media a fina. Estos suelos tienen poca meteorización y ausencia de cantidades considerables de arcilla iluvial, materia orgánica y compuestos de aluminio (Al) y/o Hierro (Fe). Los Cambisoles por lo general se desarrollan en zonas planas a montañosas en todo tipo de clima dándole la oportunidad de abarcar un amplio rango de tipo de vegetación (FAO, 2007).

- **Leptosoles**

Los Leptosoles son suelos muy someros del griego leptos, fino, sobre roca continua en o muy cerca de la superficie o son extremadamente gravillosos.



Los Leptosoles en material calcáreo meteorizado pueden tener un horizonte mólico.

Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en tierras en altitud media o alta con topografía fuertemente disectada. Los Leptosoles se encuentran en todas las zonas climáticas (muchos de ellos en regiones secas cálidas o frías), en particular en áreas fuertemente erosionadas (FAO, 2007)

- **Umbrisoles**

Los Umbrisoles son el resultado de la meteorización de rocas silíceas. Los Umbrisoles son suelos en donde se ha acumulado materia orgánica dentro del suelo superficial mineral (en la mayoría de los casos con baja saturación con bases) hasta el punto en que afecta significativamente el comportamiento y la utilización del suelo. A los Umbrisoles se puede encontrarlos en climas húmedos; comunes en regiones montañosas con poco o sin déficit de humedad, principalmente en áreas frescas pero incluyendo montañas tropicales y subtropicales. Los Umbrisoles son la contraparte lógica de los suelos con horizonte mólico y alta saturación con bases en todo su espesor (FAO, 2007).

## 5.2. PINO

### 5.2.1. Características morfológicas



**Figura 2. Árboles de pino**  
**Fuente:** Pacheco y Tapia, 2015

Los pinos son árboles resinosos de tronco derecho, con ramas dispuestas en pisos que dan a la copa una forma cilíndrica o piramidal pueden alcanzar una



altura de 20-30 m dependiendo de las condiciones ambientales. La corteza es rugosa y forma generalmente escamas. Las hojas están transformadas en agujas, agrupadas de 2-5 en la base. Caracterizados por la ausencia de flores y frutos verdaderos y cuyas semillas se encuentran en conos hembras (Geilfus & Bailón, 1994; Vela, 2012).

### 5.2.2. Distribución

Se conocen cerca de 100 especies de pino, la mayoría son originarias de las zonas templadas y mediterráneas de Europa, Asia y Norteamérica (Geilfus & Bailón, 1994). El *Pinus patula* se encuentra de manera natural en zonas de México oriental de Tamaulipas a Oaxaca. Aunque posee una distribución natural muy restringida, el *Pinus patula* ha tenido mucho éxito en plantaciones industriales a través de los trópicos y subtropicos, incluyendo el sur de África, el subcontinente de la India, la América del Sur y Australia, destacándose por su buena forma, crecimiento acelerado y gran tamaño. Se adapta en la formación bosque húmedo y muy húmedo montano bajo (bh-MB) (Vinueza, 2013).

En la región Austral se los encuentra establecidos hasta por encima de los 3200 m s.n.m., las plantaciones están desperdigadas en la región, varían en tamaño entre 1 y 500 ha, sobre los 3000 m s.n.m. (Chacon & Ansaloni, 2003)

### 5.2.3. Requerimientos

- Disponibilidad de agua todo el año.
- Suelos ácidos
- Temperatura máxima no sobrepasar los 29°C. (Wormald, 1975)

Los pinos requieren temperaturas que van desde los 12 hasta los 18°C, sin embargo puede soportar hasta temperaturas absolutas de -10°, en cuanto a la precipitación debe ser dentro de los 1000 a 2000 mm por año (Lamprecht, 1989).

De acuerdo a datos de Zúñiga, (1995) en el Ecuador las plantaciones *Pino* sp. ocupan un 30%, es decir una área de 42900 ha. En cuanto a las provincias



ubicadas en el sur del Ecuador, Galloway, (1987) indica que en Azuay y Cañar los pinos se han establecido sobre zonas de suelos degradados, que son generalmente sitios de baja calidad.

#### **5.2.4. Efectos producidos en suelos**

En un estudio realizado por Crespo et al., (2014), muestra que a nivel de microcuenca y bajo cobertura natural el caudal de salida es mucho mayor que los caudales que se muestran en las microcuencas bajo cobertura con pino, por lo tanto si existe una disminución en el contenido de humedad. Esto debido a que los suelos permanecen más secos debido a la absorción de agua por las raíces de los pinos (Crespo et al., 2010).

Por otro lado Hofstede et al., (1998) también indica que en estudios comparativos revelaron que las plantaciones forestales muestran una evapotranspiración mayor y una escorrentía reducida en comparación con vegetación bajo pasturas naturales.

Un estudio realizado por Aertsen & Jansen, (2006) manifiestan en su tesis de graduación diferencias significativas en la densidad aparente del suelo y anotan valores como: pasto 0,62 g/cm<sup>3</sup> y en el páramo 0,39 g/cm<sup>3</sup>, y plantación de pino a los 16 años de edad 0,55 g/cm<sup>3</sup>. En cuanto a la retención de agua concluyen que en el punto de saturación es mayor en los suelos del páramo y del bosque de 31 años y menor en pasto. Por lo tanto se hace notoria una disminución en la retención de agua en los suelos con presencia de plantaciones forestales en comparación con los que están bajo cobertura de páramo.

En cuanto a los efectos en la presencia de nutrientes Chacón et al., (2009), manifiesta que no se puede evidenciar que los pinos estén causando una disminución en los nutrientes del suelo, sino que el establecimiento de los mismos son una salida para la falta de fertilidad que ya existe en el suelo.

Sin embargo se puede justificar en el caso del *Pinus patula*, que los nutrientes son inmovilizados producto de la capa orgánica. Esta se descompone más lenta que la capa orgánica del páramo y la hojarasca se acumula en el suelo



(Hofstede et al., 1998). El espesor de la capa orgánica suma 5 cm en promedio en el bosque de 4 años y 15 cm en el bosque de 31 años. La proporción de C/N, que es una indicación para la descomposición de la hojarasca, es 32,6 en el páramo y entre 43,3 y 49 en los bosques.

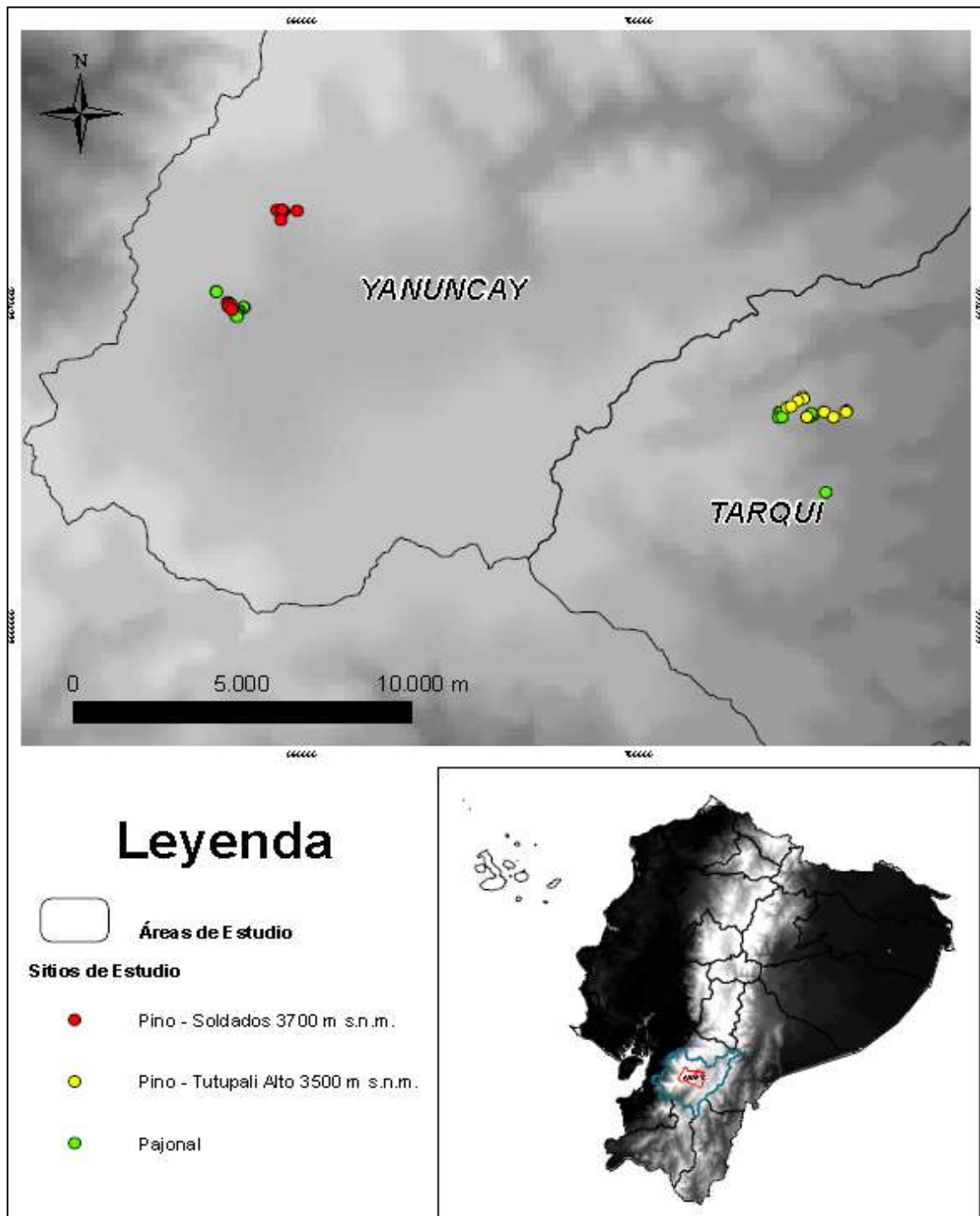
El pH de la hojarasca de *Pinus patula* es más ácido que el pH de la hojarasca de la vegetación del páramo (Aertsen & Jansen, 2006). Por lo tanto se espera que las condiciones microclimáticas y edáficas alteradas, causadas por la cobertura total por *Pinus*, hace que la vegetación natural del área sea casi ausente (Ohep & Herrera, 1985).

## 6. MATERIALES Y METODOS

### 6.1. Materiales

Los materiales utilizados se detallan en el Anexo 1.

### 6.2. Área de estudio



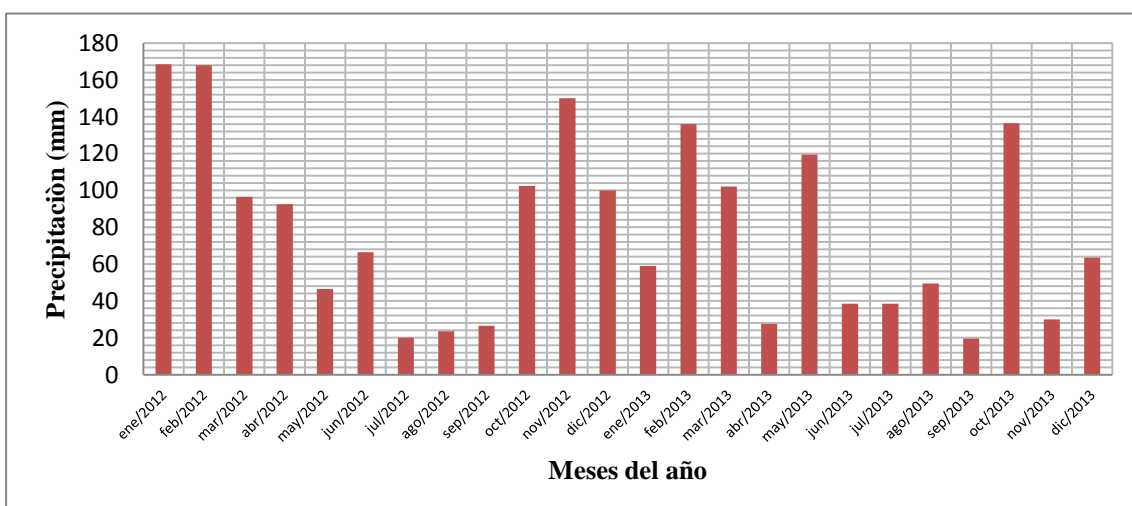
**Figura 3. Ubicación de los sitios de estudio**  
Elaborado por: Pacheco y Tapia, 2015

### 6.2.1. Descripción del área de estudio

Las áreas de estudio se encuentran localizadas en la República de Ecuador, provincia del Azuay, cantón Cuenca, dentro de las parroquias Tarqui (Tutupali Alto) y San Joaquín (Soldados), ubicados a dos altitudes 3500 y 3700 m s.n.m. respectivamente. Las zonas de estudio se localizan en las siguientes coordenadas UTM: Soldados X: 689 866 m y Y: 9672 839 m y Tutupali Alto X: 706 157 m y Y: 9666 670 m.

Las zonas de estudio están dentro de las subcuencas Tarqui y Yanuncay, correspondientes a la cuenca alta del Río Paute, ubicadas al suroeste de la ciudad de Cuenca (Figura 3).

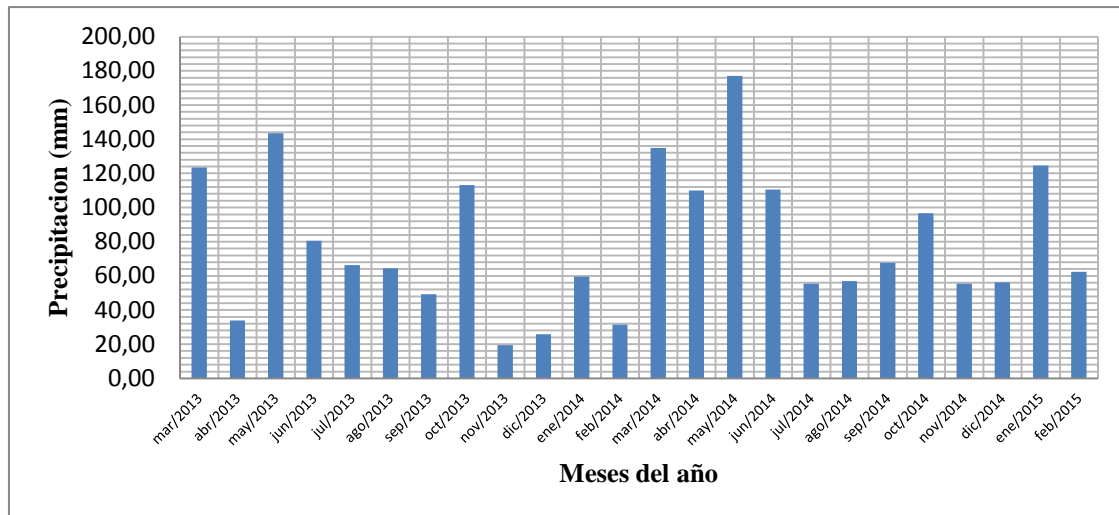
Estas zonas se localizan en la cima fría de la cordillera occidental, comprendida entre las altitudes 2900 m s.n.m., pasando por la cota de mayor altitud de 4560 m s.n.m. La temperatura promedio anual tiene una variación de 7 a 13°C (Municipio de Cuenca, 2011). La precipitación media anual de los periodos 2012 y 2013 en Cancan, Soldados es de 1061 y 820 mm respectivamente (Promas, 2015; Figura 4). En Tutupali Alto se presentaron precipitaciones anuales en 2013 y 2014 de 719,90 y 1011,60 mm respectivamente (Senagua, 2015; Figura 5).



**Figura 4.** Promedios de precipitaciones mensuales Soldados, periodo 2012-2013

**Fuente:** Promas, 2015.

**Elaboración:** Pacheco y Tapia, 2015



**Figura 5.** Promedios de precipitaciones mensuales Tutupali, periodo 2013-2014

**Fuente:** Senagua, 2015

**Elaboración:** Pacheco y Tapia 2015

La vegetación nativa está dominada casi en su totalidad por pajonal (*Calamagrostis intermedia* (J. Presl) Steud; *Poaceae* o *Gramineae*); y por plantas nativas de los humedales como es la almohadilla (*Plantago rigida* Kunth; *Plantaginaceae*), pero también encontramos líquenes y musgos (Cárdenas, 2014).

El tipo de suelos que se pueden encontrar en los páramos de las provincias de Azuay y Cañar en su mayoría corresponden a Andosoles que son suelos derivados de cenizas volcánicas antiguas y recientes y están ubicados por encima de los 3000 m s.n.m. (Delgado & Zarate, 2002).

Las zonas forestadas contienen árboles de pino que fueron sembradas con una densidad original de 1111 árboles por ha (3 m x 3 m). En la localidad de Soldados ubicada a una altura de 3700 m s.n.m. los árboles fueron implantados hace aproximadamente 15 años, su altura está comprendida entre los 3 y 6 m. En la localidad de Tutupali Alto ubicada a 3500 m s.n.m los árboles de pino fueron implantados hace aproximadamente 20 años, por lo tanto el desarrollo de los árboles es más evidente llegando a una altura alrededor de 5 a 11 m.





### 6.3. Metodología

#### 6.3.1. Establecimiento de los sitios de estudio

Para el establecimiento de los sitios de estudio contamos con la ayuda del proyecto “Mejoramiento de las estrategias de manejo forestal en los páramos del sur del Ecuador” dentro del Centro de Hidrología y Clima que pertenece al Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca. En cada zona de estudio diferenciado por piso altitudinal su ubicó sitios de muestreo que corresponden a la cobertura de pino y pajonal (testigo), para ello se seleccionaron dos plantaciones en Soldados y dos en Tutupali Alto, que fueron ubicados en 30 sitios de muestreo (15 por plantación). En la cobertura de pajonal se ubicaron 10 sitios tanto a 3500 m s.n.m. como a 3700 m s.n.m., estos están ubicados a una distancia promedio de 500 m (Figura 6). En los sitios escogidos se tomó en cuenta criterios similares como el relieve, la posición fisiográfica y la ubicación altitudinal. Los sitios de estudio fueron georeferenciados (Anexo 2).



a. Plantación de pino, Soldados



b. Pajonal Soldados



a. Plantación de pino, Tutupali Alto



d. Pajonal Tutupali Alto

**Figura 6. Coberturas del estudio**

Fuente: Pacheco y Tapia, 2015



En los sitios de muestreo seleccionados se realizó una descripción tomando en cuenta: código del sitio, coordenadas geográficas, altura, pendiente, posición en el paisaje, erosión y cobertura vegetal. En cada sitio de estudio se realizó una caracterización del perfil de suelo para esto se procedió a realizar descripciones de 20 calicatas representativas. Para ello se usó las guías de FAO (2009), la misma que detalla el número de perfil, la profundidad del suelo, tipo, espesor y las características físicas de cada horizonte. En cada horizonte encontrado se registrará también la presencia de fragmentos rocosos, presencia o no de raíces, textura, estructura y color (Anexo 3; Figura 7).



