

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Evaluación de la conductividad hidráulica saturada y su relación con variables físicas del suelo en cuatro coberturas vegetales del bosque Sunsun-Yanasacha


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

Autor:

Yessica Fabiola Rosales Cedeño

Tutor:

Pablo Marcelo Borja Ramón

ORCID:  0000-0002-9852-101X

Cuenca, Ecuador

2024-04-12

Resumen

En el área del bosque de Sunsun-Yanasacha, los suelos presentan cambios en su uso que han ocasionado un deterioro, causado por el crecimiento de áreas urbanas, la expansión de fronteras agrícolas, actividades recreativas, entre otras. Mediante la evaluación de la conductividad hidráulica saturada, la cual es un parámetro hidrológico, es posible obtener información acerca del deterioro de los suelos de páramos. El objetivo del estudio, fue la evaluación del cambio en la conductividad hidráulica saturada y su relación con variables físicas del suelo (textura, densidad aparente y materia orgánica), bajo cuatro tipos de cobertura vegetal: bosque natural (BN), bosque de pino (BP), pajonal (PA) y pasto (PO). Los resultados mostraron diferencias significativas entre coberturas ($p = 0,003$). En bosque de pino (BP) fue de $1,65 \pm 0,86$ cm/h, en la cobertura de pasto (PO) $1,24 \pm 0,68$ cm/h, en bosque natural (BN) $0,95 \pm 0,85$ cm/h, y pajonal (PA) $0,92 \pm 0,49$ cm/h que presentaron los valores más bajos. Con respecto a la relación con las variables físicas la K_s presentó una baja correlación.

Palabras clave: cobertura vegetal, páramo, propiedades físicas, suelo



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

In the Sunsun-Yanasacha forest area, soil use changes have led to soil deterioration caused by the growth of urban areas, the expansion of agricultural frontiers, recreational activities, among others. Through the evaluation of saturated hydraulic conductivity, which is a hydrological parameter, it is possible to obtain information about the deterioration of moorland soils. The objective of the study was to evaluate the change in saturated hydraulic conductivity (K_s) and to analyze the relationship with the physical properties of the soil (soil texture, soil bulk density and organic matter), in the four vegetation covers: natural forest (BN), pine forest (BP), bush grass (PA) and pasture (PO). The results showed significant differences between vegetation cover ($p=0,003$). In the pine forest (BP) it was $1,65 \pm 0,86$ cm/h, then the pasture (PO) $1,24 \pm 0,68$ cm/h, in the natural forest (BN) $0,95 \pm 0,85$ cm/h, and bush grass (PA) $0,92 \pm 0,49$ cm/h represented the lowest values. The relationship with the physical properties of the soil did not show a correlation, even so, the information was compared with other akin studies that indicate a certain similarity with what was obtained in this study. With respect to the relationship with the physical variables, the K_s presented a low correlation and its relationship was not linear.

Keywords: vegetation covers, páramo, physical properties, soil



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Resumen	2
Abstract.....	3
Índice de contenido.....	4
Índice de figuras.....	6
Índice de tablas.....	7
Abreviaturas.....	8
1. Introducción.....	11
2. El problema.....	12
3. Justificación.....	13
4. Objetivos.....	14
4.1. Objetivo General.....	14
4.2. Objetivos Específicos.....	14
5. Fundamentos.....	15
5.1. Fundamentación social.....	15
5.2. Fundamentación Legal.....	15
5.3. Fundamentación teórica.....	15
5.3.1. Conductividad hidráulica saturada K_s	15
5.3.2. Ley de Darcy.....	16
5.3.3. Métodos de laboratorio y de campo empleados para determinar la conductividad hidráulica saturada K_s	16
5.3.4. Cobertura Vegetal del Bosque Sunsun-Yanasacha.....	17
5.3.5. Tipos de suelos predominantes en páramos.....	18
5.3.6. Propiedades físicas del suelo.....	18
6. Metodología.....	21
6.1. Zona de estudio.....	21
6.2. Materiales.....	22
6.3. Diseño del proyecto.....	22
6.4. Metodología del tercer objetivo específico:.....	24
7. Resultados.....	26
7.1. Conductividad hidráulica saturada del suelo bajo cuatro tipos de cobertura vegetal. 26	
7.2. Caracterización de las variables físicas del suelo.....	26
8. Discusión.....	30

8.1. Comportamiento de la conductividad hidráulica saturada en las diferentes coberturas vegetales.	30
8.2. Relación de la conductividad hidráulica saturada K_s con las propiedades físicas del suelo. 31	
9. Conclusiones	33
Referencias.....	34
10. Anexos	37
10.1. Anexo A: Gráfico de dispersión de la K_s de las coberturas vegetal.....	37
10.2. Anexo B: Prueba de no paramétrica con el test Kruskal - Wallis.....	39
10.3. Anexo C: Histogramas de cada una de las coberturas vegetal	39
10.4. Anexo D: Ficha técnica utilizada para la toma de datos de la K_s	44
10.5. Anexo E: Toma de datos de la K_s en las diferentes coberturas vegetal	45
10.6. Anexo F: Determinación de las propiedades físicas en laboratorio de suelos....	48

Índice de figuras

Figura 1. Zona de estudio de las cuatro coberturas vegetales, bosque natural (BN), bosque de pino (BP), pajonal (PA) y pasto (PO). ubicadas en el bosque de Sunsun-Yanasacha....	21
Figura 2. Distribución de las tres repeticiones dentro de la parcela.....	23
Figura 3. Diagrama de la prueba de pozo invertido.....	24
Figura 4. Gráfico de barras de los valores promedios de la K_s para las coberturas de bosque natural (BN), Bosque de Pino (BP), Pasto (PO) y la cobertura Pajonal (PA).....	28
Figura 5. Gráfico de dispersión de la K_s en la cobertura bosque natural (BN).....	37
Figura 6. Gráfico de dispersión de la K_s en la cobertura bosque pino (BP).....	37
Figura 7. Gráfico de dispersión de la K_s en la cobertura pajonal (PA).....	38
Figura 8. Gráfico de dispersión de la K_s en la cobertura pasto (PO).....	38
Figura 9. Histograma de frecuencia de la K_s (cm/h).....	39
Figura 10. Histograma de frecuencia para la cobertura bosque natural (BN).....	40
Figura 11. Histograma de frecuencia para la cobertura bosque de pino (BP).....	40
Figura 12. Histograma de frecuencia para la cobertura pajonal (PA).....	41
Figura 13. Histograma de frecuencia para la cobertura pasto (PO).....	41
Figura 14. Gráfico de barras de los valores promedios de arcilla, limo y arena (%) en cada una de las coberturas.....	42
Figura 15. Gráfico de barras de los valores promedios de MO (%) en cada una de las coberturas.....	43
Figura 16. Gráfico de barras de los valores promedios de densidad aparente (g/cm ³) en cada una de las coberturas.....	43
Figura 17. Ficha técnica para la toma de datos de la K_s para cada cobertura.....	44
Figura 18. Toma de datos cobertura bosque de pino (BP).....	45
Figura 19. Toma de datos cobertura pajonal (PA).....	46
Figura 20. Toma de datos cobertura pasto (PO).....	47
Figura 21. Cobertura bosque natural (BN).....	48
Figura 22. Muestras para determinar densidad aparente (Da).....	48
Figura 23. Muestras para determinar densidad aparente (Da).....	49
Figura 24. Muestras para determinar la materia orgánica (MO).....	49
Figura 25. Procesado de arenas en el suelo para determinar su porcentaje.....	50
Figura 26. Preparación de la muestra para determinar el porcentaje de los agregados limo y arcilla.....	50
Figura 27. Toma de lectura de muestras para determinar la textura mediante el método de Bouyoucos.....	51

Índice de tablas

Tabla 1. Herramientas, materiales y reactivos para la toma de datos	22
Tabla 2. Valores de probabilidad de una prueba estadística de normalidad con el test de Shapiro – Wilks	26
Tabla 3. Valores de homogeneidad con el test de Bartlett.....	26
Tabla 4. Porcentaje limo, arcilla, arena y clase textural de suelo en cada una de coberturas	27
Tabla 5. Valores promedios de materia orgánica (MO %) de cada cobertura vegetal	27
Tabla 6. Valores promedios densidad aparente (g/cm ³) de cada cobertura vegetal.....	27
Tabla 7. Valores promedios de K _s (cm/h), desviación estándar (DE), mediana, máximos, mínimos y coeficiente de variación (CV), en cada una de las coberturas vegetales	28
Tabla 8. Prueba no paramétrica mediante el test Kruskal – Wallis para diferentes coberturas	29
Tabla 9. Coeficiente de correlación de Spearman con la K _s con respecto a las variables físicas: Materia orgánica (MO), Densidad aparente (Da), Arcilla, Limo y Arena	29
Tabla 10. Prueba no paramétrica con el test Kruskal - Wallis, evidenciado diferencias en las coberturas.....	39

Abreviaturas

BN: Cobertura de Bosque natural

BP: Cobertura de Bosque de pino

Da: Densidad aparente

DE: Desviación estándar

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

K_s: Conductividad hidráulica saturada

MO: Materia orgánica

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

PA: Cobertura de Pajonal

PO: Cobertura de Pasto

SIGTIERRAS: Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica

Agradecimientos

El principal agradecimiento ante este viaje es a Dios por haber sido mi sistema de valores importante en vida y en dar este enorme paso a una formación profesional, iluminado y brindando su fortaleza para así lograr alcanzar esta meta. A mis hermanos Edison y Gustavo por su comprensión y estímulo contante y su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios profesionales.

Debo agradecer de manera especial y sincera a mi tutor Ing. Pablo Borja Ramón por aceptarme en realizar esta tesis, como formación a mi proceso de titulación como ingeniera agrónoma, además destacar su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad en brindarme su guía en el camino de la enseñanza e impartirme sus concommitos y adquirir un verdadero aprendizaje significativo.

Quiero también expresar mis más sinceros agradecimientos a la Ing. Michelle Cherez por su aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Debo estacar su disponibilidad, paciencia y sobre todo facilitarme los medios suficientes llevar a cabo todas las actividades propuesta durante el desarrollo de mi tesis.

Dedicatoria

Mi tesis la dedico con todo amor y cariño a mi confidente, mi querida madre Arcelia Cedeño Gómez por permitir brindar su fe y por creer en mis capacidades, también por esparcirme sus valores, por protegerme y guiarme a lo largo de mi vida. Además, destacar su apoyo, sus sacrificios, esfuerzo y sobre todo su amor incondicional.

A mi tesoro más grande e importante de mi vida, mi querido hermano Carlos Juca Cedeño a quien ha sido mi mayor apoyo para nunca rendirme en mis estudios profesional. Y también a mi mascota luna por ser mi fiel acompañante en mis noches de desvelos.

1. Introducción

Los ecosistemas de montaña son áreas que aportan diversos beneficios a nivel socioeconómico y ambiental, tales como la captura y el almacenamiento del carbono, la conservación, el sostenimiento de la biodiversidad y el aporte de sus fuentes hídricas, mediante el suministro de agua a los centros poblados aledaños, además de otros beneficios (Cárdenas, 2014). Un ejemplo de estos ecosistemas es el bosque protector Sunsun-Yanasacha, que está ubicado entre la parroquia de Baños y Tarqui, perteneciente al cantón Cuenca de la provincia del Azuay. Esta área posee una extensión de 3850 ha y, de acuerdo con el uso potencial del suelo, dentro de este territorio existe bosque degradado y matorral en unas 1610 ha (42%); bosque natural en 373 ha (9%); y pasto natural, en una superficie de 242 ha (7%); y, el páramo alrededor de 1625 ha (42%) (MAG, 1983). Esta zona de páramos y bosques húmedos son ecosistemas de gran riqueza ecológica y tiene un valor científico y ecológico por su flora endémica y su paisaje único (Alomía, 2005).

Pero el crecimiento desordenado de las áreas urbanas, el progreso de las actividades agropecuarias, las plantaciones de pino y el turismo, son unas de las principales causas que podrían alterar significativamente la conducta hidrológica del páramo, y de tal manera limitar la función de suministro de agua (Buytaert et al., 2006). Específicamente, el cambio de uso de suelo ocasiona alteraciones en las propiedades hidrofísicas y en la estructura del mismo (Dorner et al., 2009). Dichas causas desatan una serie de procesos que están intensificando su degradación con el correr del tiempo, es así que mediante variables como la conductividad hidráulica que evalúa la velocidad el agua en el suelo, se podría interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo y su funcionamiento (Aoki et al., 2013).

De esta manera el presente proyecto técnico está enfocado en evaluar el efecto del cambio de uso de suelo en la conductividad hidráulica saturada y su relación con variables físicas del suelo en cuatro tipos de cobertura: bosque natural (BN), bosque de pinos (BP), pajonal (PA) y pasto (PO), en el bosque Sunsun-Yanasacha.

2. El problema

La intensificación del uso de la tierra ha provocado cambios que llegan a causar una alteración en el suelo, ocasionando degradación, fragmentación y pérdida progresiva de los diferentes ecosistemas (Dorner et al., 2009). El área de Bosque Sunsun-Yanasacha, está considerada como una zona de recarga hídrica, que provee una gran cantidad de agua a los centros poblados andinos (Pinos, 2022), es así que, mediante un acuerdo ministerial se la ha categorizado como una zona de conservación y protección, evitando toda explotación maderable de los bosques, actividades con enfoque recreativo y la expansión de áreas urbanas y rurales (actividades agrícolas y ganaderas) (MAG, 1983). Sin embargo, esta zona de páramo ha venido siendo intervenida, sustituyendo estas áreas naturales por áreas productivas, las cuales estarían influyendo de manera significativa en las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo, por ello, mediante el análisis de la conductividad hidráulica que constituye una propiedad de gran importancia en la descripción de la infiltración del agua y que está estrechamente ligada a otras características físicas del suelo (Bermejo et al., 2021), podremos explicar la influencia de estos cambios de uso de suelo en esta área, mediante su estudio en diferentes tipos de cobertura, pudiendo llegar a una interpretación más acertada acerca de la importancia de mantener protegidos estos ecosistemas (Aoki et al., 2013).

3. Justificación

El bosque Sunsun-Yanasacha, se caracteriza por ser una zona integrada de bosques húmedos, páramos, que constituyen una fuente de recarga hídrica y poseen una alta diversidad ecológica. Por ende, estas características aportan diversos servicios, a lo social y a lo ambiental (Pinos, 2022). Cerca de estas áreas existen actividades diversas, entre las más destacadas tenemos aquellas relacionadas con la producción agropecuaria y la tala de árboles, dichas actividades que cada vez se intensifican más, provocan un cambio en el suelo (Bermejo et al., 2021).

Una de las herramientas que se utilizan para analizar la calidad del suelo es el empleo de modelos físicos, los cuales se centran en señalar la interacción entre el suelo, las plantas y el agua. De esta manera, se puede definir cómo cambian las propiedades físicas del suelo como resultado de su uso (Pérez y Muñoz, 2016). Para determinar estos cambios, evaluaremos la conductividad hidráulica saturada (K_s). Esta variable nos permitirá medir la velocidad del movimiento del agua en el suelo, especialmente en condiciones de saturación, ya que esta propiedad depende en gran medida de factores como la porosidad, textura, densidad aparente, contenido de materia orgánica, estructura, entre otros. Esto nos permitirá estimar el grado de alteración causado por el tipo de uso del suelo (Larrea, 2022).

Por lo tanto, proponemos evaluar la conductividad hidráulica saturada (K_s) para obtener datos reales sobre los cambios en las propiedades físicas del suelo, como la densidad aparente y la textura, y su relación con esta variable. La estimación de esta variable se llevará a cabo utilizando el método del pozo invertido (Polo et al., 2003), que los implementaremos en cuatro tipos de cobertura: bosque natural (BN), bosque de pino (BP), pajonal (PA) y pasto (PO). Una vez recopilada la información, determinaremos la K_s para cada tipo de cobertura vegetal.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

- Evaluación del cambio en la conductividad hidráulica saturada y su relación con variables físicas del suelo bajo cuatro tipos de cobertura vegetal del bosque Sunsun-Yanasacha.

4.2. Objetivos Específicos

- Estimar la conductividad hidráulica saturada del suelo bajo cuatro tipos de cobertura vegetal.
- Evaluar el efecto del cambio del uso del suelo (cuatro tipos de cobertura) en la conductividad hidráulica saturada K_s del mismo.
- Comparar la conductividad hidráulica saturada K_s con variables físicas del suelo en los cuatro tipos de cobertura.

5. Fundamentos

5.1. Fundamentación social

El bosque Sunsun-Yanasacha situado al sureste de la ciudad de Cuenca, en la parroquia de Baños, está categorizado en Ecuador como bosque de conservación y protección de la flora y fauna. Esta zona de recarga hídrica, desde un contexto socio-económico, provee diversos recursos ambientales a la sociedad, tales como la regulación y provisión de agua, subsistencia de la biodiversidad, captura y almacenamiento de carbono (Cárdenas, 2014). El funcionamiento hídrico de este bosque juega un papel considerable en el aprovisionamiento de las centrales de abastecimiento de este vital líquido. Sin embargo, tal funcionamiento hidrológico, se ve cada vez más complicado debido a una utilización inconveniente de esas tierras (Podwojewski, 2000). En los últimos años las actividades productivas con fines agrícolas, el crecimiento de las áreas urbanas, la intensificación de prácticas de deportes extremos, entre otras, han causado un deterioro en las condiciones de sus suelos, llegando a considerar que toda la riqueza que este ecosistema proveía está siendo cada vez más deteriorada (Pinos, 2022). Estos ecosistemas con páramos son zonas frágiles que merecen ser estudiados y conservados a través del fomento de un desarrollo económico y sostenible, también ser vistos desde una perspectiva sociocultural y ecológica, para de esta manera prestar apoyo a proyectos de investigación que sean continuos (Torres, 2015).

5.2. Fundamentación Legal

Según el acuerdo ministerial 206 (MAG, 1983), se considera a la zona de los bosques Sunsun-Yanasacha, zona de conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, incluyendo áreas de bosques y vegetación, determinadas y delimitadas, como zonas de conservación y de protección como parte de áreas colectoras de agua en la cuenca hidrográfica influyente, evitando la explotación indiscriminada de la cubierta vegetal natural existente y la consecuente degradación del suelo, procurando con ello el mantenimiento del equilibrio ecológico, la regulación de otros factores ambientales, y de la vida silvestre existente en la zona. Pese a este acuerdo de conservación, existe aún actividades agropecuarias en la zona.

5.3. Fundamentación teórica

5.3.1. Conductividad hidráulica saturada K_s

La conductividad hidráulica saturada conocida como K_s , del suelo es una propiedad importante en los medios porosos y en los procesos de infiltración y redistribución de agua en el suelo (Aoki et al., 2013). La conductividad hidráulica es la movilidad del agua dentro del suelo y depende del grado de saturación y la naturaleza de este (Reynolds, et al.,

2002). Una baja K_s puede contribuir a una erosión, aumentando las aguas de escorrentía por una disminución de la permeabilidad de los suelos. La evaluación de esta propiedad hidrofísica es esencial, ya que mediante su medición permitiría solucionar problemas de irrigación, drenaje, recarga y conservación del suelo (Pérez y García, 2014). El estudio de la conductividad hidráulica es fundamental para comprender las interacciones que confluyen en el ciclo hidrológico y la relación agua - suelo - planta y sus afectaciones por las alteraciones que han sufrido los ecosistemas estratégicos como parte de la conservación del recurso hídrico por el cambio de coberturas vegetales (Bermejo et al., 2021).

5.3.2. Ley de Darcy

Es una ecuación propuesta por Darcy en 1856, en la que se describe el movimiento del agua en el suelo. Se aplica esta ecuación usualmente en el flujo de fluidos en el subsuelo, recuperación mejorada de petróleo, entre muchas otras (Valdes, 2020). Darcy descubrió que la tasa o la velocidad por la que el agua fluye mediante de un medio poroso, es directamente proporcional a la diferencia de altura entre los dos extremos del lecho filtrante, e contrariamente proporcional a la longitud del lecho (Sánchez, 2014).

5.3.3. Métodos de laboratorio y de campo empleados para determinar la conductividad hidráulica saturada K_s

Para determinar la K_s en función de la porosidad y la humedad de los suelos existen varios métodos, esto se puede llevar a cabo ya sea en laboratorio o en campo. Los métodos utilizados en laboratorio son: 1) Método de carga constante de agua, este es un método de permeabilidad que consiste en ir midiendo el tiempo que tarda en pasar un volumen determinado de agua a través de una columna, manteniendo una carga constante de agua sobre la muestra. 2) Método de la carga variable de agua, dicho método es similar al de la carga constante de agua, sin embargo, en lugar de mantener una carga constante sobre la superficie de la muestra de suelo a este no se le agrega más agua y al momento de cambiar el nivel de la carga se observa como el agua percola (Aguilar, 2014).

Los métodos de campo que permiten medir la conductividad hidráulica saturada K_s , son técnicas cuyos datos son un poco más realistas. Fundamentalmente la metodología se basa en excavación de pozos superficiales (Larrea, 2022). Algunos de estos métodos miden la conductividad hidráulica en condiciones de saturación, y son: 1) Infiltrómetros de doble anillo, este método consiste en la estructura de dos cilindros separados, permite medir la disminución de la altura de agua almacenada en un recipiente cilíndrico, clavado en la superficie del suelo, durante intervalos de tiempo (Reynolds, et al., 2002). 2) Método

del piezómetro, su metodología es realizar una barrenación en el terreno, que posteriormente se entuba, excepto una pequeña cavidad en el extremo inferior. La velocidad de entrada del agua da una medida de K_s que la rodea. 3) Prueba de pozo, que consiste en realizar una excavación en el suelo con la ayuda de un barreno a una profundidad mayor a la del nivel freático, extraer agua sub-superficial y medir la recuperación del nivel freático (Larrea, 2022). 4) Pozo Invertido, es un pozo abierto por encima de nivel freático, este método se basa en verter agua hasta cierto nivel y se mide la velocidad de descenso de dicho nivel (Coello, 2005). La implementación es sencilla, este consiste en realizar una excavación en la superficie del suelo simulando un pozo, a este se le vierte agua y a medida que va descendiendo el agua en el pozo se van tomando lecturas hasta obtener una medida constante consecutiva (Gabriels et al., 2022). Varios de estos métodos son implementados para determinar valores de K_s aplicando una ecuación de continuidad, la ley de Darcy (Coello, 2005).

5.3.4. Cobertura Vegetal del Bosque Sunsun-Yanasacha

El bosque de Sunsun-Yanasacha tiene una extensión de alrededor de 3850 ha, esta zona se caracteriza por ser un ecosistema frágil debido a que contiene una alta gama de diversidad en su flora y fauna, algunas especies de la vegetación predominante son endémicas, por lo que constituye un área de importancia para la conservación de diversidad biológica, captura de carbono y regulación del ciclo hidrológico, también aporta materia orgánica principalmente en zonas boscosas (Cárdenas, 2014). Los tipos de cobertura predominante en el área del bosque Sunsun-Yanasacha son: el bosque natural, bosque de pino, pajonal y pasto. Estas coberturas vegetales son de real importancia ya que su función es mantener un equilibrio hidrológico y ambiental, conservación del suelo, la flora y la fauna (Lozano, 2015). El bosque natural, se caracteriza por tener suelos de páramos de origen de volcánico, alto contenido de materia orgánica, alta biodiversidad y baja densidad aparente. El pajonal, posee suelos que son muy susceptibles a las alteraciones, a pesar de esta característica estos llegan a disponer un alto contenido de materia orgánica y una alta capacidad para retener agua (Cerón y García, 2009). El bosque de pino de uso maderable, posee alto contenido de material orgánico, baja biodiversidad, sus suelos son susceptibles a la degradación y propensos a adsorber mayor cantidad de radiación solar (Mancheno, 2011). En la cobertura de pasto, los suelos poseen un bajo contenido de materia orgánica, son susceptibles ante las alteraciones y se distingue una disminución en su biodiversidad. Esta cobertura se desarrolla por consecuencia de la expansión agrícola y el cambio de cobertura, de áreas boscosas o de pajonal a cultivos de pasto de producción agropecuaria. Además, ante la ausencia de

medidas de conservación estas áreas se vuelven más susceptibles a disminuir su permeabilidad, provocando que el nivel de escorrentía superficial aumente y esto a su vez podría provocar erosión (Podwojewski 2000).