**Figura 7. Descripción de perfil**  
**Fuente:** Pacheco y Tapia, 2015

### **6.3.2. Caracterización de las propiedades hidrofísicas de los suelos bajo plantaciones de pino y pajonal**

Dentro de cada parcela de pino se seleccionaron 3 sitios al azar, donde se consideró un rango de 0-25 cm de profundidad.

Para la determinación de las propiedades físicas e hidrofísicas se procedió a realizar trabajo de campo y de laboratorio. Las características que se tomaron en cuenta son: textura, estructura, color, densidad aparente, capacidad de retención de humedad, conductividad hidráulica, materia orgánica.

Para la descripción de estos parámetros se utilizó los siguientes métodos que se detallan a continuación:



### 6.3.2.1. Textura

Para para determinación de la textura se tomó de 25 a 30 g de suelo en la palma de la mano y se agregó gotas de agua para humedecer la muestras, hasta conseguir una consistencia adecuada, luego se colocó la muestra entre los dedos pulgar e índice y presionando suavemente hacia adelante hasta que se forme una cinta y dejar que se extienda hasta que se rompa por su propio peso (Figura 8). Luego se humedeció en exceso la muestra y se froto con el índice en la palma de la mano, identificando mediante la sensación del tacto la textura predominante de acuerdo a la guía señalada (Anexo. 4).



**Figura 8. Formación de la Cinta**  
**Fuente:** Pacheco y Tapia, 2015

### 6.3.2.2. Estructura

Para la determinación de la estructura se tomó entre las manos muestra de suelo no alterada y se examinó con los dedos su forma, además de tratar de visualizarlas e identificar las formas predominantes de los agregados (Figura 9). Este análisis se realizó en cada calicata realizada y siguiendo la guía de la FAO (2009).



**Figura 9. Identificación de estructuras**  
**Fuente:** Pacheco y Tapia, 2015



### 6.3.2.3. Color

Para describir el color del suelo se empleó el método recomendado por la FAO (2009), basado en la tabla de colores de Munsell, donde se comparó las muestras en húmedo, las tablas utilizan componentes como: matiz (hue), claridad o brillo (Value) y la pureza (Chroma).

### 6.3.2.4. Densidad aparente

La determinación de la densidad aparente se realizó mediante la utilización de cilindros Kopecky de 100 cm<sup>3</sup>, en un rango de 0-25 cm de profundidad con 2 repeticiones.

Se ubicó el anillo verticalmente en el suelo, teniendo en cuenta que el suelo este nivelado, libre de vegetación y piedras, y luego se extrae la muestra de suelo no alterado, después se procedió a limpiar el anillo eliminando el exceso de suelo y se colocó tapas en los anillos para evitar que se pierda suelo (Figura 10). Luego se colocó en fundas plásticas con su respectiva etiqueta. La muestra se traslada al laboratorio donde se registra su ingreso (Anexo 5).



**Figura 10. Extracción de muestras**

**Fuente:** Pacheco y Tapia, 2015

Los anillos se colocaron en la estufa a 105 °C durante aproximadamente 24 horas, hasta que la muestra este seca, entonces se registra el peso del suelo con el anillo, y luego se pesa solamente el anillo, y se calcula el volumen del anillo (Figura 11).

Con los datos obtenidos se calcula la densidad aparente mediante la siguiente formula:

$$d_a = \frac{(\text{peso suelo humedo}) - (\text{peso suelo seco})}{(\text{volumen del anillo})} = g \text{ cm}^{-3}$$



**Figura 11. Secado y pesaje de las muestras**

**Fuente:** Pacheco y Tapia, 2015

#### 6.3.2.5. Capacidad de retención de humedad

Se obtuvieron muestras inalteradas con los anillos Kopecky (100 cm<sup>3</sup>) las mismas que fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, donde se registra su código y fecha de ingreso (Anexo 5). El proceso para su determinación es el siguiente:

- a. Se procedió a colocar los anillos en una bandeja con agua para saturarlas, la cantidad de agua no debe sobrepasar los anillos, en la parte inferior del anillo se colocó una tela sujeta con una liga para proteger la muestra, el tiempo de saturación de los anillos fue de alrededor de 4 semanas (Figura 12).
- b. Una vez transcurrido el tiempo se procede con cuidado a secar las muestras y pesarlas, y se registran los datos en las fichas indicadas (Anexo 6), para calcular el contenido de humedad en condiciones de saturación o pF (p = potencial, F = energía libre del agua) = 0.
- c. Para el punto pF 0.5 los anillos Kopecky son llevadas a una caja de arena, los anillos son igualmente colocados con la tela para un mejor

contacto y succión con la superficie de la arena de la caja, el tiempo que se mantuvo en las cajas fue de una semana (7 días), con una columna de agua 3,16 cm y después se procedió a pesarlas, se realiza este mismo procedimiento para el punto de  $pF=1.5$  (Figura 12).



**Figura 12. Saturación de anillos y Caja de arena ( $pF=0.5$  y  $1.5$ )**  
Fuente: Pacheco y Tapia, 2015

- d. Para el punto  $pF=2.52$  son utilizados los mismos anillos de los puntos anteriores, en la determinación de este punto se utilizó placas de cerámica que son previamente saturadas y colocadas una fina capa de pasta de suelo, con la finalidad de un mejor contacto del anillo y la placa, los anillos sin la tela son ubicados ordenadamente dentro de los extractores, con la presión de 0,333 bares que corresponde a este punto. Trascurrido una semana (7 días) se retiraron los anillos y se registra el peso (Figura 13).



**Figura 13. Contenido de humedad (punto  $pF=2.52$ )**  
Fuente: Pacheco y Tapia, 2015

- e. Para determinar el contenido de humedad 3.4 y 4.2 se preparó pasta saturada que se obtuvo de las muestras de suelo de cada profundidad la misma fue tamizada por un tamiz de 2 mm, tratando de eliminar piedras o raíces. Luego se lleva a una batidora de suelos y se mezcla agregando poco a poco agua hasta obtener una consistencia cremosa, libre de grumos y con un brillo intenso. Se dejó en reposo por 24 horas tapando para evitar transpiración, pasado este tiempo se colocan las muestras en las placas dentro de anillos especiales para este caso, luego se colocan las placas en el extractor, y se coloca la presión de 15 bares durante 7 días (Figura 14).



**Figura 14. Placas con pasta saturada**  
Fuente: Pacheco y Tapia, 2015

Trascurrido este tiempo se pesan las muestras y se colocan en la estufa a 105 °C por 24 horas, y se vuelven a pesar, registrar los datos para posteriores cálculos.

#### 6.3.2.6. Conductividad hidráulica

Para determinar la conductividad se utiliza el método del pozo invertido, que consiste en:

- Excavar un hoyo con un barreno y limpiar toda la superficie que no exista interferencia para los flotadores en el momento de las lecturas.
- Saturar y medir la velocidad con que el nivel del agua baja en el pozo esto se realiza con la ayuda de un cronometro, las lecturas se realizan

hasta que el agua alcance un nivel de equilibrio y se registran en las fichas (Anexo 7; Figura 15).

- Los datos obtenidos se calcula la conductividad hidráulica con la fórmula:  $K_{sat}=1.15*r*s$ .

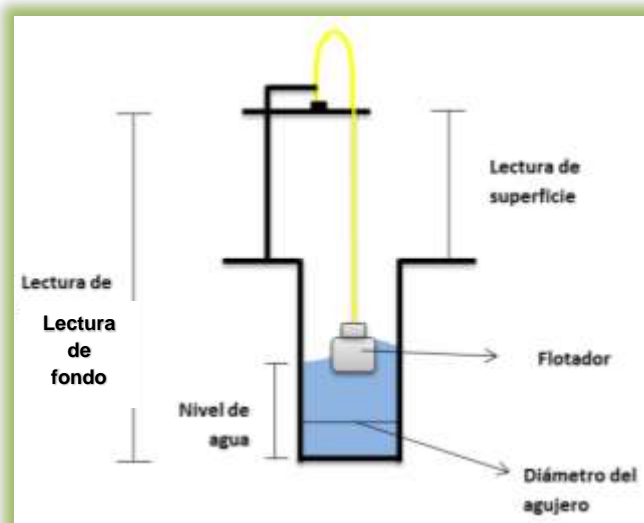
**Dónde:**

**K<sub>sat</sub>:** Conductividad hidráulica saturada (cm.h<sup>-1</sup>)

**r:** Radio del agujero (cm)

**s:** Pendiente de la curva log (ht+ r / 2) vs. T

**h:** Altura de la columna de agua dentro del pozo (cm)



**Figura 15. Diseño del método de pozo invertido**  
Elaborado: Pacheco y Tapia, 2015

- Se realizó 3 repeticiones en cada sitio (Figura 16).



**Figura 16. Pruebas de pozo invertido**  
Fuente: Pacheco y Tapia, 2015





### 6.3.2.7. Materia orgánica

Uno de los componentes más importantes en suelos de páramos es la materia orgánica siendo una de sus mejores características que mejoran la retención de agua, además de tener una gran influencia en las propiedades físicas de los suelos de páramos como son el color, mejora la formación de agregados dándoles una mayor estabilidad estructural (Borja, 2012). La determinación de la materia orgánica por incineración es un criterio taxonómico para suelos orgánicos (USDA, 2004)

Los contenidos de materia orgánica (M.O.) para el presente estudio se realizaron mediante el método de ignición en cada horizonte caracterizado.

- Se colocaron las muestras en bandejas de aluminio y secadas en el horno a  $110 \pm 5$  °C durante 24 horas.
- Una vez secadas las muestras, se pesó de 10 a 15 g de cada muestra y se colocó en un crisol (Figura 17).
- Las muestras fueron ingresadas a la mufla a una temperatura de 400 °C durante 16 horas (Figura 18).
- Transcurrido el tiempo necesario las muestras en la mufla procedimos a sacarlas y enfriarlas en un desecador para registrar los pesos de las muestras y también del crisol (Soil Survey Staff, 2014).



**Figura 17. Pesado de muestras y crisol**

**Fuente:** Pacheco y Tapia, 2015



**Figura 18. Ignición o calcinación para materia orgánica**  
**Fuente:** Pacheco y Tapia, 2015

- Para la determinación del porcentaje de materia orgánica se registró los pesos antes de la incineración y también después de la misma.
- La diferencia entre estos pesos es el resultado de la incineración de la materia orgánica.

**Cálculos:**

- **Contenido Mineral (%)** =  $\frac{a}{b} * 100$

**a** = peso del residuo después de la ignición.

**b** = peso del suelo seco después del horno.

- **Materia Orgánica (%)** = 100 – Contenido Mineral



### 6.3.3. Comparación de las propiedades hidrofísicas bajo plantaciones de pino y bajo cobertura vegetal nativa (pajonal)

Se realizó los análisis para los distintos tipos de cobertura vegetal: pino y pajonal en las diferentes altitudes. Para ello se utilizó el programa estadístico Info-Stat (Versión 2015e). Las variables dependientes deben cumplir los tres supuestos básicos: Normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas.

Se realizó el test de Shapiro-Wilks para probar si las variables tienen una distribución normal. Resultando que 3 variables cumplían con este supuesto (Anexo 8), por lo tanto se usó un análisis de varianza paramétrico y las variables que no cumplían con los supuestos se analizaron mediante pruebas no paramétricas. Además se usó gráficos (NORMAL QQ PLOT) que permiten observar la distribución. Para investigar el efecto del pino y pajonal en las propiedades hidrofísicas del suelo, se fundamentó en el análisis de varianza (ANOVA) y el procedimiento de Kruskal-Wallis para los datos no paramétricos. Para las diferencias significativas en las medias de los tratamientos la prueba que se utilizó es el test de Tukey al 5 % o una comparación no paramétrica (Tabla 1). Los valores se expresaron como la media  $\pm$  error estándar.

**Tabla 1. Niveles de significancia**

5 %	10 %		
> 0,05	> 0,1	No significativo	NS
0,01-0,05	< 0,1	Significativo	*
0,001-0,01	< 0,05	Muy significativo	**
< 0,001	< 0,01	Altamente significativo	***

**Adaptado por:** Pacheco y Tapia, 2015

Se investigaron las relaciones entre las variables con un test de correlación de Pearson ( $\alpha = 0.05$ ). Las variables de estudio utilizadas para los análisis fueron: cobertura pino y pajonal, conductividad hidráulica, densidad aparente, contenido de humedad en pF 0, pF 0.5, pF 1.5, pF 2.52, pF 3.4 y pF 4.2. Para una mejor interpretación se realizaron gráficos de caja o box-plot.



### 6.3.4. Comparar el aporte de hojarasca de pino en diferentes ubicaciones altitudinales.

Para realizar el muestreo y determinar el aporte de hojarasca dentro de las plantaciones de pino se establecieron sitios de estudio en las dos altitudes, cada una de ellas con 10 parcelas de muestreo y 3 sitios de sub-muestreo distribuidos al azar con áreas de 0,50 x 0,50 m (0,25 m<sup>2</sup>), donde se recolecto todo el contenido de hojarasca sobre la superficie del suelo y que estaba dentro del área determinada. Se incluyó todos sus componentes (acículas, ramas). Se tomó el peso fresco en campo y se separó una sub-muestra equivalente al 10 % la misma que se secó a 60° C durante 72 horas hasta obtener un peso seco constante (Aceñolaza et al., 2009; Gutiérrez et al., 2012). Se utilizó el horno del laboratorio de suelos de Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. Se tomaron en cuenta las características de las plantaciones (edad, altura, densidad de plantación, área basal).

**Tabla 2. Descripción de las características de las plantaciones**

Zonas de estudio	Altitud (m s.n.m.)	Edad (años)	Parcelas (número)	Densidad de Siembra *	Altura de Árboles promedio (m)	DAP promedio (cm)	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
Soldados	3700	15	10	3 * 3	4,91	11,90	6,58
Tutupali Alto	3500	19	10	3 * 3	8,14	16,90	19,17

\* Densidad original de plantación; **DAP**: Diámetro a la altura del pecho

Para realizar la comparación del aporte de la hojarasca en diferentes pisos altitudinales, se realizó la comprobación de los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shaphiro Wilks, donde se observó que las distribuciones son normales. Para el contraste de medias se realizó el análisis de varianza (ANOVA).



## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Caracterización de las propiedades hidrofísicas de los suelos bajo plantaciones de pino (*Pinus patula*) y cobertura vegetal nativa (pajonal)

#### 7.1.1. Caracterización de las propiedades morfológicas de los suelos bajo plantaciones de pino y pajonal

Como se observa en la tabla 3 en la zona de 3700 m s.n.m. Soldados, bajo cobertura de pino presentó una pendiente que varía entre 12 al 23 % y promedio 18 %. El espesor del horizonte ándico (Ah) va desde 14 a 30,5 cm y promedio de 23,4 cm, De color negro (10YR 1,7/1). La estructura en la mayoría de los horizontes de estudio son granulares. La textura que predomina es franco limosa. En cuanto al pH los suelos de estudio presentaron valores entre 4,16 a 4,79 y promedio de 4,50. La conductividad eléctrica tiene un rango entre 0,05 a 0,27 ms/cm y promedio de 0,13 ms/cm. Finalmente la materia orgánica se caracterizó por tener valores entre 14,65 a 25,90 % y promedio de 19,91 % en los horizontes ándicos estudiados.

A 3700 m s.n.m. bajo cobertura de pajonal se registró valores en pendiente que van entre 10 a 27 % y promedio del 19 %. El espesor del horizonte ándico (Ah) va desde 20 a 38 cm y promedio de 29, 25 cm, de color negro (10YR 1,7/1). La estructura de estos horizontes en su mayoría son granulares y en su textura varían entre franco, franco limoso, franco arcilloso y franco arcillo limoso. En cuanto al pH los suelos de estudio presentaron valores entre 5,08 a 5,82 y promedio de 5,49. La conductividad eléctrica tiene un rango entre 0,04 a 0,05 ms/cm y promedio de 0,05 ms/cm. Materia orgánica nos presenta valores que varían de 18,45 a 23,85 % y promedio de 20,16 % (Tabla 3).

En la zona de 3500 m s.n.m. (Tutupali Alto) bajo cobertura de pino presentó una pendiente que va del 21 al 43 % y promedio del 34 %, el espesor del horizonte ándico (Ah) va desde 30 a 45 cm y promedio de 38 cm, de color negro (7,5YR 2/8). La estructura mayoritariamente bloque granular, en su textura existe la presencia de franco, franco arcilloso, limoso y franco arcillo



limoso. Para el pH tenemos valores que varían de 4,64 a 6,16 y promedio de 5,44. La conductividad eléctrica tiene un rango que va de 0,05 a 0,07 ms/cm y promedio de 0,06 ms/cm. La materia orgánica los valores que se presentan van de 20,15 a 37,55 % y promedio de 22,10 % en los horizontes ándicos (Tabla 3).

En esta misma zona bajo cobertura de pajonal la pendiente se encuentra entre valores del 11 al 22 % y promedio del 18 %, en cuanto al espesor del horizonte ándico (Ah) este va del 40 a 45 cm y promedio de 43 cm, de color negro (10YR 1,7/1). La estructura mayoritariamente es bloque granular, y la textura es franco limoso. Para el caso del pH, este presenta valores que varían de 5,69 a 6,732 y promedio de 5,93. La conductividad eléctrica tiene un rango entre 0,04 a 0,06 ms/cm y promedio de 0,06 ms/cm. La materia orgánica se caracterizó por tener valores entre 24,04 a 42,40 % y promedio de 35,24 % en los horizontes ándicos caracterizados (Tabla 3).

En cuanto a los parámetros morfológicos estos suelos presentan en general un color negro (10YR 1,7/1) asociado con la alta tasa de materia orgánica, la estructura es muy estable con micro-agregación y alta porosidad (Podwojewski & Poulenard, 2004), la estructura común en los horizontes superficiales de suelos de páramo es de tipo granular y migajosa (Borja, 2012) esto coincide con la caracterización de este estudio (Tabla 3).

En cuanto al pH en general los suelos de páramo son ácidos debido a los ácidos orgánicos, y están en un rango de 5 a 7 (Borja, 2012), en este estudio los valores promedios registrados en el pajonal (5,48 y 5,92) están dentro del rango. Hofstede et al., (1998) y Farley, (2008) coinciden que en general el pH del suelo bajo plantaciones de pino disminuye, coincidiendo con los resultados obtenidos (4,50 y 5,44) estos cambios pueden estar siendo provocados por la acumulación de acículas u hojarasca en la superficie del suelo, que producen ácidos orgánicos que acidifican el suelo (Chacon & Ansaloni, 2003).