5.3.5. Tipos de suelos predominantes en páramos

Las características principales en los suelos de páramos son la capacidad que tienen de almacenar agua (al actuar como una esponja que absorbe el agua proveniente de la lluvia), y carbono. Una parte de estos suelos se formaron a partir de roca y ceniza volcánica y otra mediante la meteorización de la roca y por la acción de varios factores de formación (clima, vegetación, microorganismos, relieve y tiempo) (Llambí et al., 2012). Los suelos de páramos se caracterizan por ser poco profundos, con mayor contenido de arcilla y menor contenido en arena. En el bosque Sunsun-Yanasacha predominan diferentes tipos de suelos, tales como: Umbrisoles húmicos, que son suelos de color oscuro, se desarrollan principalmente sobre materiales de alteración de rocas silíceas, predominantemente en depósitos del Pleistoceno y Holoceno. Se los encuentra predominando en regiones de climas fríos y con mucha humedad sobre todo en regiones montañosas con poco o ningún déficit hídrico (SIGTIERRAS, 2017). Los Andosoles son suelos con tendencia a rejuvenecimiento frecuente, con tonalidad oscura, se desarrollan a partir de depósitos volcánicos (ceniza volcánica, piedra pómez y lava), presenta baja densidad aparente ($< 0,90 \text{ g/cm}^3$), la textura es más fina tendiendo a limosa, buen drenaje y buena retención de humedad. Predominan en relieves de las vertientes externas de la cordillera occidental (SIGTIERRAS, 2017). Cambisols son suelos que se han desarrollado sobre diferentes tipos de sustrato son muy variables entre ellos destacan los depósitos de carácter eólico, aluvial o coluvial, aunque presentan siempre horizontes diferenciados. Su color es intenso, esto es por la acumulación de arcillas y óxidos de hierro, en condiciones favorables de humedad y de aportes de materia orgánica. Comúnmente en zonas forestales se encuentra la combinación de Andosol, Histosol, Cambisol y Umbrisol (SIGTIERRAS, 2017).

5.3.6. Propiedades físicas del suelo

5.3.6.1. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo se determina como la relación entre la masa de suelo por unidad de volumen (Rucks et al., 2004). Es una propiedad física que se utiliza para la determinación de la relación del suelo y el agua (Rojas y Peña 2012). Los suelos de páramo tienen una densidad aparente baja, esto debido al alto contenido orgánico, la cual confiere al suelo alta porosidad. Existe alteraciones en la densidad aparente cuando el suelo está constantemente expuesto a diversas actividades, tales como: actividades de

entretenimiento como deportes extremos y/o actividades agrícolas con fines ganaderos, en la cual la alimentación y el pisoteo continuo del ganado, llega a causar alteraciones en el suelo, llegando a ocasionar cambios en sus propiedades hidrofóbicas (Alomía, 2005).

La densidad aparente se puede relacionar con otras características del suelo y también con parámetros biológicos (Salamanca y Sadeghian, 2005). El método más utilizado para determinar la densidad aparente es el método del cilindro, su valor suele variar de acuerdo el tamaño del cilindro (Rojas y Peña 2012). Es la relación del peso seco de una muestra de suelo (secado a 105°C) y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo (Rucks et al., 2004).

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m= peso de suelo seco (g)
V= volumen del cilindro cm³

5.3.6.2. Textura

La textura del suelo es un elemento que establece y define las propiedades a largo plazo, generada por la destrucción de los agregados, categorizados por su tamaño en fracciones granulométricas como la arena, el limo y la arcillas (Sandoval *et al.*, 2008). La textura está definida específicamente a la distribución porcentual de las partículas individuales de los suelos según su tamaño, esta propiedad física es muy importante en el suelo por su estabilidad y además influye sobre otras propiedades, es por este motivo que es imprescindible en el análisis del suelo y su valoración económica (Villaseñor, 2016). Cuando un suelo tiene una buena textura, este proporciona los elementos que brinda un soporte que favorece la fijación del sistema radicular de las plantas y también su nutrición (Rucks et al., 2004). El tipo de textura para suelos de páramos mayormente es de tipo franco arcilloso cuyo porcentaje de arena es relativamente bajo (Daza et al., 2014). Para conocer el tipo de textura de un suelo se pueden aplicar métodos de campo o de laboratorio, para este estudio se optará por aplicar un método conocido como “Método de Bouyoucos” (Villaseñor, 2016). Este método consiste determinar el porcentaje de limo, arcillas y arena de una muestra de suelo mediante la utilización de un hidrómetro “especialmente calibrado”. La calibración especial pretende que las partículas sedimenten, y este a su vez cambia “su línea de flotación” (Maldonado, 2016).

5.3.6.3. Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en el suelo, es relativamente importante para el mantenimiento y mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas, entre sus beneficios esta favorecer el almacenaje y suministración de nutrientes para las plantas

(macro y micronutrientes), incrementar la capacidad de intercambio catiónico, aumentar la friabilidad del suelo por el cual permite con facilidad la penetración de las raíces y estabilizar la acidez del suelo. También aporta energía y es fuente de carbono en la que beneficia a la fauna que existe en el suelo, cuyo aporte es reciclar los nutrientes, y reducir los efectos ambientales negativos de los agroquímicos, metales pesados y otros contaminantes (Maldonado, 2016). Dentro de las propiedades físicas ayuda a minimizar la compactación del suelo, mejorar la dinámica del agua y del aire en el suelo mediante el incremento de la porosidad y, la capacidad de retención de agua. Además, favorece la infiltración de agua, reduce el escurrimiento y evita la sequía. La intervención en el sistema del suelo con fines de producción puede ocasionar reducción gradual de su biota y esto provocaría que su aporte disminuyera de apoco (Ferreira, 2009). Para determinar la materia orgánica se utilizó el método de calcinación, que consiste en secar una muestra húmeda extraída en campo, en una estufa a una temperatura de 105°C por un lapso de tiempo determinado de 24 horas y a partir de la muestra previamente secada se extrae 10 g de suelo y nuevamente pasa a la estufa esta vez a una temperatura de 400°C durante 4 horas (Izquierdo y Arévalo, 2021).

6. Metodología

6.1. Zona de estudio

El proyecto técnico se llevó a cabo en el bosque de Sunsun-Yanasacha, en cuatro diferentes coberturas (bosque natural, bosque de pino, pajonal y pasto), ubicadas entre las parroquias Baños y Victoria del Portete en el cantón de Cuenca, provincia del Azuay (Figura 1), con una altura de 3400 m s.n.m. aproximadamente y a temperatura que oscila entre 7 - 22°C, la precipitación media anual de la zona varía entre 1165 mm estación Surucucho 1308 mm estación Piscícola (Dercon et al., 998). Los suelos predominantes son: Andosoles, Histosoles, Cambisoles, Umbrisoles y/o la combinación de estos (INAMHI, 2014).

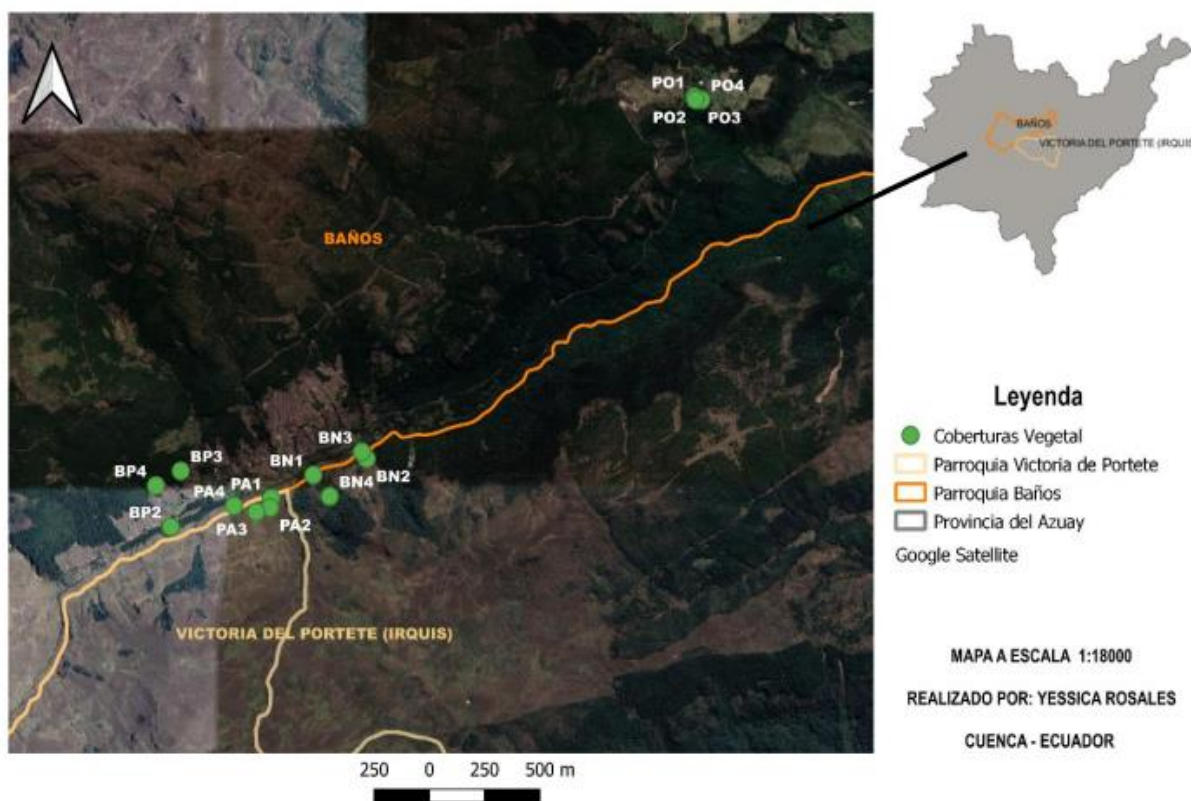


Figura 1. Zona de estudio de las cuatro coberturas vegetales, bosque natural (BN), bosque de pino (BP), pajonal (PA) y pasto (PO). ubicadas en el bosque de Sunsun-Yanasacha

6.2. Materiales

Para la evaluación de la conductividad hidráulica saturada del suelo K_s , y demás variables físicas (densidad aparente, textura y materia orgánica), se utilizaron los siguientes herramientas, materiales y reactivos (Tabla 1).

Tabla 1. Herramientas, materiales y reactivos para la toma de datos

Físicos	Tecnológico	Laboratorio	Oficina	Químicos
Barreno	Cronómetro	Balanza	Libreta	Hexametáfosfato de sodio (NaPO_3) ₆
Flexómetros	Computadora	Termómetro	Lápiz	Agua destilada
Soportes		Hidrómetro	Borrador	
Flotadores		Tamizador		
Un recipiente		Anillos		
Pala		Probetas de 100ml		
Fundas		Cuchara		
		Estufa		
		Mufla		
		Anillos		
		Crisoles		

6.3. Diseño del proyecto

Se establecieron cuatro parcelas por cada cobertura vegetal y en cada parcela se realizaron seis pruebas de pozo invertido en diferentes puntos cubriendo toda el área de la parcela, tres de ellas a 15 cm y tres a 20 cm de profundidad (Figura 2).

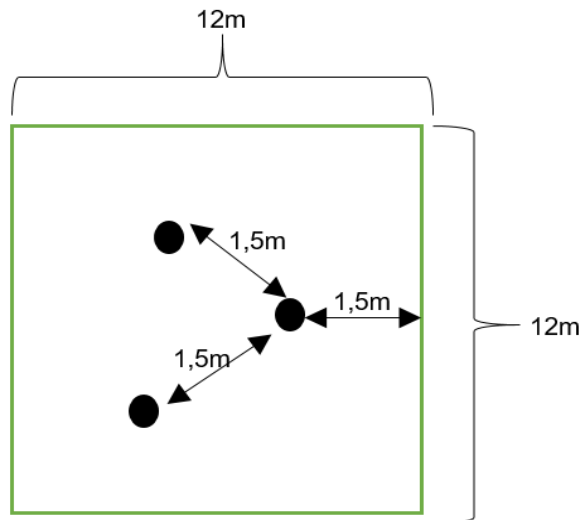


Figura 2. Distribución de las tres repeticiones dentro de la parcela

6.4. Metodología del primer y segundo objetivo específico: “Estimar la conductividad hidráulica saturada del suelo bajo cuatro tipos de cobertura vegetal”, “Evaluar el efecto del cambio del uso del suelo (cuatro tipos de cobertura) en la conductividad hidráulica saturada K_s del mismo”

Para la instalación del experimento, se realizó un agujero en la superficie del suelo, con la ayuda de un barreno, simulando un pozo, a unos centímetros de este se ancló un soporte en el que se le añade un flexómetro junto con un flotador (el diámetro del pozo tiene que ser mayor que el flotador), adicionalmente se limpia el pozo eliminando rastro vegetal para que este no obstruya el paso del flotador. Una vez instalado se satura el suelo con agua y a medida que va descendiendo el flotador, se toma la medida hasta llegar a obtener tres medidas consecutivas constantes de descenso de agua por unidad de tiempo (Figura 3).

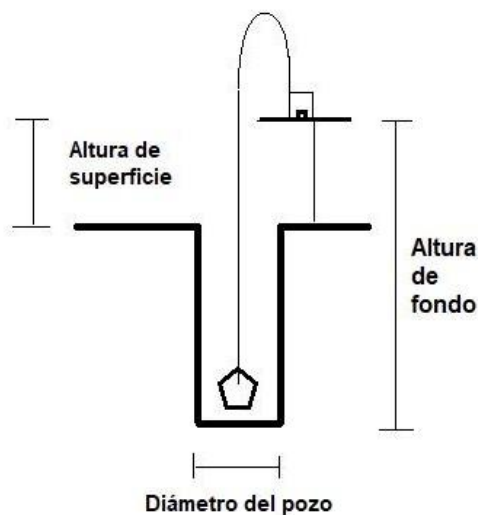


Figura 3. Diagrama de la prueba de pozo invertido

La prueba de K_s se realizó en la cobertura de bosque natural dentro de un rango de pendientes entre el 25 al 50%, para la cobertura de bosque de pino entre 15 y 50 % y en las coberturas pajonal y pasto en un rango entre 20 y 40% correspondientes a las parcelas de la zona de estudio.

Análisis estadístico

Para los datos de K_s obtenidos en primer lugar se revisó los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante un test de Bartlett que permite contrastar la homogeneidad entre dos o más poblaciones, en el caso de no existir normalidad en los datos se aplicó pruebas no paramétricas. Para la caracterización de la conductividad hidráulica saturada se empleó estadística descriptiva evaluando los promedios, desviación estándar, medianas, máximos, mínimos y el coeficiente de variación de cada una de las coberturas.

6.4. Metodología del tercer objetivo específico: “Comparar la conductividad hidráulica saturada K_s con variables físicas del suelo en los cuatro tipos de cobertura”.

Para obtener los datos de las variables físicas con las que se comparara la conductividad hidráulica saturada K_s se aplicó la siguiente metodología. Para determinar la densidad aparente. Se tomaron muestras de suelo en cinco sitios diferentes en cada parcela recolectando dos anillos por cada profundidad: de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm (80 anillos por cada cobertura). Para calcular la textura se tomó 20 g de suelo seco de muestras alteradas obtenidas de los mismos sitios de las muestras inalteradas. Se aplicó el método

de Bouyoucos, el cual consiste en determinar el porcentaje de arena, limo y arcilla, incluyendo además un tratamiento con hexametafosfato de sodio ($(\text{NaPO}_3)_6$) para permitir la total separación de los agregados (Maldonado, 2016). Para determinar la materia orgánica también se utilizó el material de las muestras alteradas recogidas en campo de igual manera para cada profundidad (0 a 10 cm y de 10 a 20 cm). Para esta propiedad se aplicó el método de calcinación (Izquierdo y Arévalo, 2021). Las muestras húmedas alteradas extraídas en campo se procedieron a secar al ambiente, luego se tamizaron mediante un tamiz número 10 de 2mm, se tomó una cantidad de muestra y se secó en la estufa a 105 °C por 24 horas. A partir de estas muestras previamente secadas se prepararon dos repeticiones de 10 g de suelo en crisoles y se colocó en la mufla a una temperatura de 400°C por un lapso de tiempo de 4 horas. Para interpretar la relación de la K_s con las variables físicas (densidad aparente, materia orgánica y textura), se realizaron análisis de correlación de Spearman.

7. Resultados

7.1. Conductividad hidráulica saturada del suelo bajo cuatro tipos de cobertura vegetal.

Se realizó una prueba de normalidad de Shapiro - Wilks, para cada una de las variables (Tabla 2), encontrando que los datos no son normales, por otro lado, se aplicó un test de Bartlett que permite determinar homogeneidad entre dos o más poblaciones, encontrado un valor de $p = 0,038$, indicado que los datos no son homogéneos en las coberturas vegetal (Tabla 3).

Tabla 2. Valores de probabilidad de una prueba estadística de normalidad con el test de Shapiro – Wilks

Variable	Probabilidad
K_s	3,032E-05
MO	2,676E-11
Da	2,2E-16
Arcilla	0,0002
Limo	0,0008
Arena	9,813E-16

Tabla 3. Valores de homogeneidad con el test de Bartlett

Variables	gl	Probabilidad
K_s	3	0,03897
MO	3	0,002311
DA	3	2,2e-16
Arcilla	3	0,3436
Limo	3	0,0007834
Arena	3	9,294e-12

7.2. Caracterización de las variables físicas del suelo

7.2.1. Textura

La clase textural de cada una de las coberturas vegetal está distribuida de la siguiente manera: Bosque natural (BN) y Pajonal (PA) se ubica dentro de la zona franco limosa; Bosque de pino (BP) se ubica en la zona franco arcillo arenosa y para la cobertura pasto (PO) se encuentra dentro de los francos arcillosa (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje limo, arcilla, arena y clase textural de suelo en cada una de coberturas

Cobertura	ARCILLA (%)	LIMO (%)	ARENA (%)	Clase textural
BN	23,18	65,41	11,40	Franco limosa
BP	26,93	65,98	7,10	Franco arcilloso arenosa
PA	28,14	65,10	6,76	Franco limosa
PO	34,67	46,72	18,61	Franco arcilloso

7.2.2. Materia orgánica

Con respecto al valor promedio de materia orgánica respectivo de cada cobertura, se observó que en las coberturas de bosque de pino (BP), bosque natural (BN) y la cobertura de pajonal (PA), el porcentaje de materia orgánica (MO) es mayor al 50%, y la cobertura con el porcentaje bajo fue para el pasto (PO) (Tabla 5).

Tabla 5. Valores promedios de materia orgánica (MO %) de cada cobertura vegetal

Cobertura	MO (%)
BN	56,15
BP	56,92
PA	56,13
PO	29,83

7.2.3. Densidad aparente

En los valores de densidad aparente (D_a), se observa valores entre 0,28 – 0,33 g/cm³ entre las tres coberturas, bosque de pino (BP), bosque natural (BN) y pajonal (PA) siendo la cobertura de pasto la que presentó valores más altos de densidad aparente con un promedio de 0,59 g/cm³ (Tabla 6).

Tabla 6. Valores promedios densidad aparente (g/cm³) de cada cobertura vegetal

Cobertura	D_a (g/cm³)
BN	0,31
BP	0,33
PA	0,28
PO	0,59

7.3. Efecto del cambio del uso del suelo (cuatro tipos de cobertura) en la conductividad hidráulica saturada K_s del mismo.

Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó estadística descriptiva en donde se evaluaron los promedios, desviación estándar (DE), medianas, máximos, mínimos y el coeficiente de variación (CV) de cada una de las coberturas (Tabla 7).

Tabla 7. Valores promedios de K_s (cm/h), desviación estándar (DE), mediana, máximos, mínimos y coeficiente de variación (CV), en cada una de las coberturas vegetales

Cobertura	Promedio	DE	CV	Mín.	Máx.	Mediana
BN	0,95	0,85	88,87	0,11	3,09	0,95
BP	1,64	0,86	52,24	0,24	3,34	1,65
PA	0,92	0,45	52,89	0,35	1,97	0,92
PO	1,23	0,68	54,85	0,31	3,31	1,24

La conductividad hidráulica saturada (K_s) promedio para la cobertura de bosque natural (BN) fue de $0,95 \pm 0,85$ cm/h, para la cobertura de bosque de pino (BP), fue de $1,64 \pm 0,86$ cm/h, para las coberturas de pajonal (PA) y pasto (PO) $0,92 \pm 0,45$ cm/h y $1,23 \pm 0,68$ cm/h respectivamente (Tabla 7) (Figura 4).

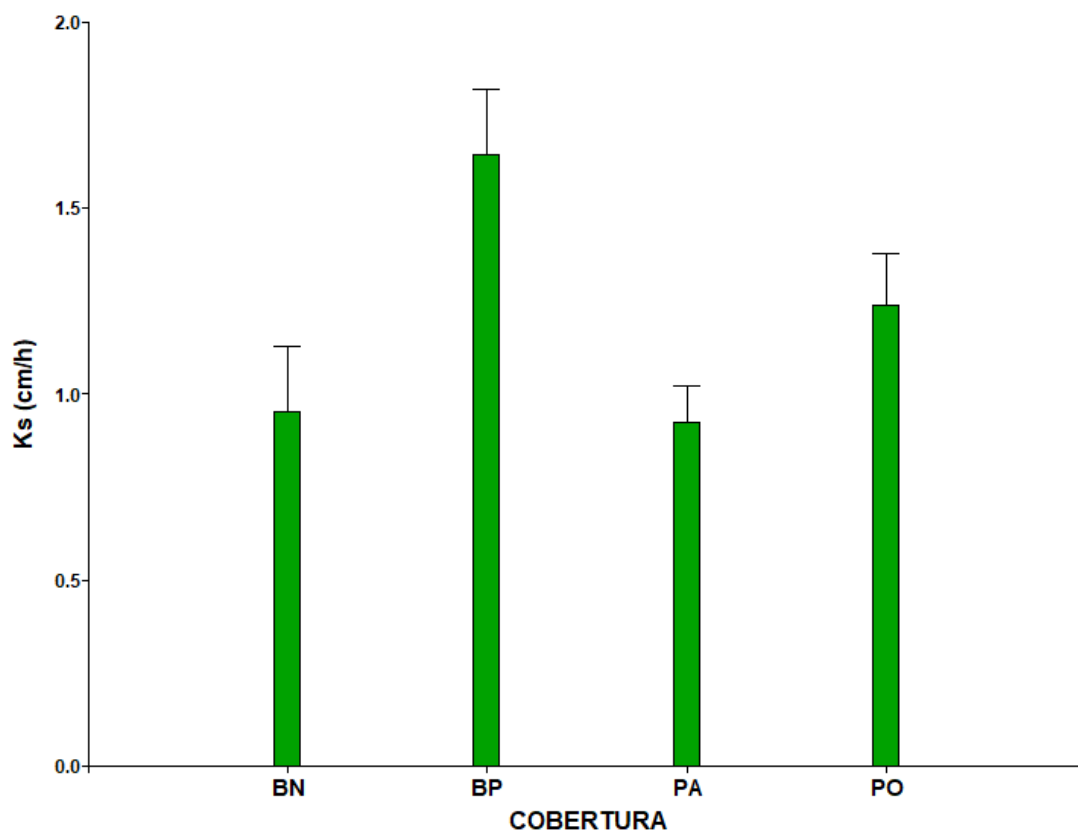


Figura 4. Gráfico de barras de los valores promedios de la K_s para las coberturas de bosque natural (BN), Bosque de Pino (BP), Pasto (PO) y la cobertura Pajonal (PA)

Tabla 8. Prueba no paramétrica mediante el test Kruskal – Wallis para diferentes coberturas

Variable	Chi-cuadrado	gl	Probabilidad
K_s	14,098 3	3	0,003
MO	83,818	3	2,2e-16
Da	106,87	3	2,2e-16
Arcilla	33,159	3	2,981e-07
Limo	41,791	3	4,44e-09
Arena	30,627	3	1,018e-06

En ninguna de las variables se obtuvo normalidad por lo que se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis ($p = 0,05$), para determinar si existe diferencia entre coberturas vegetal (Tabla 8). De acuerdo a los resultados de la Tabla 8 se encontró que existen diferencias significativas para todas las variables consideradas de acuerdo a la cobertura vegetal. A pesar que todas las variables corresponden a un valor de probabilidad bajo, las variables como la materia orgánica y densidad aparente son las variables cuyos valores son los más bajos, en comparación de las demás variables.