La materia orgánica en suelos de páramo es elevada (27%), esto debido a las condiciones de clima frío y húmedos que contribuyen a la tasa lenta de descomposición de la materia orgánica (Buytaert et al., 2006). Los valores



registrados por Borja et al, (2008) para Andosoles (A) en el páramo de Quimsacocha están en un promedio de 26 %, lo que son similares a los encontrados en este estudio. Los contenidos de materia orgánica con la presencia de pino (22%) sufren una disminución, lo que confirma la información de Buytaert et al., (2007) que indica que por el elevado consumo de agua de parte de los árboles se reduce el contenido de agua en el suelo y favorecen la descomposición de materia orgánica y puede dar lugar a un contenido de C más bajo.

Con la información edafológica levantada en la Tabla 3 y 4 permitió identificar a los suelos de los páramos de Soldados y Tutupali Alto como Andosoles (FAO/ISRIC/ISSS, 1998), debido a sus principales rasgos morfológicos e hidrológicos que permitieron caracterizarlos.



Tabla 3 . Características morfológicas de los suelos de las coberturas estudiadas (pino y pajonal)

Sitios	Cobertura	Altitud (m s.n.m)	Pendiente (%)	Horizonte	Prof. (cm)	Color	Estructura	Textura	pH	C.E. (ms/cm)	M.O. (%)
SF	Pino	3761	23	Ah	27	10YR 1,7/1	Granular	Franco limoso	4,36	0,27	23,55
	Pino	3733	20	Ah	28	10YR 1,7/1	Migajón	Franco limoso	4,16	0,09	25,30
	Pino	3730	12	Ah	23	10YR 1,7/1	Granular	Franco	4,56	0,23	25,90
SM	Pino	3722	20	A	14	10YR 1,7/1	Granular	Franco	4,63	0,05	14,65
	Pino	3719	21	Ah	18	10YR 1,7/1	Bloque	Franco	4,79	0,05	14,80
	Pino	3717	13	Ah	30,5	7,5YR 1,7/1	Migajón-Granular	Franco	4,51	0,07	15,25
Soldados Conservado	Pajonal	3747	10	Ah	26	10YR 1,7/1	Granular	Franco	5,82	0,05	23,85
	Pajonal	3670	27	Ah	33	10YR 1,7/1	Granular	Franco limoso	5,60	0,04	18,25
	Pajonal	3667	27	Ah	38	10YR 1,7/1	Granular	Franco arcilloso	5,44	0,04	20,10
	Pajonal	3676	10	Ah	20	7,5YR 1,7/1	Migajón	Franco arcilloso	5,08	0,05	18,45
TT	Pino	3451	23	Ah	30	7,5 YR 2/8	Bloque-Granular	Franco	5,24	0,05	37,55
	Pino	3456	21	Ah	30	7,5 YR 2/8	Bloque-Granular	Franco	5,24	0,05	20,15
	Pino	3464	27	Ah	38	7,5YR 2/2	Bloque-Granular	Franco arcilloso	4,64	0,06	20,75
TC	Pino	3530	45	Ah	42	10YR 1,7/1	Bloque-Granular	Limoso	5,54	0,07	31,30
	Pino	3577	43	Ah	45	7,5YR 2/3	Bloque	Franco	6,16	0,05	22,80
	Pino	3561	43	Ah	35	10YR 3/1	Bloque-Granular	Franco arcilloso	5,84	0,05	22,10
Tutupali Alto Conservado	Pajonal	3586	16	Ah	45	2,5Y 1,7/1	Granular-Bloque	Franco limoso	5,70	0,06	42,40
	Pajonal	3584	11	Ah	40	10YR 1,7/1	Granular-Bloque	Franco	6,00	0,06	35,80
	Pajonal	3514	22	Ah	44	7,5YR 1,7/1	Bloque-Granular	Franco arcilloso	6,32	0,04	24,04
	Pajonal	3486	22	Ah	43	10YR 1,7/1	Granular	Franco limoso	5,69	0,06	38,70

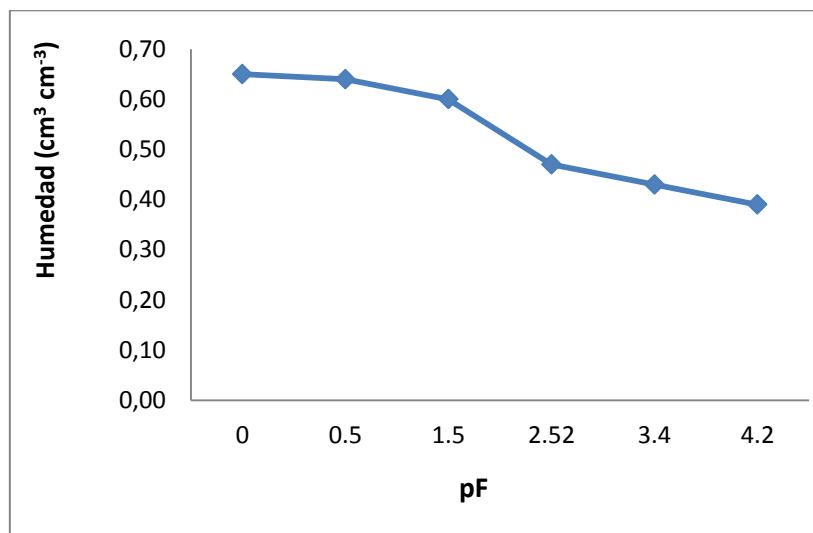
SF: Soldados Fernández, SM: Soldados Molina, TT: Tutupali Totoracocha, TC: Tutupali Calderón; Prof: Profundidad; CE: Conductividad Eléctrica, M.O.: Materia Orgánica.





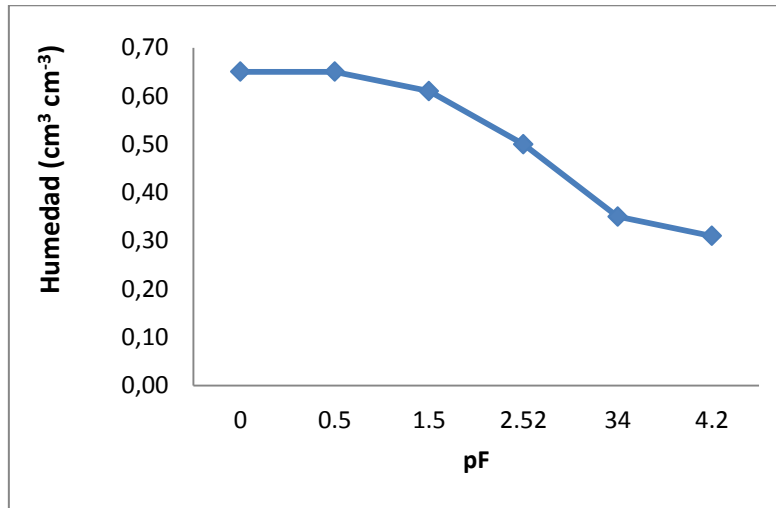
### 7.1.2. Caracterización de las propiedades hidrológicas de los suelos bajo plantaciones de pino y pajonal

En la zona de 3700 m s.n.m. (Soldados) bajo cobertura de pino la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) presentó valores que varían de 0,32 a 1,60  $\text{cm h}^{-1}$  y promedio de 0,82  $\text{cm h}^{-1}$ , en densidad aparente (DA) va de 0,60 a 0,87  $\text{g cm}^{-3}$  y promedio de 0,72  $\text{g cm}^{-3}$ , en cuanto a los contenidos de humedad (pF) tenemos que para pF 0 su contenido varia de 0,56 a 0,73  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  y promedio de 0,65  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , para pF 2.52 su contenido varia de 0,39 a 0,59  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  y promedio de 0,47  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , y para pF 4.2 su contenido varia de 0,33 a 0,49  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  y promedio de 0,39  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  (Tabla 4).



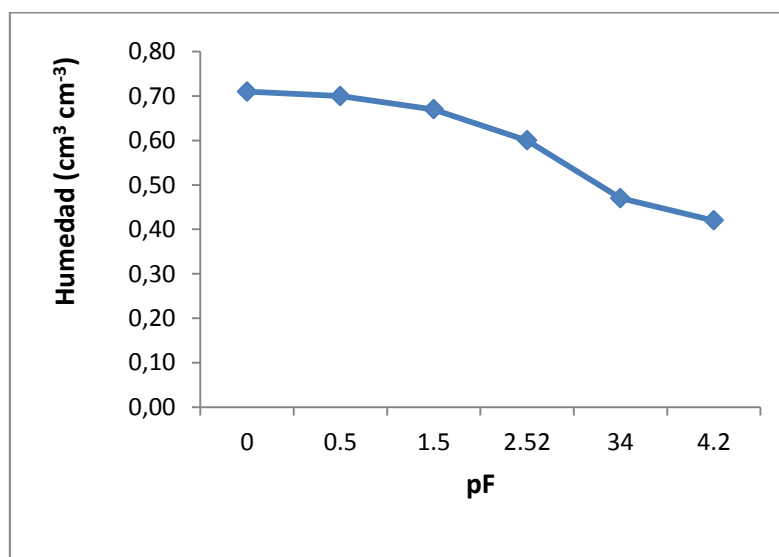
**Figura 19. Curva de contenido de humedad del suelo con pino a 3700 m s.n.m.**

En cuanto a la cobertura de pajonal a 3700 m s.n.m. Soldados, tenemos una  $K_{sat}$  que presentó valores que varían de 0,27 a 0,63  $\text{cm h}^{-1}$  y promedio de 0,40  $\text{cm h}^{-1}$ , en DA va de 0,45 a 0,84  $\text{g cm}^{-3}$  y promedio de 0,68  $\text{g cm}^{-3}$ , en cuanto a los puntos pF tenemos que para pF 0 su contenido varia de 0,57 a 0,75  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  y promedio de 0,65  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , para pF 2.52 su contenido varia de 0,42 a 0,57  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  y promedio de 0,50  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , y para pF 4.2 su contenido varia de 0,14 a 0,46  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  y promedio de 0,31  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  (Tabla 4).



**Figura 20. Curva de contenido de humedad del suelo con pajonal a 3700 m s.n.m.**

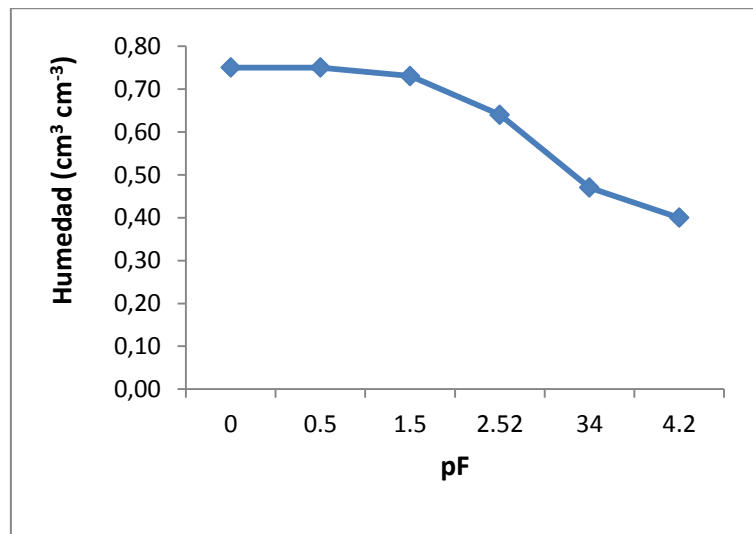
En la zona de 3500 m s.n.m. Tutupali Alto, bajo cobertura de pino se presentó una  $K_{sat}$  que varía de 0,35 a 1,64  $cm\ h^{-1}$  y promedio de 0,84  $cm\ h^{-1}$ , en DA va de 0,47 a 0,87  $g\ cm^{-3}$  y promedio de 0,60  $g\ cm^{-3}$ , en cuanto a los puntos pF tenemos que para pF 0 su contenido varia de 0,64 a 0,77  $cm^3\ cm^{-3}$  y promedio de 0,71  $cm^3\ cm^{-3}$ , para pF 2.52 su contenido varia de 0,51 a 0,66  $cm^3\ cm^{-3}$  y promedio de 0,60  $cm^3\ cm^{-3}$ , y para pF 4.2 su contenido varia de 0,36 a 0,46  $cm^3\ cm^{-3}$  y promedio de 0,42  $cm^3\ cm^{-3}$  (Tabla 4).



**Figura 21. Curva de contenido de humedad del suelo con pino a 3500 m s.n.m.**



En los 3500 m s.n.m. Tutupali Alto, bajo cobertura de pajonal la Ksat varían de 0,27 a 0,63  $\text{cm h}^{-1}$  y promedio de 0,40  $\text{cm h}^{-1}$ , en D.A. va de 0,40 a 0,67  $\text{g cm}^{-3}$  y promedio de 0,49  $\text{g cm}^{-3}$  por lo tanto son similares a los valores a nivel global para estos horizontes que van desde los 0,3 a 0,9  $\text{g cm}^{-3}$  (FAO/ISRIC/ISSS, 1998), en cuanto a los puntos pF tenemos que para pF 0 su contenido varia de 0,66 a 0,81  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  y promedio de 0,75, para pF 2.52 su contenido varia de 0,54 a 0,68  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  y promedio de 0,64  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , y para pF 4.2 su contenido varia de 0,29 a 0,46  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  y promedio de 0,38  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  (Tabla 4).



**Figura 22. Curva de contenido de humedad del suelo con pajonal a 3500 m s.n.m.**



Tabla 4. Propiedades hidrofísicas de los suelos bajo cobertura de pino y pajonal

Altitud m s.n.m.	Cobert.		Ksat	DA	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.52	pF 3.4	pF 4.2
			cm/h	g/cc	cc/cc					
3700	Pino	Min-max	0,32-1,60	0,60-0,87	0,56-0,73	0,55-0,72	0,50-0,70	0,39-0,59	0,38-0,54	0,33-0,49
		Prom.	<b>0,82</b>	<b>0,72</b>	<b>0,65</b>	<b>0,64</b>	<b>0,60</b>	<b>0,47</b>	<b>0,43</b>	<b>0,39</b>
		Med.	0,70	0,73	0,66	0,65	0,59	0,46	0,41	0,38
3700	Pajonal	Min-max	0,27 -0,63	0,45-0,84	0,57-0,75	0,56-0,75	0,54-0,72	0,42-0,57	0,20-0,53	0,14-0,46
		Prom.	<b>0,40</b>	<b>0,68</b>	<b>0,65</b>	<b>0,65</b>	<b>0,61</b>	<b>0,50</b>	<b>0,35</b>	<b>0,31</b>
		Med.	0,37	0,71	0,64	0,63	0,60	0,50	0,35	0,34
3500	Pino	Min-max	0,35-1,64	0,47-0,87	0,64-0,77	0,63-0,77	0,59-0,79	0,51-0,66	0,41-0,51	0,36-0,46
		Prom.	<b>0,84</b>	<b>0,60</b>	<b>0,71</b>	<b>0,70</b>	<b>0,67</b>	<b>0,60</b>	<b>0,47</b>	<b>0,42</b>
		Med.	0,68	0,53	0,72	0,71	0,67	0,60	0,47	0,42
3500	Pajonal	Min-max	0,27 -0,63	0,40-0,67	0,66-0,81	0,66-0,81	0,62-0,78	0,54-0,68	0,42-0,50	0,29-0,46
		Prom.	<b>0,40</b>	<b>0,49</b>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	<b>0,73</b>	<b>0,64</b>	<b>0,47</b>	<b>0,40</b>
		Med.	0,37	0,45	0,76	0,76	0,75	0,65	0,47	0,42

**Cobert.:** Cobertura vegetal; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **DA:** Densidad aparente; **pF:** Unidad de presión, contenido de humedad: **pF 0** (Punto de saturación); Contenido de humedad: **pF 0.5;** Contenido de humedad: **pF 1.5; pF 2.52** (Punto de capacidad de campo); Contenido de humedad: **pF 3.4; pF 4.2** (Punto de marchitez). Valores mínimos, máximos, promedio y mediana.



## 7.2. Comparación de las propiedades hidrofísicas bajo plantaciones de pino (*Pinus patula*) y bajo cobertura vegetal nativa (pajonal)

### 7.2.1. Efectos de la cobertura vegetal: pino y pajonal sobre las propiedades hidrofísicas del suelo

Los análisis de varianza y la prueba de Kruskal-Wallis muestran que el cambio de cobertura de pajonal a pino no presentaron diferencias significativas (nivel de significación  $\alpha = 0.05$ ; Tabla 1), en la mayoría de variables. En el caso de la variable conductividad hidráulica saturada muestra una diferencia significativa. Se puede apreciar que el valor de  $p = < 0,05$  no refleja todas las alteraciones, sin embargo al adoptar un rango de significancia de  $p = < 0,1$  (Tabla 1) se observan cambios importantes (Tabla 5).

**Tabla 5. Efectos de la cobertura vegetal (Pino y pajonal) sobre las propiedades hidrofísicas del suelo**

Variables	Unidad	Valores p
Ksat *	cm h <sup>-1</sup>	0,0001 ***
DA *	g cm <sup>-3</sup>	0,0935 *
pF 0	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,1209 NS
pF 0.5	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,0894 *
pF 1.5	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,0543 *
pF 2.52 *	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,1805 NS
pF 3.4 *	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,3368 NS
pF 4.2 *	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,0582 *

\*Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ , ANDEVA Pr  $\alpha = 0.05$  y  $0.1$ ; **Ksat**: Conductividad hidráulica saturada; **DA**: Densidad aparente; **pF**: Unidad de presión, Contenido de humedad: **pF 0** (Punto de saturación); Contenido de humedad: **pF 0.5**; Contenido de humedad: **pF 1.5**; **pF 2.52** (Punto de capacidad de campo); Contenido de humedad: **pF 3.4**; **pF 4.2** (Punto de marchitez).



Los datos han sido separados bajo cobertura de pino y pajonal que se encuentran a 3500 y 3700 m s.n.m (Tabla 4), el tipo de suelo identificado es del grupo de los Andosoles (WRB, 2007), este suelo se caracteriza por sus propiedades ándicas que entre otras consiste de un alto contenido de materia orgánica, horizonte Ah (Tabla 3) y una baja densidad aparente (Tabla 4).

Como se ha mencionado bajo cobertura de pino y pajonal la curva de retención de humedad y DA presentan diferencias significativas en la mayoría de variables con rangos significativas de  $p < 0,1$  (Tabla 5). Para la cobertura de pajonal se observa en general una tendencia a valores más altos para los contenidos de humedad, mientras que la densidad aparente y la conductividad hidráulica disminuyen en este tipo de cobertura (Tabla 6).