Relación de la conductividad hidráulica saturada K_s con variables físicas del suelo para los cuatro tipos de cobertura vegetal

Para determinar la relación entre la K_s y las demás propiedades físicas de los suelos, se realizó un análisis de correlación de Spearman entre las variables, obteniendo como resultados una baja relación de la K_s con las demás variables físicas por otro lado, las relaciones que se expresan entre las demás variables son presenta valores altos, así tenemos entre la arena y el limo, la densidad aparente y la textura, la materia orgánica y la densidad aparente (Tabla 9).

Tabla 9. Coeficiente de correlación de Spearman con la K_s con respecto a las variables físicas: Materia orgánica (MO), Densidad aparente (Da), Arcilla, Limo y Arena

VARIABLES	K _s	MO	Da	Arcilla	Limo
K_s	--	--	--	--	--
MO	-0,013	--	--	--	--
Da	0,218	-0,635	--	--	--
Arcilla	-0,075	-0,435	0,549	--	--
Limo	0,042	0,575	-0,632	-0,645	--
Arena	0,035	-0,432	0,568	0,327	-0,770

8. Discusión

8.1. Comportamiento de la conductividad hidráulica saturada en las diferentes coberturas vegetales.

De acuerdo a los valores obtenidos de K_s (cm/h), la cobertura bosque de pino (BP) presenta un valor de (1,64 cm/h), valores similares fueron encontrados en un estudio (Cárdenas, 2014), en diferentes sitios al sur del Ecuador (parroquia Soldados, cantón Cuenca), obteniendo valores entre 1,59 – 2,79 cm/h para bosque de pino a una altura de 3700 a 3800 m s.n.m., y un rango de valores de 1,10 – 9,28 cm/h, a una altitud entre los 3600 y 3700 m s.n.m. en la misma cobertura. Para la cobertura de pajonal (PA) y bosque natural (BN) los valores de 0,92 y 1,65 cm/h hallados, se encuentran dentro del rango de valores encontrados en Cárdenas (2014), donde los valores de 0,39-2,01 cm/h a una altura de 3040 a 3100 m s.n.m. Por otro lado, en la cobertura de pasto (PO), el valor de K_s fue de 0,92 cm/h, en el mismo estudio se ubica en un rango de 1,08-4,08 cm/h a una altitud de 3400 a 3600 m s.n.m. Los valores más altos encontrados en la cobertura de bosque de pino (BP), pueden indicar que el agua se está moviendo más rápido debido a la presencia de macro poros y flujos preferenciales formados por las raíces de los árboles de pino (Cárdenas, 2014).

Ahora bien, Polo et al. (2003) mencionan en su estudio que los valores altos en K_s son representados con relación a la posición de la pendiente, por lo que indica que, en aquellas zonas inferiores de la ladera, los valores de la K_s son altos, esto debido a que las zonas son propensas al encharcamiento por medio de la lluvia, sin embargo, en aquellas zonas de ladera altas los valores de K_s son menores ya que aumenta la escorrentía, y los niveles de agua en la superficie del suelo disminuye. En relación a nuestro estudio los datos recolectados para el análisis estadístico se llevaron a cabo en zonas con un rango de pendientes entre el 15 al 50%, para bosque y en zonas con pendiente media para las coberturas pasto (PO) y pajonal (PA) con un rango entre 20 y 40%. Según el estudio de Bonell et al. (2010), realizado en bosques perturbados, bosques regenerados y zonas destinadas a cultivo de teca, cuyos valores de K_s varían entre 4,9 – 12,0 cm/h, siendo el valor más alto correspondiente a bosque perturbados. Los valores destacados de K_s fueron de mayor relevancia en bosques regenerados en comparación con las demás coberturas sobre todo en bosques perturbados y como consecuencia está la disminuye la capacidad de permeabilidad en el suelo, asociada a la pérdida de macroporosidad debido a una mayor compactación y una reducción de la fauna del suelo, producto del cambio de uso de suelo.

8.2. Relación de la conductividad hidráulica saturada K_s con las propiedades físicas del suelo.

Los valores de conductividad hidráulica saturada K_s se relacionan con las propiedades físicas del suelo (la porosidad, densidad aparente, textura y la materia orgánica). Sin embargo, en este estudio la relación de la K_s con dichas propiedades físicas no representó una correlación significativa. Según la investigación de Buytaert et al. (2006) los valores encontrados de K_s fueron bajos 0,53- 0,052 cm/h y determinaron una relación bastante baja con la materia orgánica, esto debido a la variabilidad espacial del terreno. Los valores correspondientes de materia orgánica (MO), en la cobertura de bosque de pino (BP), bosque natural (BN) y pajonal (PA), presentan valores entre 56,13 y 56,92. Este porcentaje de MO se encuentra acorde a lo reportado en el estudio de Cárdenas (2014) y Quichimbo et al. (2012), donde mencionan que en coberturas de bosques existe gran acumulación de materia orgánica con rangos que varían desde 40 % y más. Por otro lado, los valores bajos de 20 a 30% correspondían a las coberturas de pasto del estudio de Quichimbo et al. (2012), y son semejantes al porcentaje encontrado en este estudio para la cobertura de pasto (PO) con un 29%. Este comportamiento puede deberse a que los suelos de climas frío y húmedos propios de los suelos de páramos con calificación Andosol, se caracterizan por un elevado contenido de carbono, mientras que en áreas que son sometidas a labranza, la acumulación de materia orgánica es más lenta, y el suelo pierde microporosidad y disminuye su capacidad para retener agua (Buytaert et al., 2006).

En la densidad aparente (D_a) los valores fueron más bajos en cobertura de bosque de pino (BP), bosque natural (BN) y pajonal (PA) 0,33-0,28 g/cm³, y en la cobertura pasto (PO) más alto con 0,59 g/cm³, según el estudio de Quichimbo et al. (2012), la densidad promedio para bosques montanos fue de 0,4 g/cm³, mientras que en coberturas perturbadas como zonas producto de incendios forestales y de cultivos de pastos, los valores de densidad aparente fueron de 0,6 g/cm³. En esta misma investigación Quichimbo et al. (2012) señala que estos valores se deben a las constantes quemadas producidas en la vegetación consecuencia de aquello, el suelo se degrada y esto produce rigidez en su estructura, cambiando su forma y organización de los poros y con ello la pérdida de almacenamiento de agua. En el estudio de Dorner et al. (2009), en suelos de páramos, se señala que estos suelos están en continuo cambio en su estructura, consecuencia del cambio de uso de suelo por lo que pierde la capacidad de contraer el tamaño y la distribución de sus poros y forman grietas que hace que aumente la escorrentía del suelo.

Con respecto a la textura, el porcentaje de limo fue mayor en las coberturas de bosque natural (BN), bosque de pino (BP) y pajonal (PA) cuyo porcentaje está en un 65% y la cobertura de pasto en 6,72% que representa el valor más bajo. Para la arena las coberturas bosque natural (BN), bosque de pino (BP) y pajonal (PA), representaron el contenido más bajo y el mayor fue encontrado en la cobertura de pasto (PO) con un 18,61%. Para la arcilla, de acuerdo a cada una de las coberturas, los contenidos varían en los rangos de 23,18 - 34,67%. En el estudio de Coello (2005) se menciona que la textura influye fuertemente en la K_s , sin embargo, no se encontró una relación significativa, pero mencionan que entre la textura y la K_s existe cierto grado de relación ya que a mayor contenido de arcilla la K_s disminuía. Además, en relación al porcentaje de arena, Aoki et al. (2013) señala que los suelos con mayor contenido de arena drenan más rápido en comparación a un suelo con mayor contenido en arcilla. Por otro lado, también recalca que la dinámica de un suelo está asociada al manejo, la cantidad de materia orgánica, la profundidad, la capacidad de almacenar agua y nutrientes. Pero, debido a los cambios de uso de suelo o perturbaciones, los porcentajes de arena, arcilla y limo pueden variar como se observa en los resultados obtenidos en este estudio para las coberturas de bosque de pino (BP), bosque natural (BN) y pajonal (PA), contra la cobertura de pasto (PO).

9. Conclusiones

De las cuatro coberturas estudiadas en el bosque de Sunsun-Yanasacha, se encontró diferencias significativas a nivel de cobertura, en la evaluación de la conductividad hidráulica saturada K_s . La cobertura de bosque de pino (BP) mostró valores promedios altos de K_s y con respecto a los datos de las variables físicas también fue una de las que mayormente destacó, la cobertura con promedios bajos de K_s fue la de pasto (PO). Al ser la K_s una variable asociada a la regulación hídrica del suelo, la variación en sus valores denota que en efecto en el cambio de uso de suelo disminuye la capacidad de este en retener y almacenar agua, sobre todo en los suelos de páramos cuyos suelos son vulnerables ante alteraciones. Ante el cambio de cobertura los suelos de páramos pierden su capacidad estructural, lo que puede influir en el incremento de la escorrentía superficial. En la relación de la K_s con las variables físicas, existió una baja correlación.

Recomendaciones

- La K_s es un parámetro muy variable, por lo que es recomendable adicionar dos o más métodos de tal manera de minimizar las variaciones que denota sus valores.
- Es fundamental aprovechar este tipo de estudio como base para emplearlos en suelos degradados ya que de esta manera se puede analizar si es necesario o no la recuperación de las características físicas de dichos suelos.
- Se recomienda realizar estas pruebas en diferentes zonas de estudio con similares características, para obtener una información más detallada para futuros proyectos de conservación de suelo.
- Es recomendable tener conocimiento previo del área de estudio, sobre todo para aquellas que han sido deforestadas y utilizadas para cultivos de pastos, con el propósito de conocer las alteraciones causadas por estas prácticas sobre las propiedades físicas de los suelos de páramos.
- La base de datos determinada en este estudio puede ser utilizada para otros estudios relacionados con la infiltración y la escorrentía.

Referencias

- Aguilar, J. (2014). Efecto de tres sistemas de labranza en la conductividad hidráulica, densidad aparente y porosidad de un suelo franco-arcilloso. Universidad autónoma agraria "Antonio Narro". División de ingeniería departamento de maquinaria agrícola. Buenavista, Saltillo, Coahuila
- Alomía, M. (2005). Efectos de la producción agropecuaria en los suelos de los páramos: el caso de Guangaje. Ecuador. Debate Agrario. Rural 2012.
- Aoki, A., Ateca, R., Arias, F. y Cantarero, M. (2013). Evaluación de la conductividad Hidráulica como Indicador de la Calidad de Suelos en la Región Centro-Norte de Córdoba.
- Bermejo, L., García, A. y Soler, L. (2021). Influencia de la Vegetación en la Conductividad Hidráulica en Tres Tipos de Coberturas Forestales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- Bonell, M., Purandara, B.K., Venkatesh, B., Krishnaswamy, J., Acharya, H., Singh, V., Jayakumar, R., y Chappell, N. (2010). The impact of forest use and reforestation on soil hydraulic conductivity in the Western Ghats of India: Implications for surface and sub-surface hydrology. *Journal of Hydrology, sciencedirect, Journal of Hydrology*.
- Buytaert, W., Céleri, R., Bièvre, B. D., Hofstede, R., Cisneros, F., Wyseure, G., y Deckers, J. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, 53–72
- Cárdenas, I. (2014). Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico-químicas de los suelos andinos del sur del Ecuador. Tesis previa a la obtención del título de magister en agroecología y ambiente. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Cerón, P. y García H. (2009). Propiedades del Suelo en Bosque y Pajonal; Reserva Natural Pueblo Viejo, Nariño, Colombia. Artículo científico.
- Coello, C. (2005). Análisis del método de estimación de la conductividad hidráulica saturada en suelos degradados. Programa para el manejo del agua y del suelo (PROMAS), Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador.
- Daza, M.C., Hernández, F. y Triana, F.A. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz – Colombia. Medellín. Colombia. *Revista Scielo*.
- Dercon, G., Bossuyt, B., De Bièvre, B., Cisneros, F. y Decker, J. (1998). Zonificación Agroecológica del Austro del Ecuatoriano. Programa de Manejo del Agua y del Suelo (PROMAS). Universidad de Cuenca. Cuenca -Ecuador.
- Dorner, J., Dec, D., Peng, X. y Horn, R. (2009). Efecto del Cambio de Uso en la Estabilidad de la Estructura y la Función de los Poros de un Andisol (typic hapludand) del Sur de Chile. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Universidad Austral de Chile.
- Ferreira, W. (2009). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. INIA Las Brujas – Estación Experimental

- Gabriels, D., Lobo, D. y Pulido, M. (2022). Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos. Universidad de Gante, Bélgica. Universidad Central de Venezuela.
- INAMHI (2014). Anuario Meteorológico. INAMHI. 51-2011:130.
- Izquierdo, J. y Arévalo, J. (2021). Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y por calcinación. Doctorado en planificación y manejo ambiental de cuencas hidrográficas. Universidad Surcolombiana.
- Larrea, San Martín. (2022). Evaluación del Método de los Anillos Infiltrómetros como Alternativa de Medición de Conductividad Hidráulica Trabajo Experimental. Trabajo de Titulación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Agraria del Ecuador. Milagro, Ecuador.
- Lozano, P. (2015). Especies Forestales Arbóreas y Arbustivas de los Bosques Montanos del Ecuador. Ministerio del Ambiente.
- Llambí, D., Soto, A., Célleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., Borja, P. (2012). Ecología Hidrología y Suelos de Páramos. Proyecto Páramo Andino.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG. (1983). Bosques en la zona Sunsun-Yanasacha del Cantón Cuenca. Acuerdo Ministerial 206. Registro Oficial 552 de 08-ago.-1983. Estado: Vigente. Cuenca –Ecuador.
- Maldonado, A. (2016). Evaluación de Diferentes Dosis de Hexametáfosfato de Sodio ($\text{NaPO}_3)_6$, en la Determinación de Tres Tipos Texturales de Suelo, Mediante el Método de BOUYOUCOS. Trabajo de titulación. Universidad Central del Ecuador.
- Mancheno, A. (2011). Análisis de los Impactos en la Calidad del Suelo Causados por el Pino (*pinus patula*) en Comparación con el suelo ocupado por *Polylepis (polylepis reticulata)* en el Parque Nacional Cajas. Tesis de titulación. Cuenca. Ecuador.
- Podwojewski, P. (2000). Los Suelos de las Altas Tierras Andinas: Los Paramos del Ecuador. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Ecuador.
- Pérez, H. y Muñoz, L. (2016). Impacto del Cambio en el Uso del Suelo en la Conductividad Hidráulica del Suelo y sus Implicaciones Hidrológicas. Centro de Veracruz México.
- Pérez, L. y García, G. (2014). Evaluación de la conductividad hidráulica del suelo en un sistema agroforestal café (*Coffea arábica*), en CENECOOP, Masaya, Nicaragua.
- Pinos, D. (2022). Calidad del Suelo a Partir de Indicadores Físicos y Químicos Aplicado a Tres Usos de Suelo para la Generación de Propuestas de Gestión por Impactos en el Suelo por Acciones Antrópicas en el Bosque y Vegetación Protectores de Sunsun – Yanasacha. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Ecuador.
- Polo, M.J., Lafuente, P. y Giráldez, J.V. (2003). Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de olivar y su influencia en el balance hidrológico global. Artículo científico. Universidad de Córdoba.

- Quichimbo, P., Borja, P., Cárdenas, I., y Crespo, P. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.*, 2(42), 138–153.
- Reynolds, W. Elrick, D., Youngs, E., Amoozegar, A., Booltink, H. y Bouma, J. (2002). Parámetros de flujo de agua saturada y saturada en campo. En: *Métodos de análisis de suelos, Parte 4 - Métodos físicos.* (Eds) Soil science society of América. Madison - Estados Unidos.
- Rojas, J. y Peña, S. (2012). DENSIDAD APARENTE. Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. INTA Centro Regional Chaco Formosa. Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. Argentina.
- Rucks, L. Garcia, F. Kaplán, A. Ponce de león, J. y Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo.* Universidad de la Republica. Montevideo. Uruguay.
- Salamanca, A. y Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafé. Colombia.
- Sánchez, J. (2014). Ley de Darcy Conductividad Hidráulica. Dpto. Geología Universidad Salamanca. España.
- Sandoval, M. Quezada, C. y Zagal, E. (2008). Estructura y agregación de suelos. Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
- SIGTIERRAS, (2017). Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador. Escala 1:4 300.000. Quito, Ecuador.
- Torres, N. (2015). La declaratoria del macizo del Cajas como reserva de la biosfera y la minería a gran escala posibilidades y contradicciones en el caso de Quimsacocha. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio, Convocatoria 2012-2014.
- Valdes, F. (2020). La ley de Darcy: Deducción sencilla y aplicaciones. Seminario de la licenciatura en Física de la UAM-Iztapalapa.
- Villaseñor, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físico morfológicos de suelos. Universidad Técnica de Machala. Machala. Ecuador.

10. Anexos

10.1. Anexo A: Gráfico de dispersión de la K_s de las coberturas vegetal

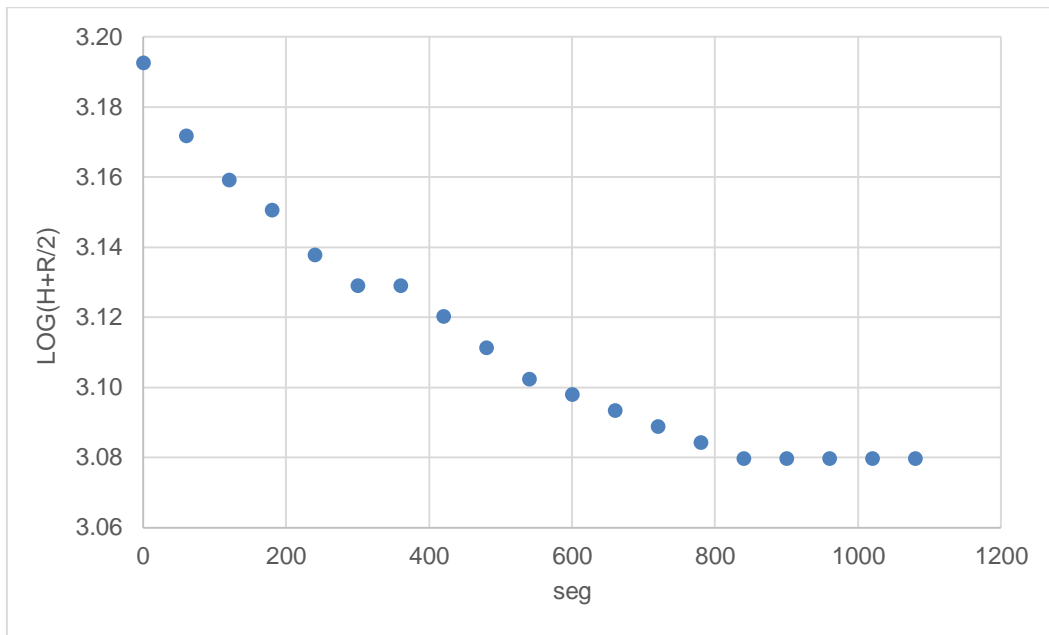


Figura 5.Gráfico de dispersión de la K_s en la cobertura bosque natural (BN)

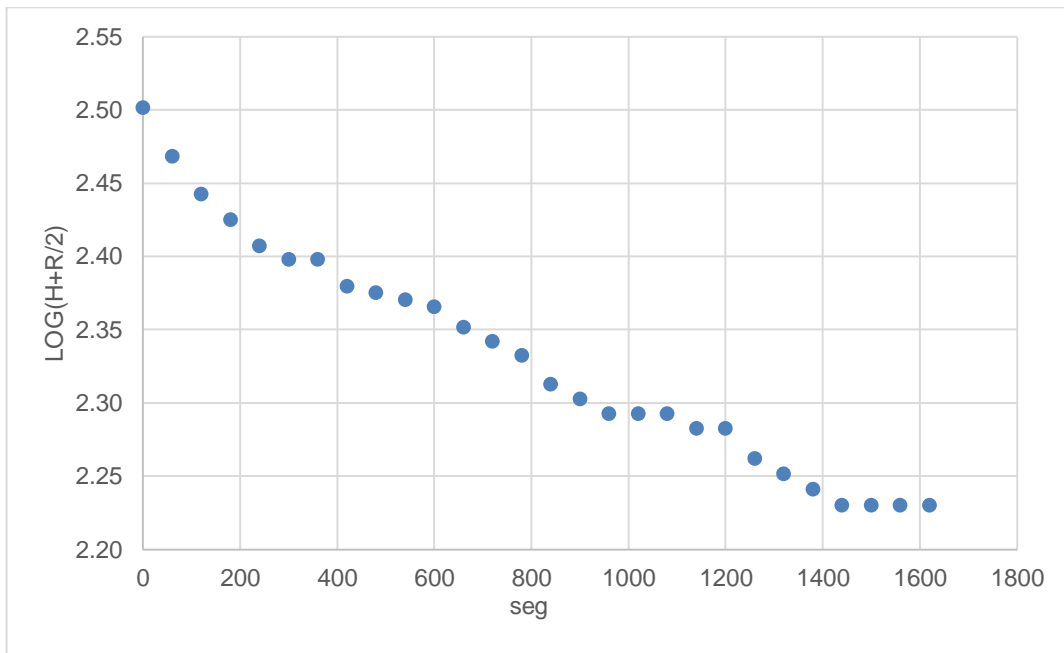


Figura 6.Gráfico de dispersión de la K_s en la cobertura bosque pino (BP)