**Tabla 6. Promedio  $\pm$ error estándar de las propiedades hidrofísicas bajo cobertura de pino y pajonal**

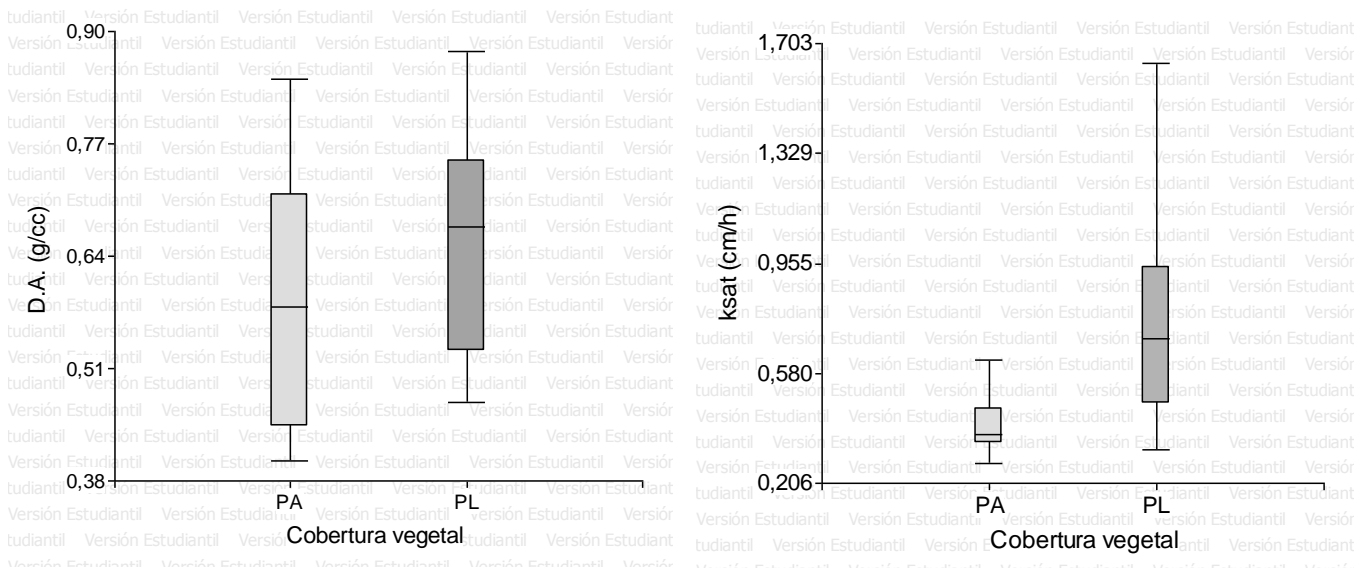
Cobertura	Ksat *	DA*	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.52*	pF 3.4*	pF 4.2*
PA	0,40 $\pm 0,10$ b	0,59 $\pm 0,14$ a	0,70 $\pm 0,01$ a	0,70 $\pm 0,01$ a	0,67 $\pm 0,01$ a	0,57 $\pm 0,08$ a	0,41 $\pm 0,09$ a	0,35 $\pm 0,09$ a
PL	0,83 $\pm 0,44$ a	0,66 $\pm 0,13$ a	0,68 $\pm 0,01$ a	0,67 $\pm 0,01$ a	0,63 $\pm 0,01$ a	0,53 $\pm 0,08$ a	0,45 $\pm 0,05$ a	0,41 $\pm 0,04$ a

\*Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; ANDEVA, Tukey  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. PA: pajonal; PL: pino

En el caso de densidad aparente se presentan diferencias significativas ( $p = 0,0935$ ;  $\alpha = 0.1$ ). La densidad aparente presenta el valor más alto ( $0,66 \text{ g cm}^{-3}$ ) para cobertura de pino, mientras que para la cobertura bajo pajonal disminuye este valor ( $0,59 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Tabla 6; Figura 20) este mínimo cambio se puede atribuir a la compactación y a la pérdida de porosidad de los suelos bajo pino (Chacón et al. b, en revisión), lo cual menciona también Quichimbo et al. (2012), en su estudio que una vez que se ha perdido la estructura porosa por pisoteo o desecación, el suelo ya no puede guardar tanta agua y pueden volverse propensos a repeler agua o volverse hidrofóbico, en los suelos sin alteración antrópica la densidad aparente es baja, como se muestra en investigaciones realizadas por Borja et al.. (2008) y Cisneros et al., (2010).



En conductividad hidráulica ( $K_{sat}$ ) se encuentran diferencias significativas ( $p = 0,0001$ ;  $\alpha=0.05$ ) presentándose un valor más bajo para suelos con cobertura de pajonal ( $0,40 \text{ cm h}^{-1}$ ) (Tabla 6; Figura 23). Estudios realizados por Buytaert et al., (2004) donde se utilizó el método de pozo invertido similar al empleado en el presente estudio encontró resultados que oscilan entre  $1 \text{ y } 2 \text{ cm h}^{-1}$ , siendo menores los valores reportados en esta investigación. La  $K_{sat}$  bajo cobertura de pino ( $0,83 \text{ cm h}^{-1}$ ) es mayor en comparación con el  $k_{sat}$  bajo cobertura de pajonal, este cambio podría estar siendo influenciado por el flujo preferencial y por la introducción de drenajes artificiales debido a las raíces del pino que mejorarían el drenaje del suelo, y que se traduce en un aumento de la conductividad hidráulica saturada (Buytaert et al., 2007)



**Figura 23. Diagrama de caja de densidad aparente y  $k_{sat}$**

PA: Pajonal; PL: Pino; DA: Densidad aparente;  $K_{sat}$ : Conductividad hidráulica saturada

En el caso de los contenidos de humedad pese a que no resultaron estadísticamente significativos ( $\alpha = < 0,05$ ) al cambiar el rango ( $\alpha = < 0,1$ ) muestra cambios que pudieron estar siendo subestimados. En los suelos bajo cobertura de pajonal los datos tienden a ser más altos (Tabla 6), en los puntos pF 0 (humedad a saturación) con  $0,70 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  y pF 2.52 (capacidad de campo) con  $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  en el punto pF 4.2 (punto de marchitez) con  $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  no se sigue esta tendencia. Los valores que se presentan en cobertura de pino son inferiores en los puntos pF 0 con  $0,68 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  y pF 2.52 con  $0,53$



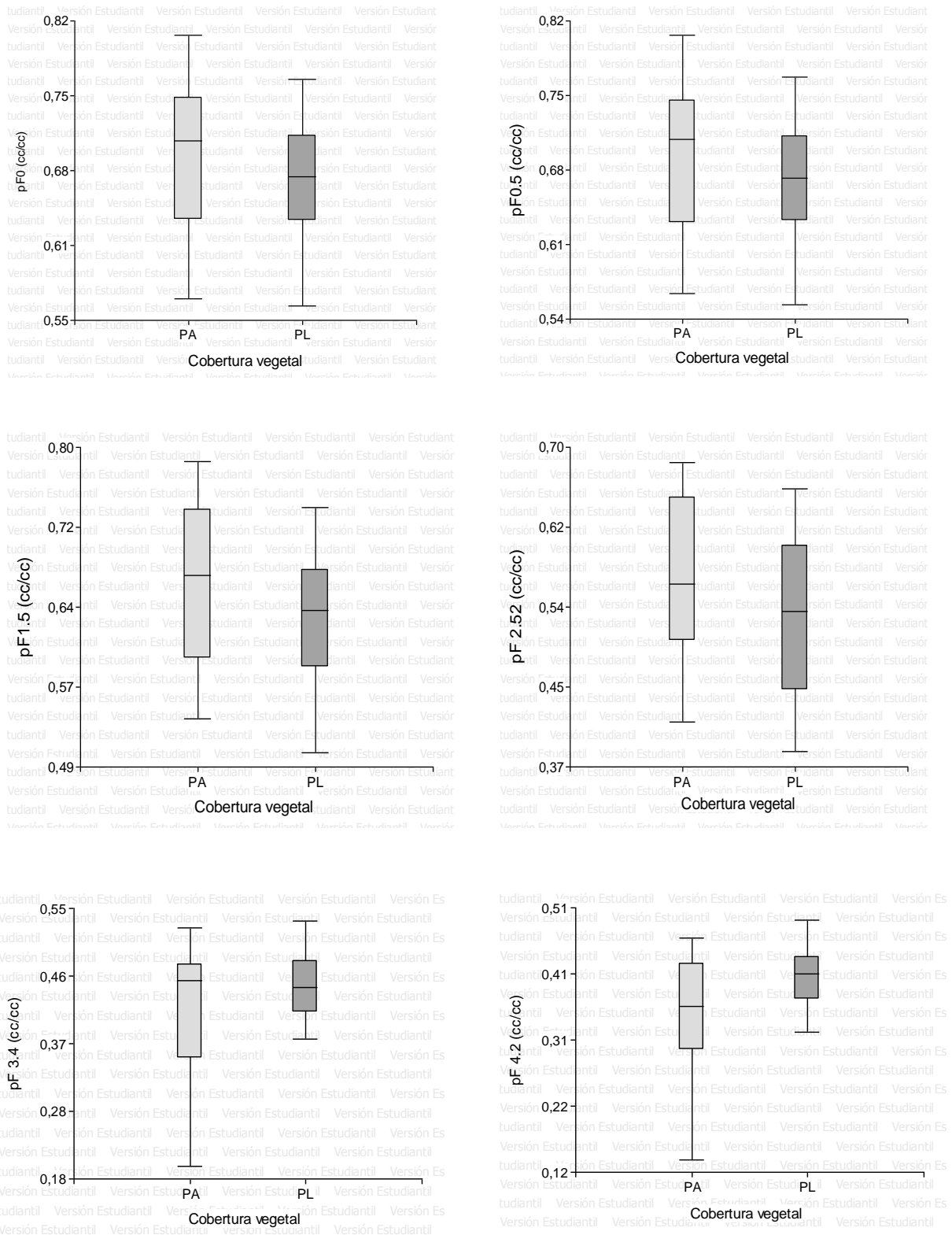
$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  en pF 4.2 con  $0,41 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$  el valor tiende a aumentar. Esta tendencia muestra que los suelos bajo cobertura de pajonal retienen más agua, atribuible al más alto contenido de materia orgánica de estos suelos de origen volcánico ubicados a gran altitud y por otro lado se estima que el consumo de agua del pajonal es bajo (Llambi et al., 2012).

En este estudio al realizar los análisis las diferencias resultaron ser no significativas ( $\alpha = < 0,05$ ) lo cual estaría indicando que la capacidad de retención de humedad es la misma bajo estas dos coberturas o la diferencia es extremadamente pequeña, coincidiendo con estudios realizados por Hofstede et al., (2002) en los que tampoco se encontraron efectos en las propiedades hidrofísicas atribuibles al cambio de cobertura en suelos de páramo. Este autor también identifica tendencias similares a las presentadas en este reporte mostrando suelos bajo pino más secos. Al realizar el análisis con un rango estadístico de  $p = < 0,1$  estos cambios son apreciables y concuerdan con estudios donde se han encontrado diferencias bastante marcadas en el contenido volumétrico de agua bajo cobertura de pino y pajonal (Celleri et al., 2004). Valores reportados en la literatura por Celleri et al., (2004) y Cisneros et al., (2010) para el caso de los suelos bajo pajonal indican que estos pueden llegar al 80 y 90 % en saturación y el punto de marchitez permanente puede ir del 40 al 50 % o disminuir hasta el 30 % (Buytaert, 2004), mientras que para suelos bajo cobertura de pino los valores son inferiores.

Crespo et al., (2014) hace referencia en su estudio que el cambio de uso de suelo especialmente la forestación con pino ocasiona una alta disminución en la producción de agua y en la capacidad de regulación hídrica, esto se debe principalmente al aumento de la evapotranspiración producto del consumo y las pérdidas por interceptación del dosel, resultando que el suelo bajo pino permanezca más seco por el consumo del agua disponible en la zona de las raíces. También menciona que no existe evidencia de alteración de los procesos hidrológicos a nivel del suelo y subsuelo en ningún caso (Crespo et al., 2014)

De Bièvre, (2004) señala que la forestación con *Pinus patula* puede tener una influencia negativa, si no sobre el suelo, sobre la hidrología de una zona.





**Figura 24. Diagramas de caja de los contenidos de humedad bajo cobertura de pino y pajonal**

**PA:** pajonal; **PL:** pino; **pF:** Unidad de presión, Contenido de humedad: **pF 0** (Punto de saturación); Contenido de humedad: **pF 0.5**; Contenido de humedad: **pF 1.5**; **pF 2.52** (Punto de capacidad de campo); Contenido de humedad: **pF 3.4**; **pF 4.2** (Punto de marchitez).



### 7.2.2. Efectos de la altitud sobre las propiedades hidrofísicas del suelo

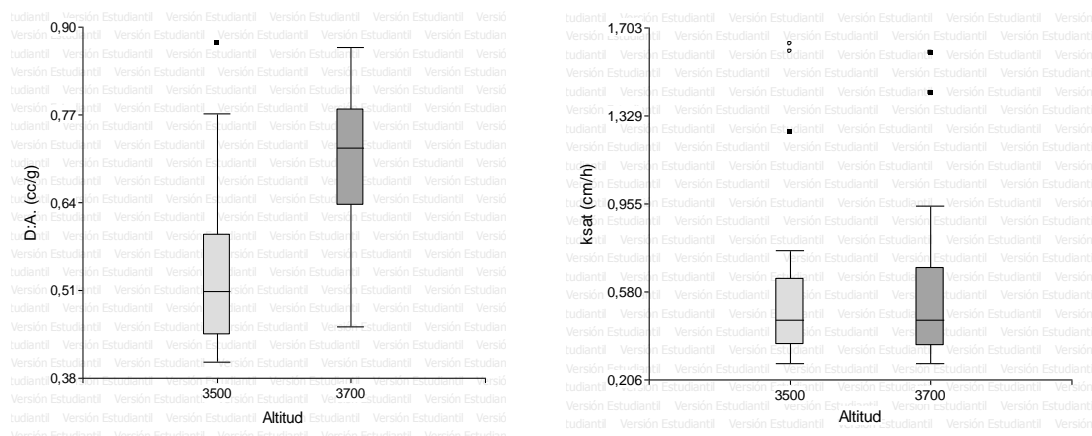
En la tabla 7 se muestra que existe un efecto dominante de la altura, la variable Ksat no tiene efecto de la altitud, esta propiedad se ve afectada por la cobertura vegetal (Tabla 5). Los efectos más significativos ( $p = 0,0001$ ) se observan en la densidad aparente y contenidos de humedad.

**Tabla 7. Promedio  $\pm$ error estándar de las propiedades hidrofísicas a distinta altitud**

Altitud (m s.n.m.)	Ksat *	DA*	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.52*	pF 3.4*	pF 4.2*
3500	0,62 $\pm 0,41$ a	0,54 $\pm 0,13$ a	0,73 $\pm 0,01$ b	0,73 $\pm 0,01$ b	0,70 $\pm 0,01$ b	0,62 $\pm 0,05$ b	0,47 $\pm 0,03$ b	0,41 $\pm 0,05$ b
3700	0,61 $\pm 0,36$ a	0,70 $\pm 0,10$ b	0,65 $\pm 0,01$ a	0,64 $\pm 0,01$ a	0,60 $\pm 0,01$ a	0,48 $\pm 0,05$ a	0,39 $\pm 0,08$ a	0,35 $\pm 0,09$ a
Valores p	0,9784 <sup>NS</sup>	0,0004***	0,0001***	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***	0,0005**	0,0173*

Kruskal Wallis \*  $\alpha = 0.05$ ; ANDEVA, Tukey  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

Los valores promedios de Ksat no presentan diferencias significativas ( $p = 0,9784$ ) entre las altitudes (Tabla 7; Figura 25). Los valores densidad aparente presentaron diferencias significativas ( $p = 0,0004$ ) entre los pisos altitudinales con mayor valor a 3700 m s.n.m. ( $0,70 \text{ g cm}^{-3}$ ) mientras que a 3500 m s.n.m. este valor disminuye ( $0,54 \text{ g cm}^{-3}$ )<sup>1</sup> (Tabla 7; Figura 25).



**Figura 25. Diagrama de caja de densidad aparente y ksat**  
PA: Pajonal; PL: Pino; DA: Densidad aparente; Ksat: Conductividad hidráulica saturada

En los contenidos de humedad existen diferencias significativas ( $p = 0,0001$ ) entre 3500 y 3700 m s.n.m. Los contenidos de humedad a 3500 m s.n.m. los

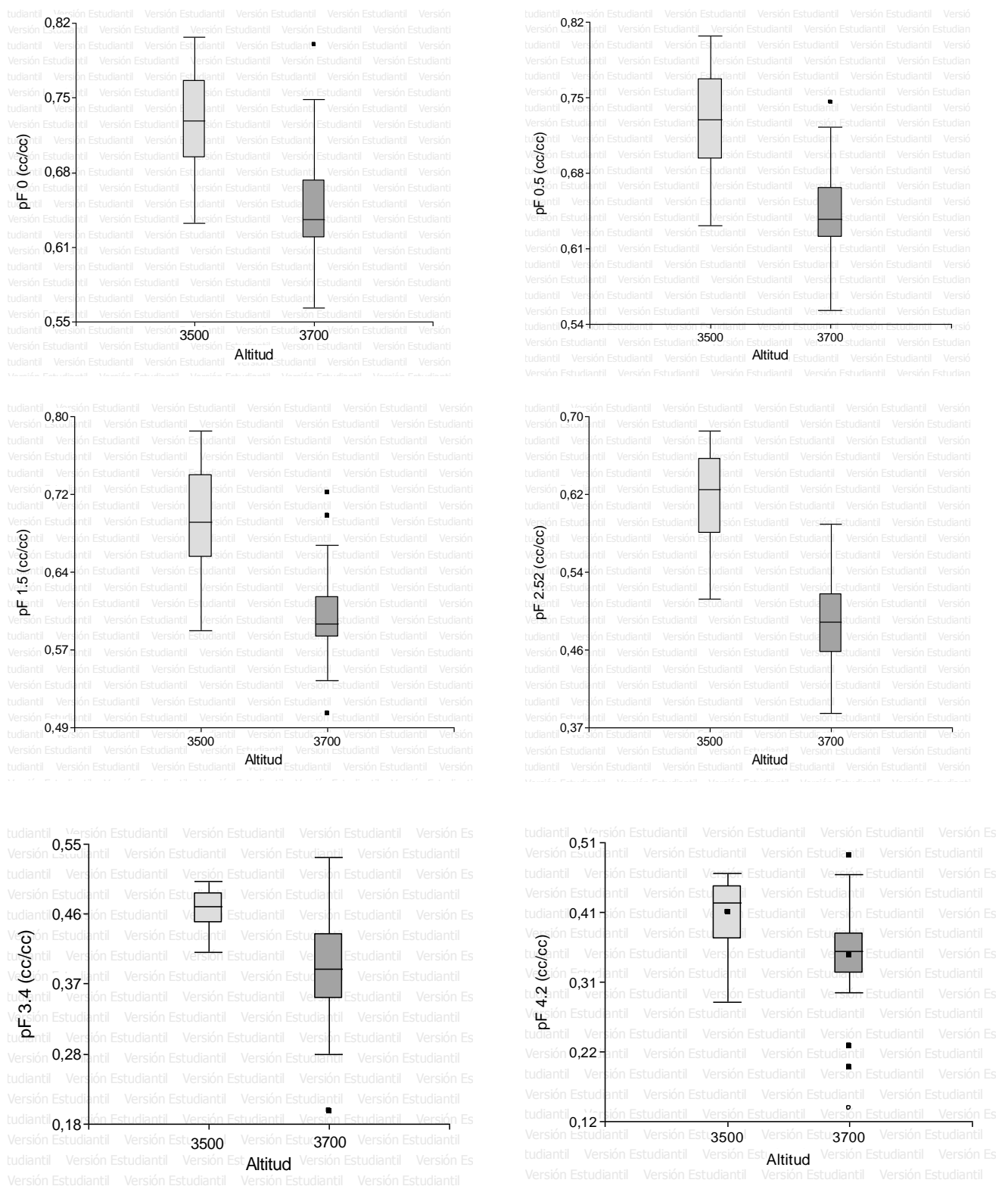


puntos pF 0, pF 2.52 y pF 4.2 son mayores y presentan valores de 0.73, 0,62, 0,41  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  respectivamente, mientras que a 3700 m s.n.m. los contenidos son inferiores con 0.65, 0.48, 0,35  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  para pF 0, pF 2.52 y pF 4.2 respectivamente (Tabla 7; Figura 25).