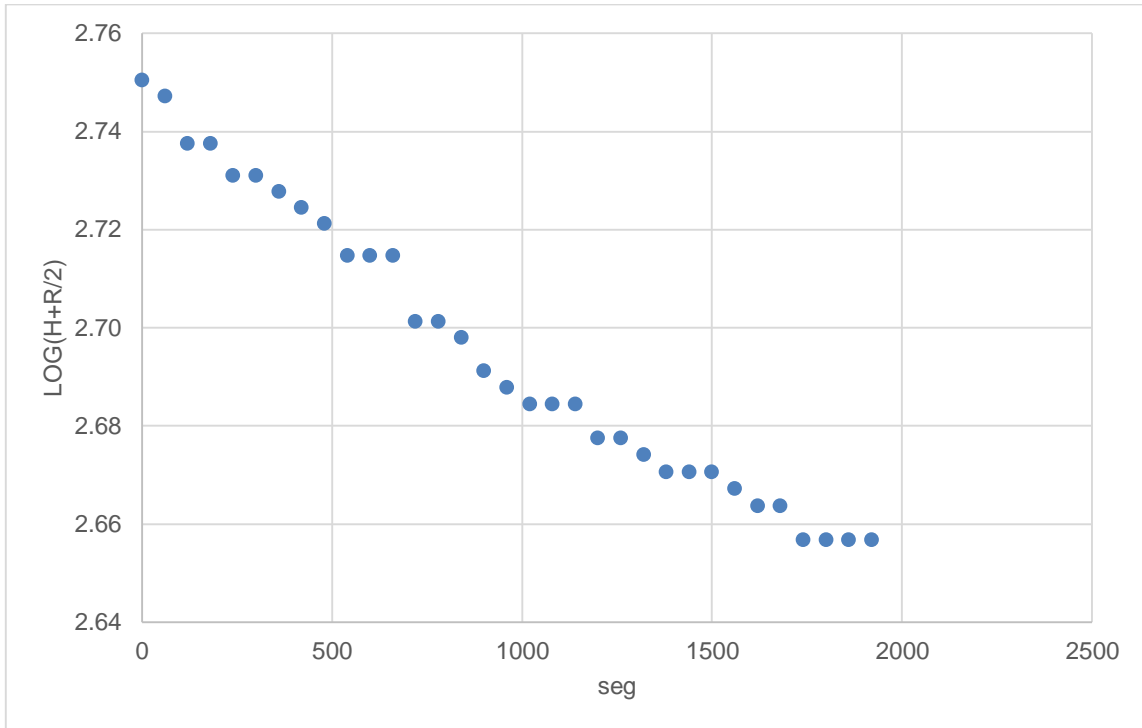


Figura 7. Gráfico de dispersión de la K_s en la cobertura pajonal (PA)

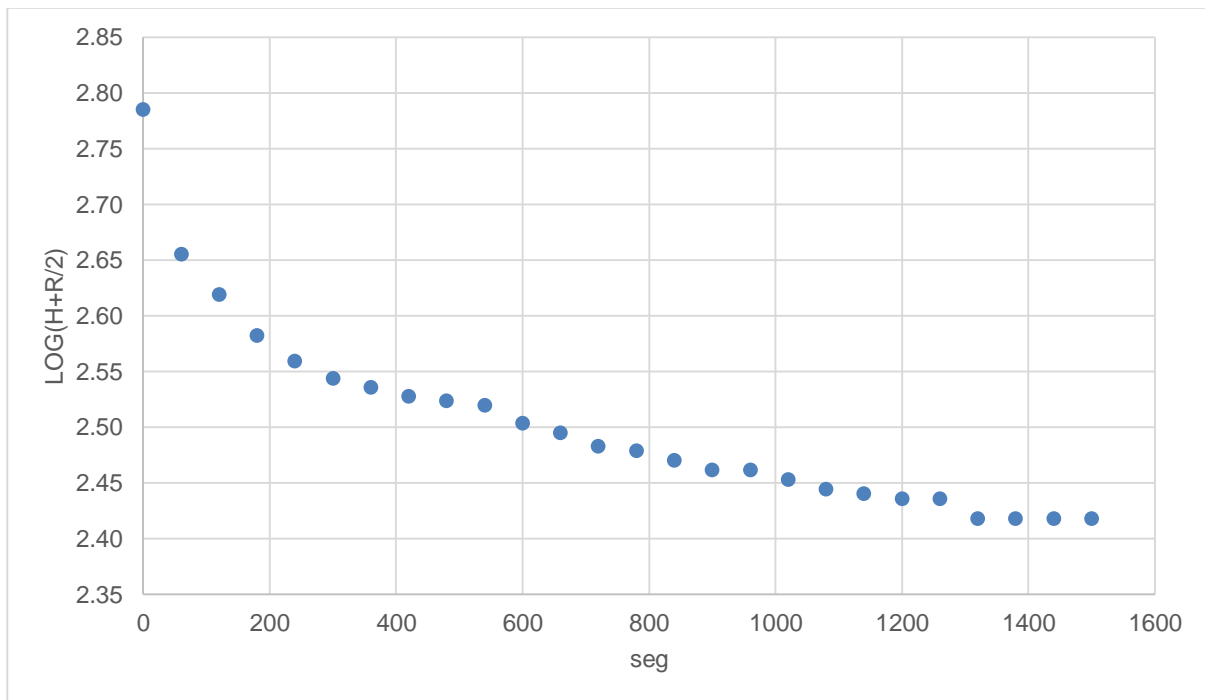


Figura 8. Gráfico de dispersión de la K_s en la cobertura pasto (PO)

10.2. Anexo B: Prueba de no paramétrica con el test Kruskal - Wallis

Tabla 10. Prueba no paramétrica con el test Kruskal - Wallis, evidenciado diferencias en las coberturas

Cobertura	Medianas	Grupos
Bosque natural	0,95	A
Pajonal	0,92	A
Pasto	1,24	A B
Bosque de pino	1,65	B

10.3. Anexo C: Histogramas de cada una de las coberturas vegetal

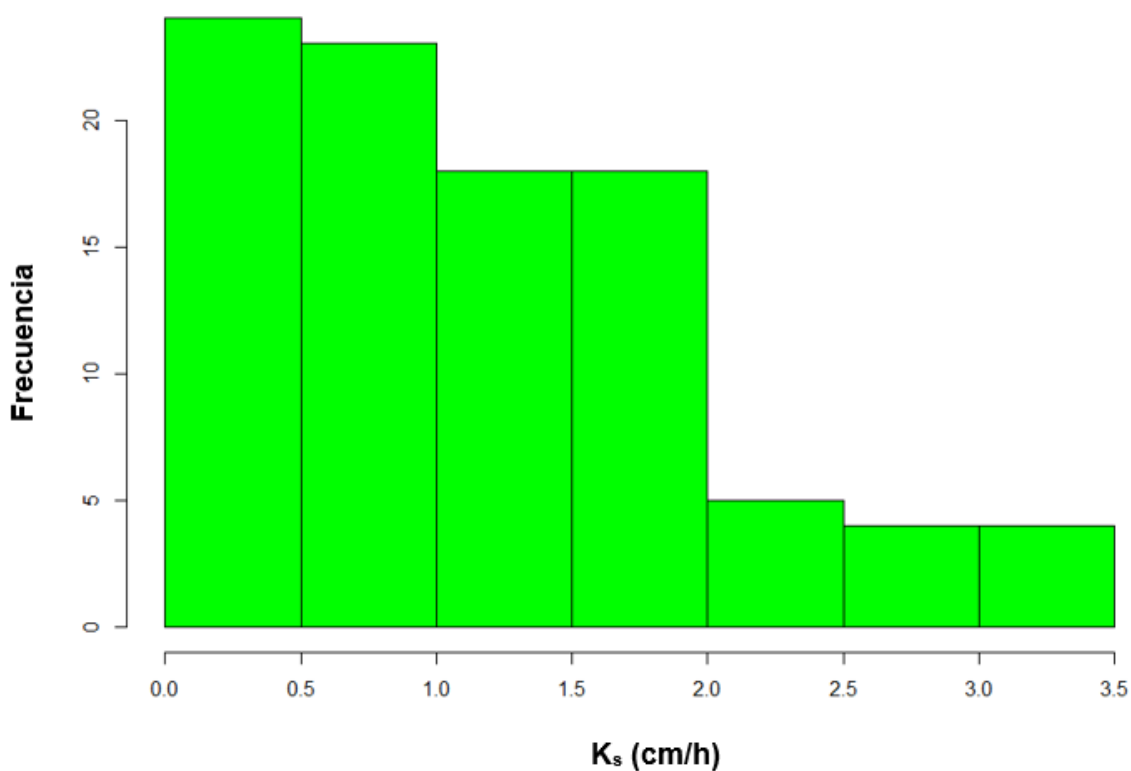


Figura 9. Histograma de frecuencia de la K_s (cm/h)

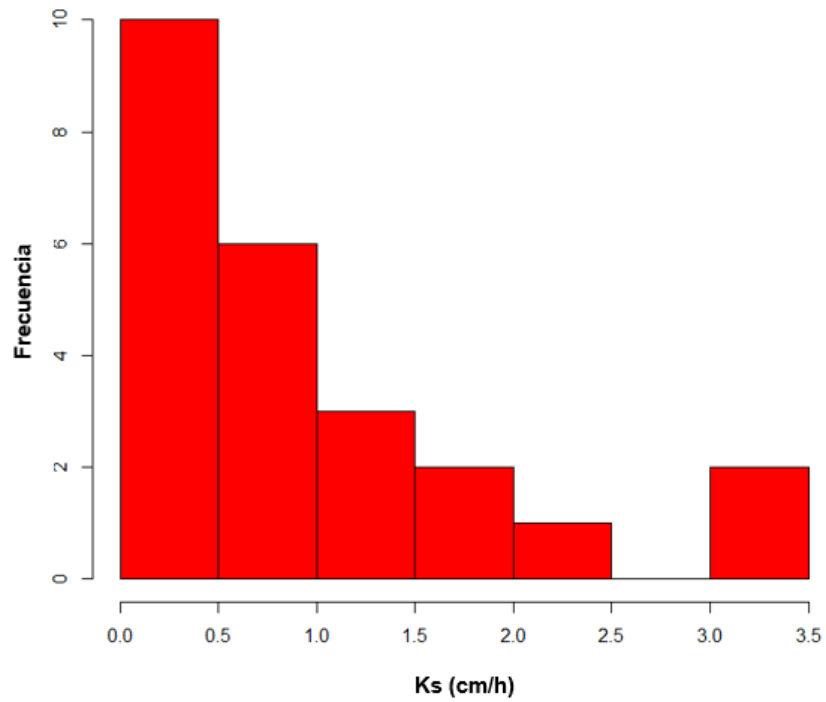


Figura 10. Histograma de frecuencia para la cobertura bosque natural (BN)

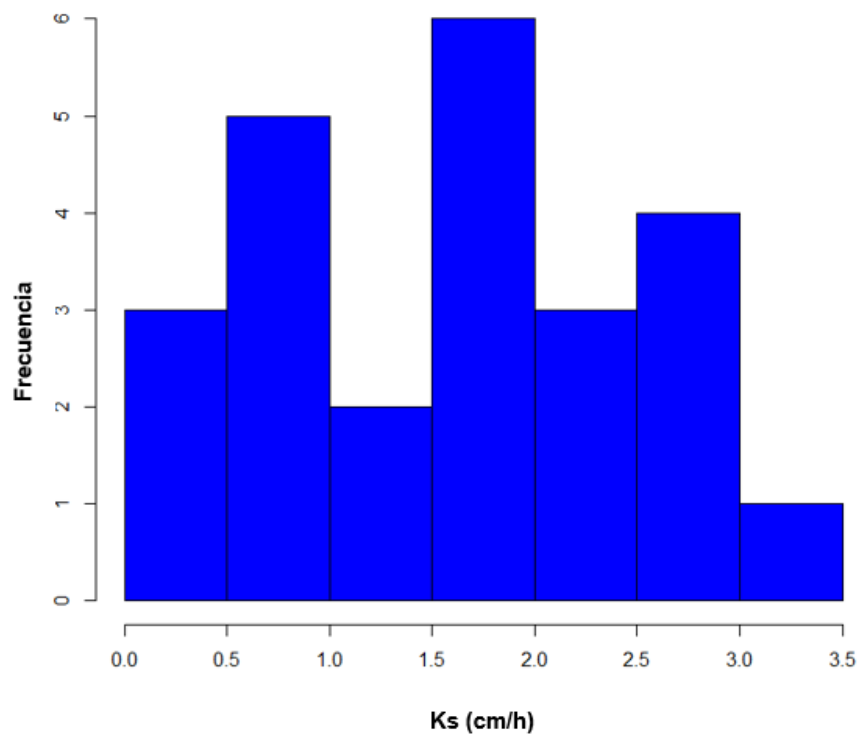


Figura 11. Histograma de frecuencia para la cobertura bosque de pino (BP)

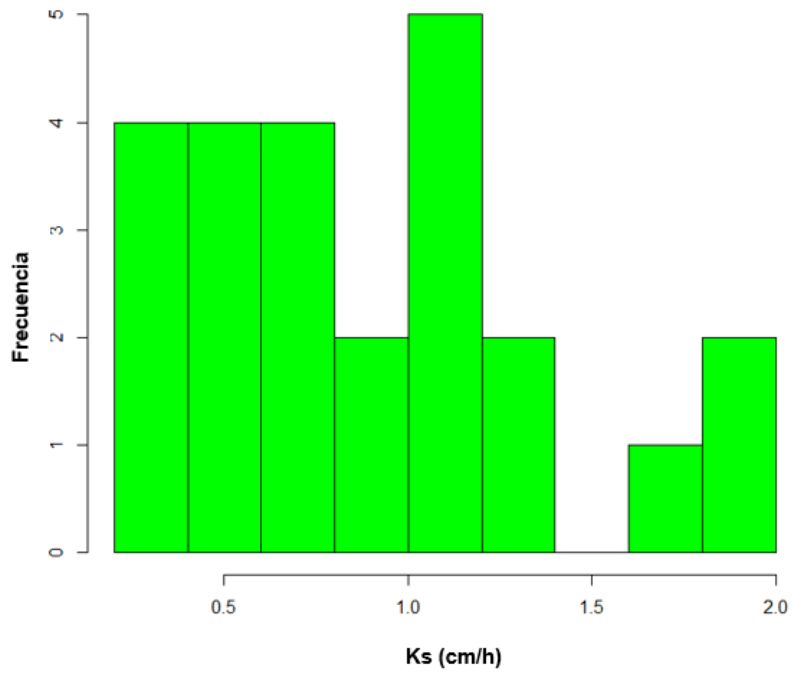


Figura 12. Histograma de frecuencia para la cobertura pajonal (PA)

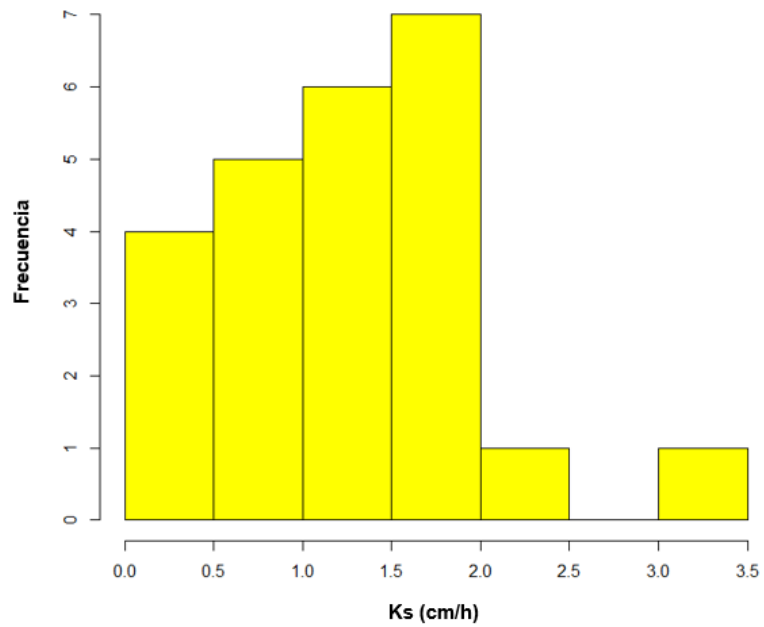


Figura 13. Histograma de frecuencia para la cobertura pasto (PO)

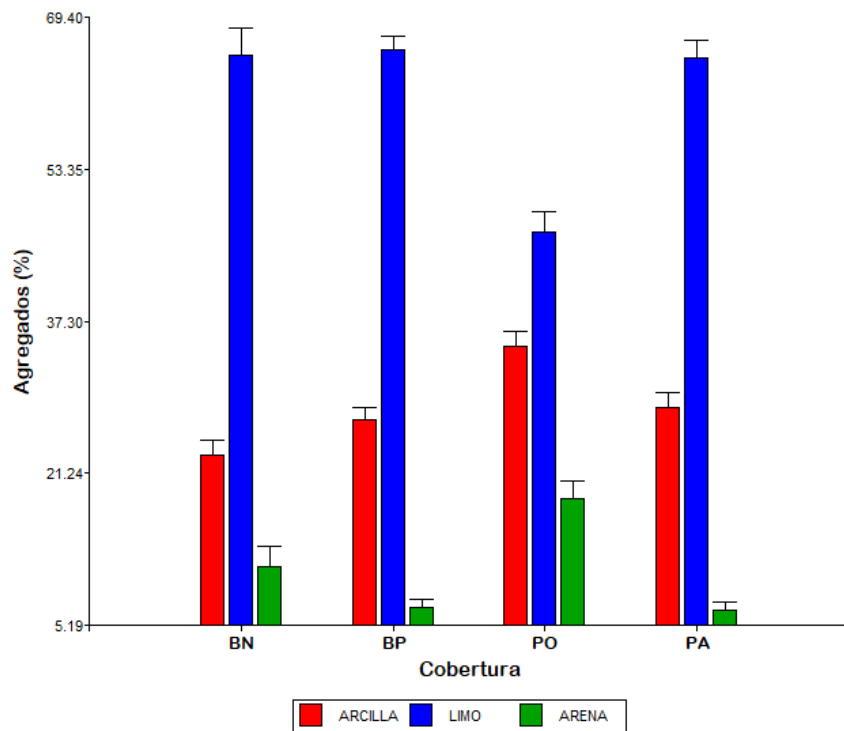


Figura 14. Gráfico de barras de los valores promedios de arcilla, limo y arena (%) en cada una de las coberturas

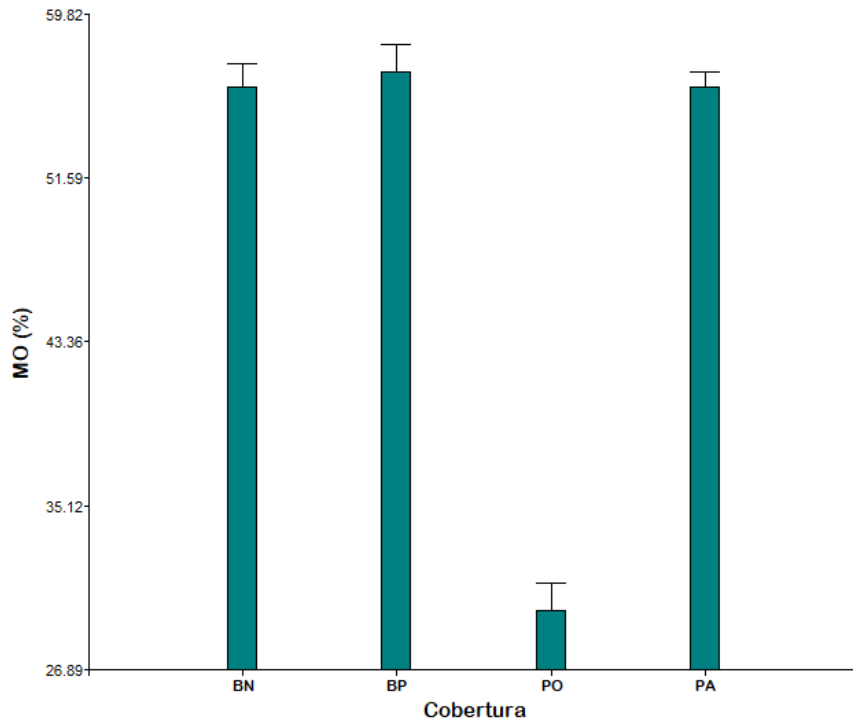


Figura 15. Gráfico de barras de los valores promedios de MO (%) en cada una de las coberturas

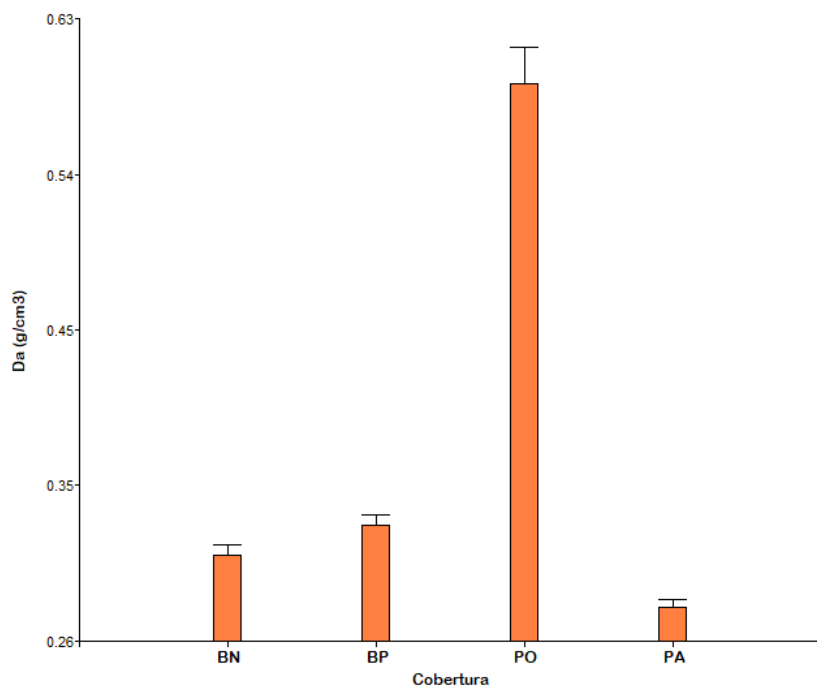



Figura 16. Gráfico de barras de los valores promedios de densidad aparente (g/cm³) en cada una de las coberturas

10.4. Anexo D: Ficha técnica utilizada para la toma de datos de la K_s



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE FÍSICA DE SUELOS

FICHA DE CAMPO									
Responsable:									
Fecha:		Posición-paisaje (A/baja, B/media, C/alta):			Código muestra:				
Punto GPS:		Prueba # 1:			Número de fotografía perfil:				
Localización (Sector):		Cobertura/uso del suelo:							
Número de fotografía:		Tipo de suelo/horizonte:							
Horizonte:		Pendiente:			Profundidad-prueba:				
Profundidad del horizonte:		Erosión/tipo:							
Color:		Presencia de raíces:			Número kopecky:				
Textura:		Presencia de piedras:			Altura:				
Estructura:		Posición fisiográfica:							
		Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Observaciones				
LEC-FONDO A ESTRU cm:					<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>				
LEC-SUPERFICIE- PROF POZO cm:									
Ø AGUJERO cm:									
Tiempo (hora)		Lectura (cm) pozo 1	Δ h	Lectura (cm) pozo 2	Δ h	Lectura (cm) pozo 3	Δ h		
	(min)								
								GRÁFICO PERFIL	
								MEDIDAS POZO 1	
								MEDIDAS POZO 2	
								MEDIDAS POZO 3	

Figura 17. Ficha técnica para la toma de datos de la K_s para cada cobertura

10.5. Anexo E: Toma de datos de la K_s en las diferentes coberturas vegetal

Figura 18. Toma de datos cobertura bosque de pino (BP)



Figura 19. Toma de datos cobertura pajonal (PA)



Figura 20. Toma de datos cobertura pasto (PO)



Figura 21. Cobertura bosque natural (BN)

10.6. Anexo F: Determinación de las propiedades físicas en laboratorio de suelos



Figura 22. Muestras para determinar densidad aparente (Da)



Figura 23. Muestras para determinar densidad aparente (Da)



Figura 24. Muestras para determinar la materia orgánica (MO)



Figura 25. Procesado de arenas en el suelo para determinar su porcentaje



Figura 26. Preparación de la muestra para determinar el porcentaje de los agregados limo y arcilla



Figura 27. Toma de lectura de muestras para determinar la textura mediante el método de Bouyoucos.