Las propiedades hidrofísicas presenta variaciones significativas a nivel altitudinal, tomando en cuenta que existe una diferencia de 200 m, y que de acuerdo a Zehetner et al., (2003) la materia orgánica se encuentra asociado con el efecto de la altura, se indica que al aumentar la altitud se eleva también el contenido de materia orgánica debido a la vegetación y a la descomposición lenta por las altas temperaturas (Cunalata et al., 2013). Por lo tanto se esperarían valores más altos de materia orgánica a 3700 m s.n.m, sin embargo en la presente investigación esto no coincide, dado que a mayor altura disminuye el contenido de M.O. y a menor altitud (3500 m s.n.m.) se encuentran altos contenidos de M.O. (Tabla 3), existiendo una correlación negativa. En este contexto se puede decir que el contenido de materia orgánica está influyendo en las propiedades hidrofísicas del suelo. Llambi et al., (2012) indica que la composición de los suelos también puede depender de la altitud mientras mayor es la altitud, los suelos tienden a ser más rocosos y menos profundos, con un alto porcentaje de arena y por lo tanto una menor retención de agua. Esto concuerda con la caracterización (Tabla 3) y por ende con la disminución de retención de humedad a 3700 m s.n.m..

Schrumpf et al. (2001), señala en un estudio realizado en el sur de Ecuador entre 1850 y 3050 m s.n.m que las concentraciones de pH y N disminuyen y la relación C/N y las propiedades hidromórficas aumentan con la altitud. Marrs, et al (1988) y Grieve et al, (1990) en Costa Rica también han documentado cambios en las propiedades del suelo y su fertilidad a lo largo de gradientes altitudinales desde los 100 hasta 2600 m s.n.m.

A si mismo Schawe et al. (2007), realizó un estudio en bosque tropical boliviano en tres transectos desde los 1700 a 3400 m s.n.m, y concluyeron que debido al aumento de la humedad y temperaturas más frías a gran altura los procesos de formación del suelo cambian de podzolización a suelos hidromorfismo al aumentar la altitud.



**Figura 26. Diagramas de caja de los contenidos de humedad en dos altitudes**  
**PA:** pajonal; **PL:** pino; **pF:** Unidad de presión, Contenido de humedad: **pF 0** (Punto de saturación); Contenido de humedad: **pF 0.5**; Contenido de humedad: **pF 1.5**; **pF 2.52** (Punto de capacidad de campo); Contenido de humedad: **pF 3.4**; **pF 4.2** (Punto de marchitez).



### 7.2.3. Efectos de la cobertura vegetal a distinta altitud sobre las propiedades hidrofísicas del suelo

En relación a la interacción altitud y cobertura vegetal se determinó mediante la aplicación de pruebas paramétricas (ADEVA) y no paramétricas (Kruskal-Wallis) que no existe una alteración significativa (nivel de significación  $\alpha=0.05$ ; Tabla 8), en las contenidos de humedad pF 0, pF 0.5 y pF 1.5 mientras que en las propiedades que si presentan alteración significativa ( $p = 0,001$ ) son: conductividad hidráulica, densidad aparente y contenido de humedad en punto pF 2.52, pF 3.4 y pF 4.2.

**Tabla 8. Efectos de la cobertura vegetal y la altitud sobre las propiedades hidrofísicas del suelo en dos altitudes**

Variables	Unidad	Valores p
Ksat *	cm h <sup>-1</sup>	0,0011 **
DA *	g cm <sup>-3</sup>	0,001**
pF 0	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,1934 <sup>NS</sup>
pF 0.5	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,174 <sup>NS</sup>
pF 1.5	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,2099 <sup>NS</sup>
pF 2.52*	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	<0,0001***
pF 3.4*	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,0025**
pF 4.2*	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	0,0157 *

\*Krsukal Wallis  $\alpha = 0.05$ , ANDEVA Pr  $\alpha = 0.05$ ; **Ksat**: Conductividad hidráulica saturada; **DA**: Densidad aparente; **pF**: Unidad de presión, Contenido de humedad: **pF 0** (Punto de saturación); Contenido de humedad: **pF 0.5**; Contenido de humedad: **pF 1.5**; **pF 2.52** (Punto de capacidad de campo); Contenido de humedad: **pF 3.4**; **pF 4.2** (Punto de marchitez).

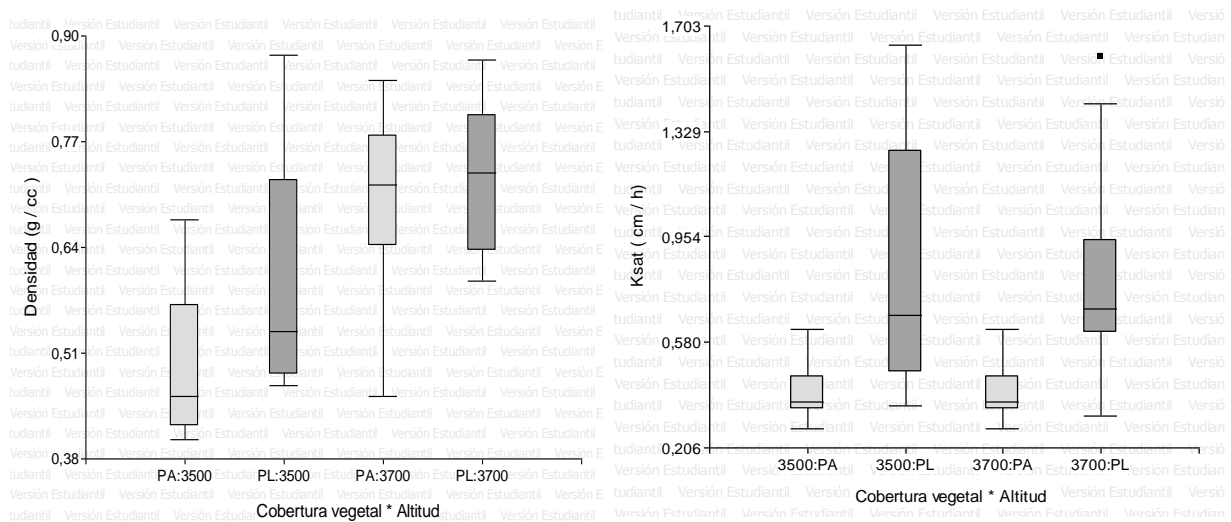
**Tabla 9. Promedio  $\pm$  error estándar de las propiedades hidrofísicas bajo cobertura de pino y pajonal a dos altitudes**

Uso de suelo	Altitud (m s.n.m.)	Ksat *	DA*	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.52*	pF 3.4*	pF 4.2*
PL	3700	0,82 $\pm 0,41$ a	0,72 $\pm 0,09$ b	0,65 $\pm 0,02$ a	0,64 $\pm 0,02$ a	0,60 $\pm 0,02$ a	0,47 $\pm 0,05$ a	0,43 $\pm 0,05$ a	0,39 $\pm 0,05$ b
PA	3700	0,40 $\pm 0,10$ b	0,68 $\pm 0,12$ b	0,65 $\pm 0,02$ a	0,65 $\pm 0,02$ a	0,61 $\pm 0,02$ a	0,50 $\pm 0,04$ a	0,35 $\pm 0,09$ ab	0,31 $\pm 0,09$ a
PL	3500	0,84 $\pm 0,48$ a	0,60 $\pm 0,14$ ab	0,71 $\pm 0,02$ b	0,70 $\pm 0,02$ b	0,67 $\pm 0,02$ b	0,60 $\pm 0,05$ b	0,47 $\pm 0,03$ b	0,42 $\pm 0,04$ b
PA	3500	0,40 $\pm 0,10$ b	0,49 $\pm 0,09$ a	0,75 $\pm 0,02$ b	0,75 $\pm 0,02$ b	0,73 $\pm 0,02$ b	0,64 $\pm 0,04$ b	0,47 $\pm 0,02$ b	0,40 $\pm 0,06$ b

\*Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; ANDEVA, Tukey  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. PA: pajonal; PL: pino

La densidad aparente resulto ser significativamente diferente ( $p = 0,001$ ) bajo las interacciones de los factores. En la tabla 9 y la figura 27 se muestra los valores de densidad aparente más altos ( $0,72$ ;  $0,60 \text{ g cm}^{-3}$  respectivamente) para los suelos bajo plantaciones de pino a  $3700$  y  $3500$  m s.n.m, en comparación con los suelos bajo cobertura de pajonal a  $3700$  y  $3500$  m s.n.m. que son valores inferiores ( $0,68$ ;  $0,49 \text{ g cm}^{-3}$  respectivamente). También se puede notar que los datos a  $3500$  m s.n.m son menores en las dos coberturas. En los suelos bajo plantaciones de pino este aumento de valor como ya se indicó anteriormente puede deberse al efecto del secamiento y pérdida de porosidad.

Bajo las interacciones entre los dos factores de evaluación resulta que la Ksat muestra diferencias significativas ( $p = 0,0011$ ), los suelos bajo cobertura de pino a  $3500$  y  $3700$  m s.n.m. presento los mayores valores ( $0,84$ ;  $0,82 \text{ cm h}^{-1}$ ) con respecto a los suelos bajo cobertura de pajonal que presento valores menores ( $0,40 \text{ cm h}^{-1}$ ); (Tabla 9; Figura 27), estos valores son inferiores a los registrados por Cisneros et al. (2010), con promedios de  $0,936 \text{ cm h}^{-1}$  para suelos de páramos no alterados. Como ya se mencionó anteriormente este cambio se explicaría por el desarrollo del pino y con ello la presencia de raíces que provocaría que la conductividad hidráulica sea más rápida bajo las plantaciones.



**Figura 27. Diagrama de caja de densidad aparente y ksat**

**PA:** Pajonal; **PL:** Pino; **DA:** Densidad aparente; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada

Los contenidos de humedad en los puntos pF 0 (humedad a saturación), pF 0.5 y pF 1.5 no se ve afectado por la interacción de la cobertura vegetal y altitud donde resultó que no existe diferencias estadísticamente significativas ( $p = > 0,05$ ) (Tabla 8). A pesar de no existir diferencias, se observa que en pajonal a 3500 m s.n.m en el punto pF 0 se presenta una mayor retención de humedad ( $0,75 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), a diferencia de la cobertura de pino y pajonal a 3500 y 3700 m s.n.m. donde la capacidad de retención de humedad disminuye los valores ( $0,65 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (Figura 28), este valor además nos indica que no hay diferencia entre pino y pajonal en este punto (pF 0) cuando los suelos se saturan. Investigaciones realizadas en suelos de páramo sin alteración la capacidad de retención de humedad en punto de saturación es muy alta (80 y 90 %) (Buytaert, 2004; Iñiguez, 2003), los valores que se presentan a 3700 m s.m.m bajo cobertura de pino son similares a los reportados por Cárdenas, (2014) en un estudio realizado en la misma zona, para los puntos 0.5 y 1.5 que son puntos cercanos al punto de saturación la tendencia es la misma, bajo cobertura de pajonal tanto a 3500 ( $0,75$  y  $0,73 \text{ cm}^3$ ) y 3700 m s.n.m ( $0,65$  y  $0,61 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) los valores son los más altos y bajo cobertura de pino a 3500 m s.n.m. ( $0,70$  y  $0,67 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) y 3700 m s.m.m ( $0,65$  y  $0,61 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) los valores disminuyen.

El contenido de humedad en punto pF 2.52 (capacidad de campo) es significativamente diferente ( $p = < 0,0001$ ) bajo las interacciones de los factores

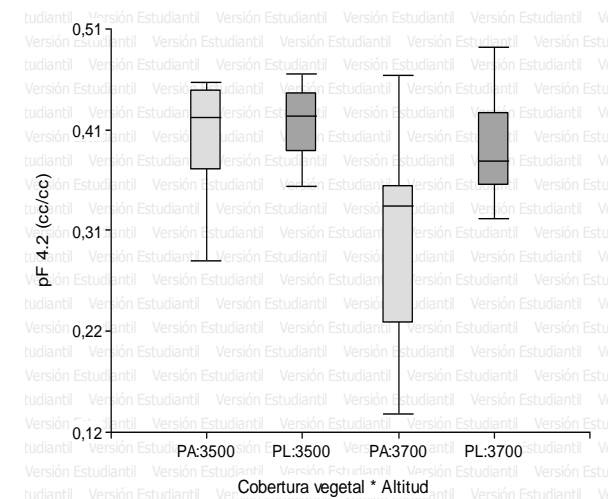
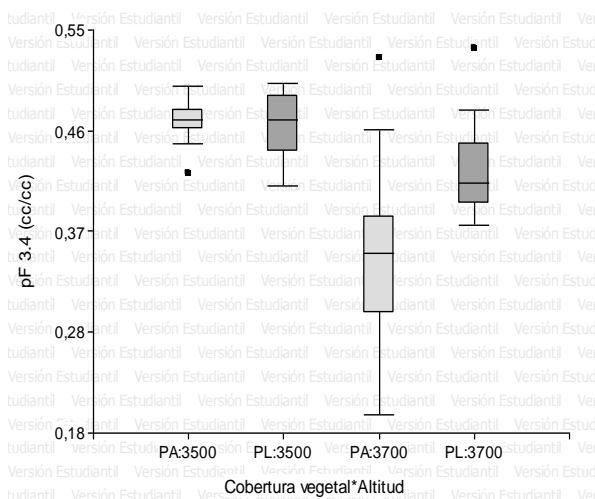
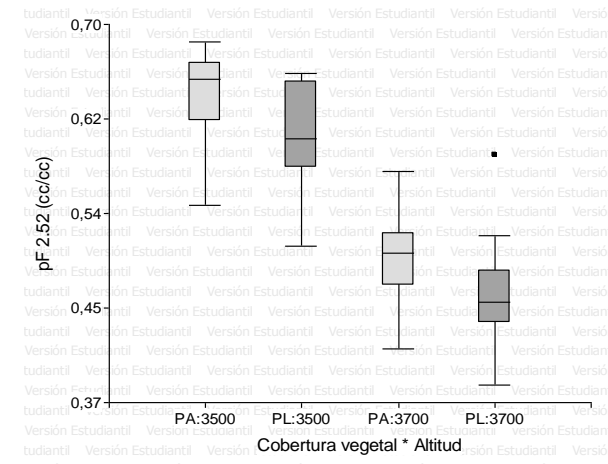
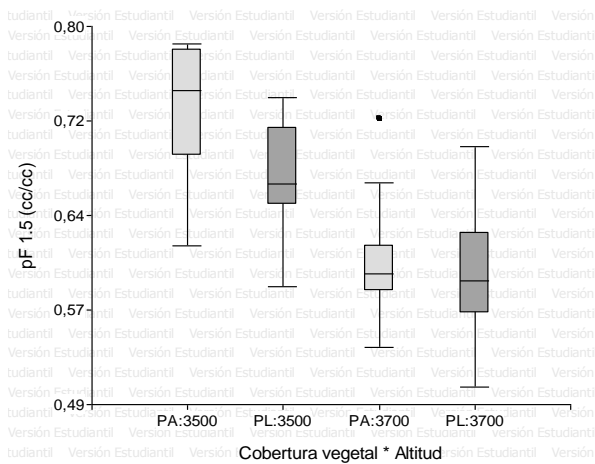
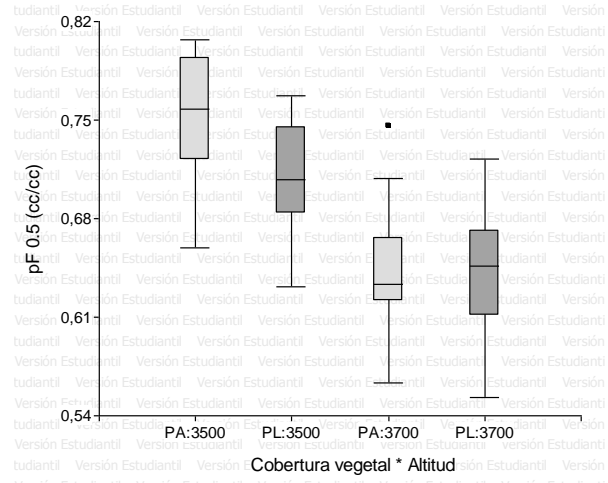
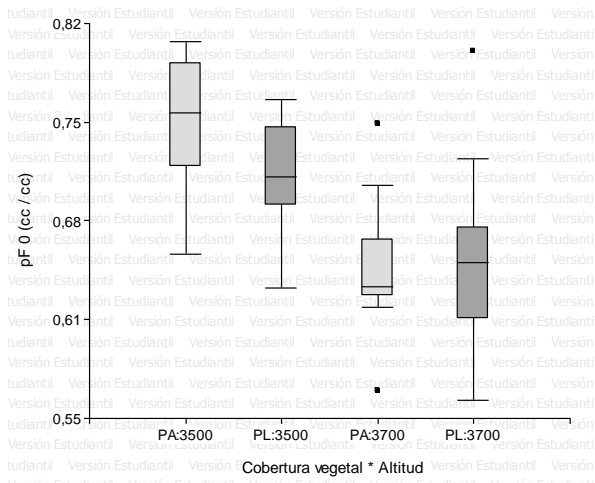


(Tabla 8). La cobertura de pajonal a 3500 m s.n. m. presenta los mayores valores ( $0,64 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) y el pino a 3500 m s.n.m. los menores ( $0,60 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), la tendencia es la misma a 3700 m s.n.m. donde los mayores valores es para pajonal ( $0,50 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) y los menores para pino ( $0,47 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). Por lo tanto la presencia de pino indicaría un cambio en la distribución de los poros, en este punto predominan los mesoporos, siendo estos los que retienen gran volumen de agua en los Andosoles y cuya principal responsable de su formación es la materia orgánica (Nanzyo et al., 1993). Realizando las correlaciones de Pearson (Anexo 9) los contenidos de humedad se correlacionan negativamente ( $p < 0,05$ ) con la densidad aparente, es decir cuando aumenta la densidad la capacidad de retención de humedad consecuentemente disminuye, esto concuerda con lo indicado anteriormente por Chacón et al., b, en revisión, que existe un impacto en la capacidad de almacenamiento o retención causado por pérdida de porosidad.

En cuanto al contenido de humedad en el punto 4.2 (punto de marchitez) se muestran cambios poco significativos ( $p = 0,0157$ ) en la interacción de los factores. Bajo cobertura de pino los valores son mayores con  $0,39$  y  $0,42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a 3700 y 3500 m s.n.m. respectivamente y presenta valores menores en pajonal con  $0,31$  y  $0,40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  a 3700 y 3500 m s.n.m. respectivamente. Los resultados en las humedades anteriores (pF 0 y 2.52) muestran una reducción en la retención de humedad bajo cobertura de pino, mientras que en este punto los valores resultan ser mayores, esto puede deberse al elevado consumo de agua de parte del pino necesario para su crecimiento (Aertsen & Jansen, 2006).

Investigaciones como las de Quichimbo et al., (2012) y Cárdenas (2014), realizadas en zonas cercanas muestran la misma tendencia, una aumento de humedad en el punto de marchitez en los suelos bajo cobertura de pino y consecuentemente valores menores de humedad en los suelos bajo cobertura de pajonal. Autores como Farley et al. (2004), mencionan lo contrario una disminución de la humedad en el punto de marchitez bajo cobertura de pino.





**Figura 28. Diagramas de caja de los contenidos de humedad bajo cobertura de pino y pajonal a dos altitudes**

**PA:** pajonal; **PL:** pino; **pF:** Unidad de presión, Contenido de humedad: **pF 0** (Punto de saturación); Contenido de humedad: **pF 0.5**; Contenido de humedad: **pF 1.5**; **pF 2.52** (Punto de capacidad de campo); Contenido de humedad: **pF 3.4**; **pF 4.2** (Punto de marchitez).



### 7.3. Comparar el aporte de hojarasca de pino (*Pinus patula*) en diferentes ubicaciones altitudinales

#### 7.3.1. Producción de hojarasca en plantaciones de pino en dos altitudes

Se evaluó el aporte de hojarasca en dos altitudes y dos edades de las plantación diferentes dando como resultado ser significativamente diferente ( $p = 0,0001$ ; Tabla 10). Se observa claramente un valor muy superior a nivel de 3500 m s.n.m. con 1,52 Mg/ha/año de diferencia en el aporte de hojarasca a 3700 m s.n.m (Tabla 10; Figura 29).

**Tabla 10. Producción de hojarasca ( $\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) en plantaciones de pino en dos altitudes**

Altitud (m s.n.m.)	Edad (años)	H ( $\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ )	Valor p
3700	15	0,91 $\pm 0,21$ a	0,0001 ***
3500	19	2,43 $\pm 0,21$ b	0,0001 ***

ANDEVA, Tukey  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

H: Hojarasca

La hojarasca es una medida de la producción primaria neta del ecosistema y está fuertemente correlacionada con el incremento de la biomasa, la densidad de árboles y la apertura del dosel; sin embargo, también es afectada por variables ambientales como precipitación, temperatura, elevación, fertilidad de los suelos y la evapotranspiración potencial (Oelbermann & Gordon, 2000).

Los resultados presentaron una variación significativa en la cantidad de hojarasca entre los dos pisos altitudinales aunque este rango es corto (200 m), Bacuilima et al., 1999; Rossenaar & Hofstede, 1992 señalan que la temperatura decrece en una tasa promedio de 0.5 a 0.6° C por cada 100 m, presentándose una temperatura media a los 3500 m s.n.m. alrededor de 7° C (Buytaert, 2004). Mosquera et al. (2007), señala que existe una reducción importante en el aporte de hojarasca relacionado con la altitud es decir mientras aumente la altitud existirá una menor productividad de hojarasca, coincidiendo con Clark et



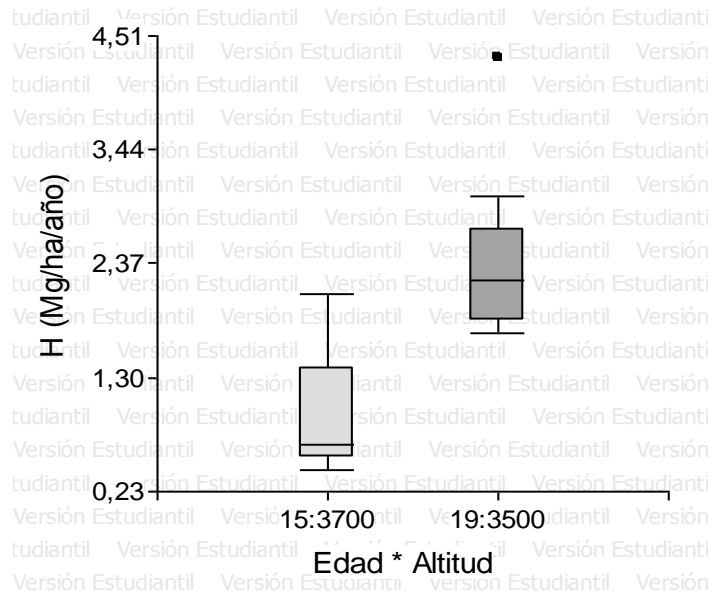
al. (2001), que manifiesta que al aumentar la altura sobre el nivel del mar puede convertirse en un factor que disminuye la productividad. Aunque también existen estudios que no encuentran relaciones claras con la altitud, latitud y precipitación (Spain, 1984).

La variación en el aporte podría presentarse por las edades diferentes de las plantaciones, a 3500 m s.n.m. tienen una edad promedio de 19 años en comparación con 15 años a 3700 m s.n.m. reflejándose esto en un mayor desarrollo vegetativo del pino ubicado a 3500 m s.n.m., pues son los árboles que muestran mayor altura, mayor diámetro y mayor valor en área basal (Tabla 2), afirmando lo que mencionan Lebret et al. (2001), sobre el área basal como un factor que nos indica el desarrollo del bosque, es decir a mayor desarrollo mayor producción de hojarasca, además cita que la producción de hojarasca incrementa con la edad de la plantación. Dames et al., (1998) también indica que la edad de las plantaciones influyen fuertemente en el aporte de hojarasca, esto también concuerda con Zapata et al. (2007), que las variables estructurales en bosque de *Pinus patula* donde se tiene mayor biomasa provocado por el mayor desarrollo del árbol influyen en la caída de hojarasca. Esto podría justificar los resultados expuestos en este estudio tanto en altitud como en edad.

Los valores presentados en este estudio se encuentran en un rango aceptable con referencia a un estudio realizado por Gutiérrez et al. (2012), en dos especies de coníferas (*Pinus greggii* y *P. cembroides*) que reporta 1,07 y 0,98 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. el aporte de hojarasca reportado en otros estudios en plantaciones de coníferas muestran valores superiores a los de este estudio tales como Roig et al., (2005) en *Pinus pinaster* que reportan un promedio de 3,28 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Navar & Jurado, (2009) en *P. pseudostrobus* y *P. pinceana* reportan un promedio de 3,42 y 4,23 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. También muestran valores inferiores a los reportados por Zapata et al., (2007) en bosque de *Pinus patula* en Colombia cuya producción fue de 8,4 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, La notoria inferioridad de los valores presentados con respecto a los citados puede deberse a las condiciones climáticas de las zona donde se encuentran las plantaciones como lo sugiere Gutiérrez et al. (2012). Además Lebret et al. (2001), manifiesta que el



desarrollo de la vegetación es fuertemente influenciado por el clima y sus efectos son reflejados en el aporte de hojarasca, en general no se han encontrado investigaciones realizadas en ecosistemas de páramo siendo la mayoría en ecosistemas de menor altitud.



**Figura 29. Diagramas de caja de la producción de hojarasca de pino en dos altitudes**  
H: Hojarasca

### 7.3.2. Relaciones entre el aporte de hojarasca y las propiedades hidrofísicas

Según el análisis de correlación de Pearson para evaluar el nivel de asociación entre el aporte de hojarasca y las variables hidrofísicas (Ksat, DA, pF 0, pF 2.52 y pF 4.2), resulta que el aporte de hojarasca en 3500 y 3700 m s.n.m. no se registra correlaciones representativas en todas las variables hidrofísicas, consecuentemente no existe diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 11. Correlaciones de Pearson de la producción de hojarasca de pino con las propiedades hidrofísicas**

Variable A	Variable B	Altitud m s.n.m.	
		3500	3700
Hojarasca	Ksat	0,26 <sup>NS</sup>	-0,04 <sup>NS</sup>
Hojarasca	DA	0,38 <sup>NS</sup>	-0,31 <sup>NS</sup>
Hojarasca	pF 0	-0,23 <sup>NS</sup>	0,49 <sup>NS</sup>
Hojarasca	pF 2.52	-0,03 <sup>NS</sup>	-0,03 <sup>NS</sup>
Hojarasca	pF 4.2	-0,32 <sup>NS</sup>	-0,08 <sup>NS</sup>

Ns > p 0,05; \* p 0,05 - 0,01; \*\* p < 0,01 - 0,001; \*\*\* < 0,001

**Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **DA:** Densidad aparente; Contenido de humedad: **pF 0** (Punto de saturación); **pF 2.52** (Punto de capacidad de campo); **pF 4.2** (Punto de marchitez).

Una de las justificaciones de la implantación fue darle estabilidad al ecosistema a través de la mayor producción de biomasa sin embargo los efectos nocivos han sido evidentes (Hofstede, 1997). Al realizar una implantación de pino este consume más agua y seca el suelo, lo cual provoca una acelerada descomposición, que no es compensada por la entrada de nueva materia orgánica, ya que la hojarasca del pino es muy uniforme y resistente a los microorganismos (Cortés et al., 1990).

Esta capa orgánica que esta sobre la superficie del suelo formado por la caída de hojarasca tendrá un efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo (Semwal et al., 2003). Sin embargo en la presente investigación mediante los análisis estadísticos esta relación no se pudo evidenciar (Tabla 11).



## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. CONCLUSIONES

- Los suelos estudiados bajo las coberturas de pino y pajonal corresponden al grupo de los Andosoles, suelos de características únicas, de color negro, baja densidad aparente y con altos contenidos de materia orgánica.
- En base a los resultados obtenidos se acepta la hipótesis alternativa, que estadísticamente ( $\alpha=0.05$ ) no se demuestra que la mayoría de las propiedades hidrofísicas se vean afectadas por la plantación de *Pinus patula*, al adoptar otro rango de significancia ( $\alpha=0.1$ ) muestra que existe diferencias entre los suelos bajo cobertura de pino y suelos bajo cobertura de pajonal en las zonas de Soldados y Tutupali Alto.
- La conductividad hidráulica saturada es afectada de manera significativa por la presencia de pino, en esta cobertura se produce un incremento de la velocidad del agua debido a un mayor flujo de drenaje provocado por las raíces del pino.
- En densidad aparente se encontraron diferencias significativas, presentándose un incremento en sus valores bajo la cobertura de pino, cambio que se puede atribuir a la compactación y a la pérdida de porosidad de los suelos.
- En los valores de contenidos de humedad a saturación y capacidad de campo los suelos con forestación de pino muestran una ligera disminución del contenido volumétrico de agua, mientras que en suelos bajo cobertura de pajonal presentan valores más altos.
- La retención de humedad en el punto de marchitez es mayor en los suelos bajo plantaciones de pino, comparado con la humedad en el suelo de páramo.



- Se observa también una notoria diferencia de las propiedades hidrofísicas entre las dos zonas, 3500 y 3700 m s.n.m. a pesar que se encuentran en el mismo ecosistema (páramo) y una diferencia corta (200 m), a 3500 m s.n.m. se caracterizó suelos más profundos y con mayores contenidos de materia orgánica lo que se traduce en suelos con más altos contenidos de humedad en esta zona.
- El aporte de hojarasca del pino muestra una diferencia significativa entre las dos zonas, donde a 3500 m s.n.m. y con una edad de plantación mayor se registra el mayor aporte de hojarasca respecto al piso de 3700 m s.n.m. y una plantación de menor edad. Por lo tanto se podría decir que la edad es el factor clave para generar estas diferencias.
- También se determinó que no existe una relación clara en el aporte o acumulación de hojarasca con las propiedades hidrofísicas.



## 8.2. RECOMENDACIONES

- En el páramo ecuatoriano los Andosoles poseen una gran variabilidad espacial, encontrándose diferencias físico-morfológicas y químicas aun dentro de este mismo grupo. Por ello es recomendable seguir levantando y analizando información mediante el aumento de sitios de muestreo a fin de tener una mejor resolución en la caracterización espacial de los suelos.
- En el presente estudio los análisis estadísticos presentaron diferencias en la conductividad hidráulica saturada sin embargo en las otras características hidrofísicas no se presentaron diferencias marcadas, en este sentido se recomienda profundizar los estudios de estas características y que permitan identificar con mayor certeza la influencia del cambio de uso del suelo.
- También se hace necesario recomendar que se investigue sobre la tasa de evapotranspiración tanto del pino (*Pinus patula*), como del pajonal en zonas de páramo, esto permitirá entender mejor el ciclo hidrológico y la influencia del suelo y sus propiedades además del tipo de cobertura en el balance hídrico.
- Cabe destacar la importancia que tiene la materia orgánica en estudios sobre propiedades hidrofísicas por ello la necesidad de un monitoreo constante sobre el aumento o disminución del porcentaje del materia orgánica a través de los años y cuáles son las fuentes primarias y secundarias del aporte y los elementos de influencia para su humificación o mineralización en el suelo.
- Se sugiere en futuras investigaciones aplicar otros métodos o técnicas para la captura de hojarasca de especies forestales.
- Realizar análisis en los que se incluyan factores como la tasa de descomposición y mineralización, calidad de hojarasca, actividad





microbiana y humedad, así como también relacionar con el entorno climático del páramo.

- Este estudio puede servir como incentivación para investigaciones más profundas sobre el aporte de hojarasca de pino en zonas de páramo, ya que se encontró limitada información sobre este tema en este tipo de ecosistema.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Aertsen, W., & Jansen, N. (2006). *Bodemkundige en ecologische effecten van bebossing met Pinus Patula in de páramo*. K.U.Leuven, Leuven.
2. Anderson, M. L., Kavvas, M. L., & Mierzwa, M. D. (2001). Probabilistic/ensemble forecasting: a case study using hydrologic response distributions associated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Journal of Hydrology*, 249, 134–147.
3. Bacuilima, F. L., Bacuilima, J. C., & Bermeo, W. A. (1999). *Caracterización de clima por microcuencas en el Austro Ecuatoriano*. Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca.
4. Borja, P. (2012). Los suelos del paramo. In *Ecología, hidrología y suelos de paramo* (pp. 173–248).
5. Borja, P., Iñigues, V., Crespo, P., Cisneros, P., & Cisneros, F. (2008). Características Físico-Químicas de Histosoles y Andosoles de los páramos de Quimsacocha, Ecuador. In *Memorias XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. SECS. Quito (Ecuador).
6. Buytaert, W. (2004). *The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology*. Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven.
7. Buytaert, W., Bièvre, B. D., Wyseure, G., & Deckers, J. (2004). The use of the linear reservoir concept to quantify the impact of land use changes on the hydrology of catchments in the Ecuadorian Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8, 108–114.



8. Buytaert, W., Célleri, R., Bièvre, B. D., Hofstede, R., Cisneros, F., Wyseure, G., & Deckers, J. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, 53–72.
9. Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2006). *Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad*. Cuenca. Recuperado: [http://www.paramo.org/files/hidrologia\\_paramo.pdf](http://www.paramo.org/files/hidrologia_paramo.pdf).
10. Buytaert, W., Iñiguez, V., & Bièvre, B. D. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251, 22–30.
11. Cárdenas, I. L. (2014). *Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico-químicas de los suelos andinos del sur del Ecuador*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
12. Celleri, R. C., De Bièvre, B., & Iñiguez, V. (2004). Efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuencas de páramo.
13. 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.
14. Chacon, G, G., & Ansaloni, R., R. (2003). Interaccion suelo, vegetacion y agua: el efecto de las plantaciones de pino en ecosistemas alto andinos del Azuay y Cañar. *El Agua*, 166–173.
15. Cisneros, P., Cajamarca, J., & Pacheco, E. (2010). Estudios para establecer la linea base de suelos inalterados en el paramo de quimsacocha. Retrieved from <http://www.secsuelo.org/XIICongreso/Simposios/Conservacion/Magistral>



- es/1.%20Pedro%20Cisneros%20-%20Estudios%20Linea%20base%20de%20suelos.%20PROMAS-Ecuador.pdf
16. Clark, D. A., Brown, S., Kicklighter, D. W., Chambers, J. Q., Thomlinson, J. R., Ni, J., & Holland, E. A. (2001). Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications*, 11(2), 371–384.
17. Cortés, A., Chamorro, C., & Vega, A. (1990). Cambios en el suelo por la implantación de praderas, coníferas y eucaliptos en un área aledaña al embalse del Neusa (páramo de Guerrero). *Biol Suelo*, 101–114.
18. Crespo, P., Céleri, R., Buytaert, W., Feyen, J., Iñiguez, V., Borja, P., & De Bièvre, B. (2010). Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems. *Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins. IAHS Publ*, 336.
19. Crespo, P., Céleri, R., Buytaert, W., Ochoa, B., Cárdenas, I., Iñiguez, V., ... De Bièvre, B. (2014). Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos.
20. Cunalata, C., Inga, C., Álvarez, G., Recalde, C., Echeverría, M., & others. (2013). Determinación de carbono orgánico total presente en el suelo y la biomasa de los páramos de las comunidades de chimborazo y shobol Ilinllin en Ecuador.
21. Dames, J. F., Scholes, M. C., & Straker, C. (1998). Litter production and accumulation in *Pinus patula* plantations of the Mpumalanga Province, South Africa. *Plant and Soil*, 203(2), 183–190.



22. Delgado, O., & Zarate, E. (2002). Los páramos de Azuay y Cañar. *Universidad-verdad*, 197.
23. FAO. (1999). Base referencial mundial del recurso suelo.. *Informe Sobre Recursos Mundiales de Suelos (FAO)*, (84).
24. FAO/ISRIC/ISSS. (1998). *World Reference Base for Soil Resources*. Rome: FAO.
25. Farley, K. A. (2008). Plantaciones Forestales y Producción de Servicios Ambientales. *Serie Paramo*.
26. 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, 729–739.
27. Galloway, G., & DINAF-AID, P. (1987). *Criterios y estrategias para el manejo de plantaciones forestales en la sierra ecuatoriana*. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Nacional Forestal.
28. Geilfus, F., & Bailón, P. (1994). *El árbol al servicio del agricultor: Guía de especies* (Vol. 2). Bib. Orton IICA/CATIE. Retrieved from [http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xCMOAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=manual+de+agroforesteria+guia+de+especies&ots=VEiVUX4ZX\\_&sig=pe29urz3V9rPMLIO71lwfqV\\_loM#v=onepage&q=manual%20de%20agroforesteria%20guia%20de%20especies&f=false](http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xCMOAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=manual+de+agroforesteria+guia+de+especies&ots=VEiVUX4ZX_&sig=pe29urz3V9rPMLIO71lwfqV_loM#v=onepage&q=manual%20de%20agroforesteria%20guia%20de%20especies&f=false)
29. Grieve, I., Proctor, J., & Cousins, S. (1990). Soil variation with altitude on volcan Barva, Costa Rica. *Catena*, 17(6), 525–534.
30. Gutiérrez, V., Méndez, J., Flores, L., Ramírez, D., & Gutiérrez, V. (2012). Caída de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus*



- cembroides Zucc. *Coahuila, México. Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2), 123–33.
31. Hofstede, R. (1999). El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico. *El Páramo Como Espacio de Mitigación de Carbono Atmosférico. Quito: Grupo de Trabajo En Páramos/Abya-Yala: Quito. P*, 3–6.
32. Hofstede, R. (2000). Aspectos técnicos ambientales de la forestación en los páramos. *La Forestación En Los Páramos. Series Páramo*, 6, 41–66.
33. Hofstede, R. G. M. (1995). The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian páramo grasslands. *Plant And Soil*, 173, 111–132.
34. Hofstede, R. G. M. (1997). El impacto ambiental de plantaciones de Pinus en la Sierra del Ecuador. Resultados de una investigación comparativo.
35. 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, 159–167.
36. Hofstede, R. G. M., Lips, J., Jongsma, W., & Sevink, Y. (1998). *Geografía, ecología y forestación en la sierra alta del Ecuador*. Ediciones Abya Yala, Quito, Ecuador.
37. Iñiguez, V. (2003). *Balance hídrico de Microcuencas de páramo*. Tesis de grado, Universidad de Cuen.



38. IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007* (Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103). Roma: FAO.
39. Lamprecht, H. (1989). *Silviculture in the Tropics: tropical forest ecosystems and their tree species-possibilities and methods for their long-term utilization*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.
40. Le Bret, M., Nys, C., & Forgeard, F. (2001). Litter production in an Atlantic beech (*Fagus sylvatica* L.) time sequence. *Annals of Forest Science*, 58(7), 755–768.
41. León-Yáñez, S. (2000). La flora de los páramos ecuatorianos. *La Biodiversidad de Los Páramos. Serie Páramo*, 7, 5–21.
42. Llambi, L., L. (2012). Ecología de paramos. In *Ecología, hidrología y suelos de paramo*.
43. Llambi, L., Soto-W, A., Celleri, R., Borja, P., Bièvre, B. D., & Ochoa, B. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Monsalve Moreno.
44. Marrs, R., Proctor, J., Heaney, A., & Mountford, M. (1988). Changes in soil nitrogen-mineralization and nitrification along an altitudinal transect in tropical rain forest in Costa Rica. *The Journal of Ecology*, 466–482.
45. Medina, G., Josse, C., & Mena, P. (2000). *La forestación en los páramos. Serie Páramo 6*. GTP/Abya Yala. Quito.
46. Mena, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica Económica de Los Andes Centrales.*, 91–109.
47. Mena, P., Josse, C., & Medina, G. (2000). *Los suelos del páramo* (Vol. 5). Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador.



48. Mena, P., & Medina, G. (2001). Los páramos en el Ecuador. In P. Mena, G. Medina, & R. Hofstede (Eds.), *Los páramos del Ecuador* (pp. 1–24). Proyecto Páramo, Quito.
49. Molinillo, M., & Monasterio, M. (2002). Patrones de vegetación y pastoreo en ambientes de páramo. *Ecotropicos*, 15(1), 19–34.
50. Mosquera, H. Q., Ramos-Palacios, Y. A., & Bonilla, D. A. (2007). Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica Del Chocó*, 26(1), 28–41.
51. Municipio de Cuenca, C. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del cantón Cuenca*. Cuenca: Municipio de Cuenca.
52. Nanzyo, M., Shoji, S., & Dahlgren, R. (1993). *Volcanic Ash Soils: genesis, properties and utilisation. Developments in Soil Science N° 21*. Elsevier, Amsterdam.
53. Oelbermann, M., & Gordon, A. M. (2000). Quantity and quality of autumnal litterfall into a rehabilitated agricultural stream. *Journal of Environmental Quality*, 29(2), 603–611.
54. Páramo, P. (1999). Mapa preliminar de los tipos de páramo del Ecuador. *No Publicado. Quito*.
55. Podwojewski, P. (1999). Los suelos de las altas tierras andinas: los páramos del Ecuador. *Bol Soc Ecuator Cie Suelo*, 18, 9–14.
56. Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2004). Paramos Soils. In *Encyclopedia of Soil Science*. Dekker.
57. Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Suelos Ecuatoriales 42 EFECTOS SOBRE LAS





PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS POR EL  
CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO:  
PÁRAMO DE QUIMSACOCCHA AL SUR DEL ECUADOR.

58. Roig, S., del Río, M., Canellas, I., & Montero, G. (2005). Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *Forest Ecology and Management*, 206(1), 179–190.
59. Rossenaar, A. J. G. A., & Hofstede, R. G. M. (1992). Effects of burning and grazing on root biomass in the páramo ecosystem. In H. Balslev & J. L. Luteyn (Eds.), *Páramo: an Andean ecosystem under human influence* (pp. 211–213). Academic Press London.
60. Schawe, M., Glatzel, S., & Gerold, G. (2007). Soil development along an altitudinal transect in a Bolivian tropical montane rainforest: podzolization vs. hydromorphy. *Catena*, 69(2), 83–90.
61. Schrumpf, M., Guggenberger, G., Valarezo, C., & Zech, W. (2001). Tropical montane rain forest soils. Development and nutrient status along an altitudinal gradient in the south Ecuadorian Andes. *Erde*, 132(1), 43–59.
62. Semwal, R., Maikhuri, R., Rao, K., Sen, K., & Saxena, K. (2003). Leaf litter decomposition and nutrient release patterns of six multipurpose tree species of central Himalaya, India. *Biomass and Bioenergy*, 24(1), 3–11.
63. Spain, A. (1984). Litterfall and the standing crop of litter in three tropical Australian rainforests. *The Journal of Ecology*, 947–961.
64. Thien, S. J. (1979). A flow diagram for teaching texture-by-feel analysis. *Journal of Agronomic Education*, 8(2).



65. Usda, N. (2004). Soil survey laboratory methods manual. *Soil Survey Investigations Report, 42*.
66. VELA GÁLVEZ, L. (2012). PINUS PATULA, UNA IMPORTANTE ESPECIA MEXICANA DE PINO. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 1(1)*.
67. Vinueza, M. (2013). Ficha tecnica: Pino (Pinus Patula). Retrieved November 3, 2014, from <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-14-pino-pinus-patula/>
68. Wormald, T. (1975). *Pinus patula*. Department of Forestry, University of Oxford.
69. Zapata Duque, C. M., Ramírez, J. A., León Peláez, J. D., & González Hernández, M. I. (2007). Producción de hojarasca fina en bosques alto andinos de Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 60(1)*, 3771–3784.
70. Zehetner, F., Miller, W. P., & West, L. T. (2003). Pedogenesis of Volcanic Ash Soils in Andean Ecuador. *Soil Science Society of America Journal, 67*, 1797–1809.
71. ZUÑIGA, T. (1995). Situación actual de la Forestación y Reforestación en el Ecuador. *INEFAN. Quito. Ecuador*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/007/ad102s/AD102S08.htm>



## 10. ANEXOS

### Anexo 1. Materiales utilizados

#### 1.1. Materiales de Campo

##### Físicos

- Alicate
- Anillos Kopecky de 100 cm<sup>3</sup>
- Barreno
- Barreta
- Botellón de agua
- Caja edafológica
- Cierra
- Cinta métrica
- Cuaderno de apuntes
- Esfero
- Espátula
- Esponjas
- Etiquetas
- Flexómetro
- Flotadores
- Franela
- Fundas para muestra alterada
- Lápiz
- Llave para extensiones
- Martillo de goma
- Pala
- Pilas recargables
- Porta hojas
- Soportes metálicos
- Succionador
- Toma muestras para anillos Kopecky y artesanales
- Vaselina

##### 1.1.1. Equipos

- Cámara
- Clinómetro
- Cronómetro
- GPS
- Linterna
- Penetrómetro



## **1.2. Materiales de laboratorio**

### **1.2.1. Físicos**

- Anillos para pasta saturada
- Bandejas para saturación de anillos
- Ligas
- Pinceles
- Tamiz 2mm
- Telas
- Vasos para pasta saturada

### **1.2.2. Equipos**

- Balanza eléctrica
- Cajas de arena (para presiones 0 a 2 pF)
- Computadora
- Estufa
- Extractores de presión (5 y 15 bares)
- Mezcladora de suelos
- Placas de cerámica
- Mufla
- Desecador
- Pinzas

### **1.2.3. Software**

- ArcGIS 9.3G
- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- InfoStat (Versión 2015e)

## **1.3. Guías de Campo**

- Fichas para toma de datos
- Guía para la descripción de perfiles de la FAO (2009)

**Anexo 2. Coordenadas geográficas de las plantaciones**


Zona (3700 m s.n.m.)	Código	Coordenadas (plots)		Altura (m s.n.m.)
		X	Y	
Soldados - Pino	S1	689866	9672839	3761
	S2	689465	9672829	3760
	S3	689266	9672864	3765
	S4	689424	9672865	3766
	S5	689387	9672554	3717
	S6	687803	9670010	3722
	S7	687835	9670007	3719
	S8	687906	9669954	3712
	S9	687832	9669878	3717
	S10	687936	9669783	3697
Soldados - Pajonal	SP1	687468	9670349	3741
	SP2	687472	9670338	3747
	SP3	688312	9669853	3667
	SP4	688276	9669870	3665
	SP5	688152	9669764	3672
	SP6	688122	9669757	3674
	SP7	688075	9669709	3676
	SP8	688080	9669663	3670
	SP9	688048	9669605	3670
	SP10	688084	9669566	3666
Zona (3500 m s.n.m.)	Código	Coordenadas (plots)		Altura (m s.n.m.)
Tutupali Alto - Pino	TA1	706157	9666670	3451
	TA2	705493	9666624	3452
	TA3	706150	9666623	3450
	TA4	705775	9666471	3456
	TA5	704984	9666474	3464
	TA6	704860	9667094	3530
	TA7	704887	9667032	3507
	TA8	704713	9666971	3516
	TA9	704390	9666756	3577
	TA10	704508	9666796	3561
Tutupali Alto - Pajonal	TAP1	704165	9666627	3586
	TAP2	704203	9666614	3580
	TAP3	704145	9666457	3591
	TAP4	704251	9666475	3584
	TAP5	705026	9666471	3514
	TAP6	705185	9666533	3498
	TAP7	705475	9666638	3451
	TAP8	705539	9664145	3355
	TAP9	705126	9666547	3485
	TAP10	705103	9666582	3486



## Anexo 3. Descripción de perfiles de las calicatas

## a) Calicatas en Soldados: Plantaciones de pino

<b>Código</b>		<b>SF1</b>					
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>		689866-9672839	<b>Altura (m s.m.n.):</b>		3761	<b>PERFIL</b> 	
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera alta	<b>Pendiente</b>		23%		
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>		Nula		
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino y pajonal					
<b>Horizontes</b>							
<b>H</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Pres. piedras</b>	<b>Pres. raíces</b>	<b>Color</b>	<b>Estructura</b>	<b>Textura</b>	
O	7						
Ah	27	Baja	Alta	10YR 1,7/1	Granular	Franco limoso	
CR	27+	Alta	Nula	2,5Y 8/4	Sin estructura	Arenoso	


<b>Código</b>		<b>SF4</b>					
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>		689434-9672869	<b>Altura (m s.m.n.):</b>		3733	<b>PERFIL</b> 	
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera alta	<b>Pendiente</b>		20%		
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>		Nula		
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>		B					
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino y pajonal					
<b>Horizontes</b>							
<b>H</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Pres. piedras</b>	<b>Pres. raíces</b>	<b>Color</b>	<b>Estructura</b>	<b>Textura</b>	
O	7						
Ah	28	Nula	Alta	10YR 1,7/1	Migajón	Franco limoso	
CR	28+	Alta	Nula	2,5Y 5/6	Bloque angular	Franco arenoso	




<b>Código</b>		<b>SF5</b>				
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay				
<b>Punto GPS:</b>		69391-9672551	<b>Altura (m s.m.n.):</b>		3730	<b>PERFIL</b> 
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera baja	<b>Pendiente</b>		12%	
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>		Nula	
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>					B	
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino y pajonal				
<b>Horizontes</b>						
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura
O	3					
Ah	23	Nula	Alta	10YR 1,7/1	Granular	Franco
AC	6	Alta-pequeña a mediana	---	10YR 1,7/1	Granular-Bloque	Franco arenoso
C	35+	Alta-pequeña	Nula	7,5YR 8/2; 2,5YR 8/6	Bloque angular	Franco arenoso

<b>Código</b>		<b>SM1</b>				
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay				
<b>Punto GPS:</b>		687803-9670010	<b>Altura (m s.m.n.):</b>		3722	<b>PERFIL</b> 
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera baja	<b>Pendiente</b>		20%	
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>		Nula	
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>					B	
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino y pajonal				
<b>Horizontes</b>						
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura
O	15					
A	14		Alta-delgadas	10YR 1,7/1	Granular	Franco
AC	10	Alta-pequeñas	Baja-delgadas	10YR 4/2	Bloque	Arenoso
C	83	Alta-pequeñas	Nula	10YR 5/3	Bloque	Arenoso



<b>Código</b>		<b>SM2</b>				
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay				
<b>Punto GPS:</b>		687835-9670007	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3719	<b>PERFIL</b>	
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera baja	<b>Pendiente</b>	21%		
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	nula		
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>		A				
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino y pajonal				
<b>Horizontes</b>						
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura
O	7				Migajón-Granular	
Ah	18	Nula	Media-delgadas	10YR 1,7/1	Bloque	Franco
AC	22	Media-pequeñas 2mm	Baja	10YR 1,7/1	Bloque	Franco
C	80 +	Alta-pequeñas	Nula	10YR 5/4	Sin estructura	Arenoso

<b>Código</b>		<b>SM4</b>				
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay				
<b>Punto GPS:</b>		687832-9669878	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3717	<b>PERFIL</b>	
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera baja	<b>Pendiente</b>	13%		
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula		
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>		B				
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino y pajonal				
<b>Horizontes</b>						
H	Prof. (cm)	Pres. raíces	Pres. piedras	Color	Estructura	Textura
O	1					
Ah	30,5	Nula	Alta-delgadas	7,5YR 1,7/1	Migajón-Granular	Franco
C	54 +	Nula	Baja	10YR 5/3	Sin estructura	Franco arenoso





**b) Calicatas en Soldados: Páramo conservado**

<b>Código</b>		<b>37C2</b>					
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>		687472-9670338	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3747	<b>PERFIL</b>		
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera baja	<b>Pendiente</b>	10%			
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula			
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>				B			
<b>Cobertura vegetal</b>		Pajonal conservado					
<b>Horizontes</b>							
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura	
O	5						
Ah	26	Nula	Media-delgadas	10YR 1,7/1	Granular	Franco	
AC	45	Baja-pequeña 1cm	Baja	10YR 4/2	Bloque	Franco arcilloso	
CR	54+		Nula	10YR 5/4	Sin estructura	Arenoso	


<b>Código</b>		<b>37C4</b>					
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>		688312-9669853	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3667	<b>PERFIL</b>		
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera baja	<b>Pendiente:</b>	27%			
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula			
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>				A			
<b>Cobertura vegetal</b>		Pajonal					
<b>Horizontes</b>							
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura	
O	3						
Ah	38	Nula	Alta-delgadas	10YR 1,7/1	Granular	Franco arcilloso	
C	45+	Alta-pequeñas	Baja	2,5Y 6/3	Bloque	Arcillo arenoso	




<b>Código</b>		<b>37C9</b>						
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay						
<b>Punto GPS:</b>		688075-9669709	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3676	<b>PERFIL</b>			
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera media	<b>Pendiente</b>	10%				
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula				
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>							B	
<b>Cobertura vegetal</b>		Pajonal conservado						
<b>Horizontes</b>								
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura		
O	2							
Ah	20	Nula	Alta-delgadas	7,5Y R 1,7/1	Migajón	Franco arcilloso		
AC	6	Nula	Baja-delgadas	2,5Y 6/8	Bloque	Franco arenoso		
CR	18 +	Nula	Baja-delgadas	2,5Y 6/4	Bloque	Franco arenoso		

<b>Código</b>		<b>37C10</b>						
<b>Localización:</b>		Soldados - Cuenca – Azuay						
<b>Punto GPS:</b>		688080-9669663	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3670	<b>PERFIL</b>			
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera media	<b>Pendiente</b>	27%				
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula				
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>							B	
<b>Cobertura vegetal</b>		Pajonal conservado						
<b>Horizontes</b>								
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura		
O	4							
Ah	33	Nula	Alta-delgadas	10YR 1,7/1	Granular	Arcillo limoso		
AC	30	Baja	Baja-delgadas	2,5Y 5/4	Bloque	Arcillo arenoso		
C	45 +		Baja-delgadas	2,5Y 6/4	Bloque	Franco arcilloso		


## c) Calicatas en Tutupali Alto: Plantaciones de pino

<b>Código</b>		<b>TC1</b>				
<b>Localización:</b>		Tutupali Alto - Cuenca – Azuay				
<b>Punto GPS:</b>		704860-9667094	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3530	<b>PERFIL</b> 	
<b>Posición fisiografía</b>		Laders media	<b>Pendiente</b>	45%		
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula		
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>				B		
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino y pajonal				
<b>Horizontes</b>						
<b>H</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Pres. piedras</b>	<b>Pres. raíces</b>	<b>Color</b>	<b>Estructura</b>	<b>Textura</b>
O	15					
Ah	42	Nula	Media-delgadas	10YR 1,7/1	Bloque-Granular	Limoso
C	52+	Alta-pequeñas 2mm-5mm		10YR 5/4	Bloque	Franco arcilloso


<b>Código</b>		<b>TC4</b>				
<b>Localización:</b>		Tutupali Alto - Cuenca – Azuay				
<b>Punto GPS:</b>		704390-9666756	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3577	<b>PERFIL</b> 	
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera media	<b>Pendiente:</b>	43%		
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula		
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>						
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino y arbustos				
<b>Horizontes</b>						
<b>H</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Pres. piedras</b>	<b>Pres. raíces</b>	<b>Color</b>	<b>Estructura</b>	<b>Textura</b>
O	5					
Ah	45	Nula	Alta-delgadas	7,5Y R 2/3	Bloque	Franco
CR	70	Baja-pequeñas, medianas 3cm	Nula	10YR 5/6	Bloque	Franco arenoso




<b>Código</b>		<b>TC5</b>					
<b>Localización:</b>		Tutupali Alto - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>		704508-9666796	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3561	<b>PERFIL</b>		
<b>Posición fisiografía:</b>		Ladera media	<b>Pendiente</b>	43%			
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula			
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>							B
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino y pajonal					
<b>Horizontes</b>							
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura	
O	10						
Ah	35	Nula	Media-delgadas	10YR 3/1	Bloque-Granular	Franco arcilloso	
C	25	Nula	Nula	7,5Y R 4/6 10YR 5/8	Sin estructura	Franco arcilloso	

<b>Código</b>		<b>TT3</b>					
<b>Localización:</b>		Tutupali Alto - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>		706150-9666670	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3451	<b>PERFIL</b>		
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera alta	<b>Pendiente:</b>	23%			
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula			
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>							C
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino ( <i>Pinus patula</i> )					
<b>Horizontes</b>							
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura	
O	7						
Ah	30	Nula	Alta-delgadas a medianas	7,5 YR 2/8	Granular-Bloque	Franco	
AB	77	Baja-pequeñas a grandes	Baja-delgadas pequeñas	10YR 2/2	Bloque	Franco arcilloso	
BC	40 +	Nula	Nula	10YR 5/4	Sin estructura	Franco arcilloso	




<b>Código</b>		<b>TT4</b>					
<b>Localización:</b>		Tutupali Alto - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>		705775-9666471	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3456	<b>PERFIL</b> 		
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera alta	<b>Pendiente:</b>	21%			
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula			
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>				C			
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino ( <i>Pinus patula</i> )					
<b>Horizontes</b>							
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura	
O	6						
Ah	30	Nula	Alta-delgadas a medianas	7,5 YR 2/8	Bloque-Granular	Franco	
AB	13	Media-roca en meteorización	Bajas-delgadas	7,5YR 3/2	Bloque	Franco arcilloso	
CR	44	Alta-roca en meteorización	Bajas-delgadas	7,5YR 4/3	Bloque	Franco arcilloso	

<b>Código</b>		<b>TT5</b>					
<b>Localización:</b>		Tutupali Alto - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>		704084-9666474	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3464	<b>PERFIL</b> 		
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera alta	<b>Pendiente:</b>	27%			
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula			
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>				C			
<b>Cobertura vegetal</b>		Pino ( <i>Pinus patula</i> ) y arbustos					
<b>Horizontes</b>							
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura	
O	10						
Ah	38	Nula	Alta-mediana a gruesas	7,5YR 2/2	Bloque-Granular	Franco arcilloso	
AB	33	Nula	Baja-delgadas	7,5YR 3/2	Bloque	Franco arcilloso	
BC	20	Nula	Nula	7,5YR 3/4	Bloque	Franco arcilloso	
C	50 +	Nula	Nula	10YR 5/4	Granular	Franco arcilloso	




**d) Calicatas en Tutupali Alto: Páramo conservado**

<b>Código</b>		<b>35C1</b>				
<b>Localización:</b>		Tutupali Alto - Cuenca – Azuay				
<b>Punto GPS:</b>		704165-9666627	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3586	<b>PERFIL</b> 	
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera media	<b>Pendiente:</b>	16%		
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula		
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>				B		
<b>Cobertura vegetal</b>		Pajonal y aguarongos				
<b>Horizontes</b>						
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura
O	4					
Ah	45	Nula	Alta-delgadas	2,5Y 1,7/1	Granular-Bloque	Franco limoso
B	32	Nula	Baja-delgadas	7,5Y R 1,7/1	Bloque	Franco

<b>Código</b>		<b>35C4</b>				
<b>Localización:</b>		Tutupali Alto - Cuenca – Azuay				
<b>Punto GPS:</b>		704251-9666475	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3584	<b>PERFIL</b> 	
<b>Posición fisiografía</b>		Ladera baja	<b>Pendiente:</b>	11%		
<b>Tipo de suelo</b>		Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula		
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>				A		
<b>Cobertura vegetal</b>		Pajonal conservado				
<b>Horizontes</b>						
H	Prof. (cm)	Pres. piedras	Pres. raíces	Color	Estructura	Textura
O	4					
Ah	40	Nula	Alta-delgadas	10YR 1,7/1	Granular-Bloque	Franco
AC	24	Baja-pequeñas	Mediadelgadas	2,5Y 7/3 10YR 5/3 2,5Y 6/8 (moteados)	Bloque	Franco
BC	75	Alta-pequeñas 1-3cm	Nula	2,5Y 6/2	Granular-Bloque	Franco arcilloso

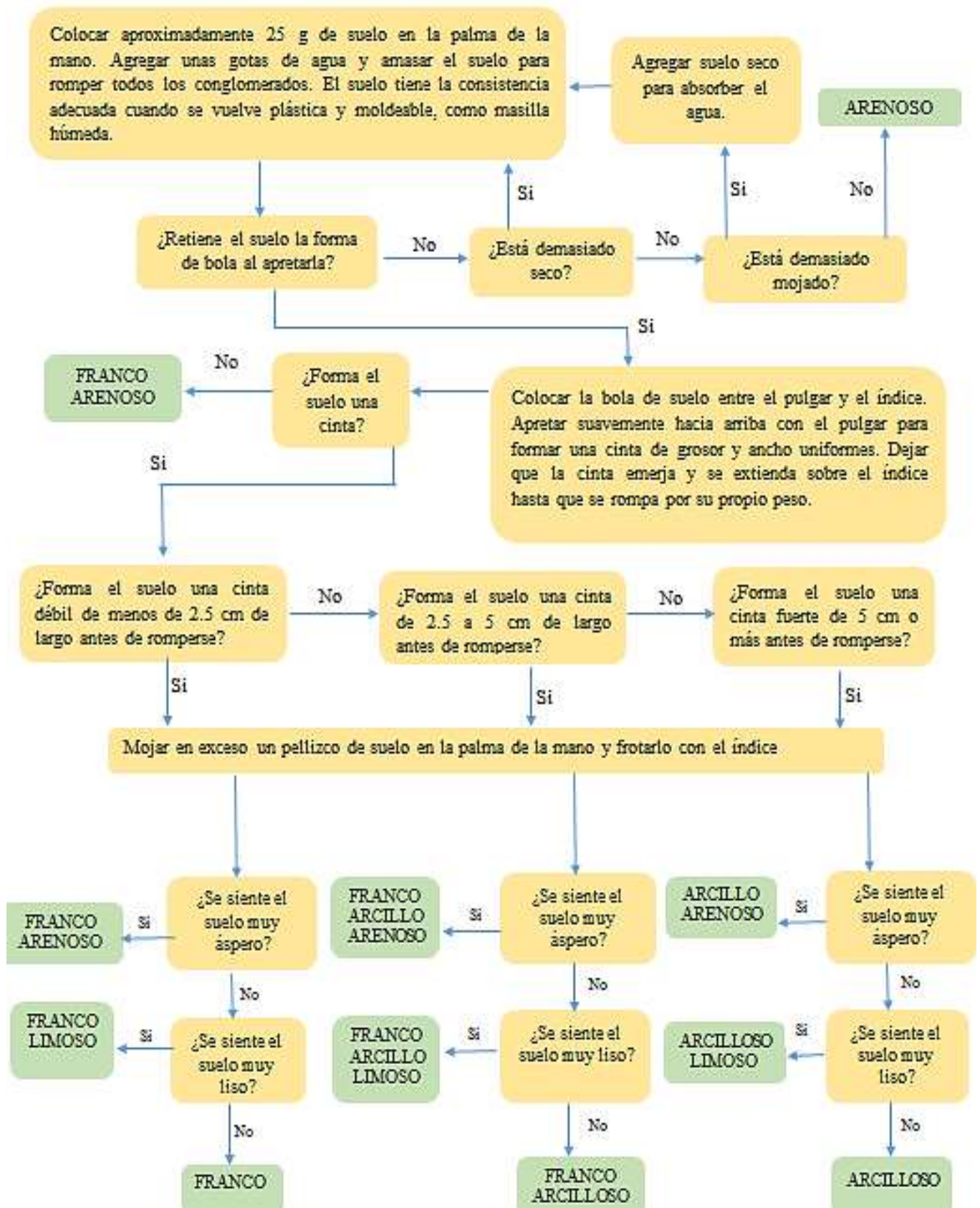


<b>Código</b>	<b>35C5</b>					
<b>Localización:</b>	Tutupali Alto - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>	705026-9666471	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3514	<b>PERFIL</b> 		
<b>Posición fisiografía</b>	Ladera media	<b>Pendiente:</b>	22%			
<b>Tipo de suelo</b>	Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula			
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>			B			
<b>Cobertura vegetal</b>	Pajonal conservado					
<b>Horizontes</b>						
<b>H</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Pres. piedras</b>	<b>Pres. raíces</b>	<b>Color</b>	<b>Estructura</b>	<b>Textura</b>
O	2					
Ah	44	Nula	Alta-delgadas	7,5YR 1,7/1	Bloque-Granular	Franco arcillosos
BR	38	Alta-pequeñas	Baja-delgadas	7,5YR 2/2	Bloque	Franco arcillosos

<b>Código</b>	<b>35C10</b>					
<b>Localización:</b>	Tutupali Alto - Cuenca – Azuay					
<b>Punto GPS:</b>	705103-9666582	<b>Altura (m s.m.n.):</b>	3486	<b>PERFIL</b> 		
<b>Posición fisiografía</b>	Ladera media	<b>Pendiente:</b>	22%			
<b>Tipo de suelo</b>	Andosol	<b>Erosión:</b>	Nula			
<b>Posición con respecto al paisaje (A/baja, B/media, C/alta):</b>			B			
<b>Cobertura vegetal</b>	Pajonal conservado y polylepis					
<b>Horizontes</b>						
<b>H</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Pres. piedras</b>	<b>Pres. raíces</b>	<b>Color</b>	<b>Estructura</b>	<b>Textura</b>
O	2					
Ah	43	Nula	Media-delgadas	10YR 1,7/1	Granular	Franco limoso
A	10	Baja-pequeñas a medianas	Baja-delgadas	10YR 2/2	Bloque-Granular	Franco
AC	17	Alta-pequeñas	Baja-delgadas	10YR 3/1	Bloque	Franco arcilloso



### Anexo 4. Diagrama para la determinación de la textura por el tacto



(Thien, 1979)





**Anexo 5. Ficha de ingreso de muestras de suelo al laboratorio.**

<b>INGRESO DE MUESTRAS</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Lugar (zona de estudio)</b>	<b>Código de campo</b>	<b>Horizonte (Profundidad)</b>	<b>Número de anillo</b>



## Anexo 6. Ficha de laboratorio para datos requeridos en la obtención de contenido de agua del suelo

CÓDIGO	pF	cm de columna (potencial en hPa) de agua	Peso (g)						V = Volumen del núcleo del anillo =...cm <sup>3</sup>		
			Peso húmedo (anillo de la muestra, telas, elásticos) <b>A</b>	Peso seco (anillo de la Muestra) <b>B</b>	Peso (anillo) <b>C1</b>	Peso (tela + elástico) <b>C2</b>	Peso de agua en el suelo $D = A - C2 - B$ ( <b>D = A - B</b> )	Peso de suelo seco <b>E = B - C1</b>	Contenido gravimétrico de agua <b>W = D/E</b>	Densidad aparente <b>P = E/V</b>	Contenido de volumen de agua <b>θ = W * da</b>



## Anexo 7. Ficha de campo para lecturas de pruebas de pozo invertido

**DATOS DE CAMPO**

Responsables:			
Fecha:	Posición-Paisaje (A/baja, B/media, C/alta):	CODIGO MUESTRA	
Punto GPS:	Prueba #:	NUMERO DE FOTOGRAFIA	
Localización (Sector):	Cobertura/Usos del suelo:	PROFUNDIDAD-PRUEBA	
Número de fotografía:	Tipo de suelo/horizonte:	# ANILLOS KOPECKY	
Horizonte:	Pendiente:		
Profundidad del horizonte:	Erosión/tipo:		
Color:	Presencia de raíces:		
Textura:	Presencia de piedras:		
Estructura:	Posición fisiográfica:		

Tiempo		Pozo 1 (niv.ref.)	Pozo 2 (niv.ref.)	Pozo 3 (niv.ref.)	Observaciones		GRAFICO PERFIL
(hora)	(min)	Lectura (cm) pozo 1	$\Delta h$	Lectura (cm) pozo 2	$\Delta h$	Lectura (cm) pozo 3	



**Anexo 8. Pruebas de normalidad**

VARIABLE	Valor r	Shapiro-Wilks (valores p)	
ksat	0,955	0,001	NN
DA	0,980	0,018	NN
pF 0	0,995	0,2639	N
pF 0.5	0,993	0,2396	N
pF 1.5	0,990	0,1349	N
pF 2.52	0,979	0,036	NN
pF 3.4	0,958	0,0231	NN
pF 4.2	0,947	0,0050	NN

a. Valores p de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks y de r de las propiedades hidrofísicas del suelo bajo cobertura de pino y pajonal

VARIABLE	Valor r	Shapiro-Wilks (valores p)	
Hojarasca	0,96	0,16	N

b. Valores p de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks y de r de las propiedades hidrofísicas del suelo bajo cobertura de pino y pajonal

N: Dato normal  
 NN: Dato no normal  
 r: Valor cercano a 1= Normal

**Anexo 9. Correlaciones de Pearson de las propiedades hidrofísicas del suelo**

a. 3500 m s.n.m. - Pajonal

	Ksat	Densidad	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.52	pF 3.4	pF 4.2
Ksat	1							
Densidad	-0,39 <sup>NS</sup>	1						
pF 0	0,38 <sup>NS</sup>	-0,66 <sup>*</sup>	1					
pF 0.5	0,38 <sup>NS</sup>	-0,68 <sup>*</sup>	1,00 <sup>***</sup>	1				
pF 1.5	0,39 <sup>NS</sup>	-0,53 <sup>NS</sup>	0,96 <sup>***</sup>	0,96 <sup>***</sup>	1			
pF 2.52	0,32 <sup>NS</sup>	-0,48 <sup>NS</sup>	0,93 <sup>***</sup>	0,93 <sup>***</sup>	0,94 <sup>***</sup>	1		
pF 3.4	0,29 <sup>NS</sup>	-0,24 <sup>NS</sup>	0,62 <sup>NS</sup>	0,62 <sup>NS</sup>	0,66 <sup>*</sup>	0,83 <sup>**</sup>	1	
pF 4.2	-0,15 <sup>NS</sup>	-0,37 <sup>NS</sup>	0,40 <sup>NS</sup>	0,40 <sup>NS</sup>	0,28 <sup>NS</sup>	0,30 <sup>NS</sup>	-0,08 <sup>NS</sup>	1

Ns > p 0,05; \* p 0,05 - 0,01; \*\* p < 0,01 - 0,001; \*\*\* < 0,001



**b. 3500 m s.n.m. - Pino**

	Ksat	Densidad	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.52	pF 3.4	pF 4.2
<b>Ksat</b>	1							
<b>Densidad</b>	0,78 **	1						
<b>pF 0</b>	-0,85 **	-0,89 **	1					
<b>pF 0.5</b>	-0,82 **	-0,87 **	1,00 ***	1				
<b>pF 1.5</b>	-0,85 **	-0,83 **	0,98 ***	0,98 ***	1			
<b>pF 2.52</b>	-0,84 **	-0,80 **	0,95 ***	0,94 ***	0,98 ***	1		
<b>pF 3.4</b>	0,22 NS	-0,91***	0,90 ***	0,91 ***	0,86 **	0,83 **	1	
<b>pF 4.2</b>	0,20 NS	-0,76 *	0,71 *	0,71 *	0,64 *	0,59 NS	0,72 *	1

Ns > p 0,05; \* p 0,05 - 0,01; \*\* p < 0,01 - 0,001; \*\*\* p < 0,001

**c. 3700 m s.n.m. - Pajonal**

	Ksat	Densidad	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.52	pF 3.4	pF 4.2
<b>Ksat</b>	1							
<b>Densidad</b>	-0,07 NS	1						
<b>pF 0</b>	0,06 NS	-0,97 ***	1					
<b>pF 0.5</b>	0,06 NS	-0,97 ***	1,00 ***	1				
<b>pF 1.5</b>	-0,05 NS	-0,94 ***	0,98 ***	0,98 ***	1			
<b>pF 2.52</b>	-0,02 NS	-0,85 **	0,91 ***	0,90 ***	0,91 ***	1		
<b>pF 3.4</b>	-0,41 NS	-0,34 NS	0,58 NS	0,59 NS	0,62 NS	0,71 *	1	
<b>pF 4.2</b>	-0,34 NS	-0,52 NS	0,61 NS	0,62 NS	0,58 NS	0,62 NS	0,79 **	1

Ns > p 0,05; \* p 0,05 - 0,01; \*\* p < 0,01 - 0,001; \*\*\* < 0,001

**d. 3700 m s.n.m. - Pino**

	Ksat	Densidad	pF 0	pF 0.5	pF 1.5	pF 2.52	pF 3.4	pF 4.2
<b>Ksat</b>	1							
<b>Densidad</b>	-0,35 NS	1						
<b>pF 0</b>	0,26 NS	-0,89 ***	1					
<b>pF 0.5</b>	0,23 NS	-0,89 ***	1,00 ***	1				
<b>pF 1.5</b>	0,09 NS	-0,82 **	0,97 ***	0,98 ***	1			
<b>pF 2.52</b>	-0,16 NS	-0,68 *	0,87 **	0,88 ***	0,93 ***	1		
<b>pF 3.4</b>	-0,14 NS	-0,55 NS	0,77 **	0,79 **	0,85 **	0,93 ***	1	
<b>pF 4.2</b>	0,09 NS	-0,62 NS	0,78 **	0,79 **	0,82 **	0,79 **	0,92 ***	1

Ns > p 0,05; \* p 0,05 - 0,01; \*\* p < 0,01 - 0,001; \*\*\* < 0,001