EFECTOS DEL CULTIVO DE AGUACATE SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DERIVADOS DE DIABASAS, EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA FRIA, DOSQUEBRADAS, RISARALDA.

NATALIA GÓMEZ MONTENEGRO
NICOLAS GUARIN LONDOÑO
SANTIAGO HENAO GRISALES
MELISSA HERNANDEZ GOMEZ

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENERIAS
INGENERIA CIVIL
PEREIRA RISARALDA
2020

EFECTOS DEL CULTIVO DE AGUACATE SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DERIVADOS DE DIABASAS, EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA FRIA, DOSQUEBRADAS, RISARALDA

Auxiliares de investigación
NATALIA GÓMEZ MONTENEGRO
NICOLAS GUARIN LONDOÑO
SANTIAGO HENAO GRISALES
MELISSA HERNANDEZ GOMEZ

Director Línea de investigación Gestión del Riesgo y Desarrollo Sostenible
ALEJANDRO ALZATE BUITRAGO

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENERIAS
INGENERIA CIVIL
PEREIRA RISARALDA
2020

Tabla de Contenido

Resumen 5

1. Introducción 6

2. Planteamiento del problema 8

2.1. Descripción del problema 8

2.2. Formulación de la pregunta de investigación 9

3. Justificación 10

4. Objetivos de la Investigación 12

4.1. Objetivo general 12

4.2. Objetivos específicos 12

5. Marco referencial 13

5.1. Marco teórico 13

5.2. Marco legal (normativo) 21

5.3. Marco conceptual 24

6. Diseño metodológico 27

6.1. Enfoque de investigación y tipo de estudio 27

6.2. Matriz de diseño metodológico 27

6.3. Fases y resultados de la investigación 28

7. Resultados de la Investigación 30

7.1. Estado del arte de la relación suelo-vegetación como agente condicionante de deslizamientos 30

7.2. Diagnóstico de las propiedades físico-mecánicas de los suelos derivados de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate, en la microcuenca de la quebrada La Fría. 32

7.3. Variación de las propiedades mecánicas de los suelos derivados de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate. 39

8. Conclusiones 42

9. Recomendaciones 44

10. Referencias Bibliográficas 45

Lista de Tablas

Tabla 1. Marco legal 21
Tabla 2. Matriz de diseño metodológico 28
Tabla 3. Fase I. Estudio bibliográfico y revisión de antecedentes 28
Tabla 4 Fase 2- Descripcion de la zona de estudio 29
Tabla 5. Diagnóstico y caracterización 29
Tabla 6. Matriz de resultados prueba piloto 33
Tabla 7. Matriz de resultados Mes 1 (Perforaciones radiales al árbol de aguacate) 34
Tabla 8. Matriz de resultados Mes 2 (Perforaciones radiales al árbol de aguacate) 35
Tabla 9. Promedios variables fisicomecanicas 36
Tabla 10. Tabla resumen propiedades mecánicas del suelo 37
Tabla 11.Registro de precipitaciones de los días 15 de mayo y 05 Julio de 2019 40
Tabla 12 Registro de precipitaciones de mayo, junio y julio. 40

Lista de Figuras

Figura 1. esfuerzo-deformación y presión cortante – presión normal 14
Figura 2. Clasificación general de los movimientos en masa: 20
Figura 3. Variación de la cohesión como variable mecánica del suelo 38
Figura 4. Variación de la resistencia al corte en suelos derivados de diabasa con incidencia del cultivo de aguacate. 39

Resumen

La susceptibilidad de los terrenos esta sujeta a diversas variables que inciden directa o indirectamente en los deslizamientos, una de estas variables es la vegetación, pues esta juega un papel importante en el refuerzo del suelo y la estabilización de la pendiente. De este modo el objetivo de la investigación se basa en establecer las posibles relaciones entre el cultivo de aguacate y la variación de las propiedades mecánicas de suelos residuales de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría, municipio de Dosquebradas, Risaralda. Esta investigación de naturaleza mixta es de tipo descriptivo, puesto que se expone un estado del arte de la relación suelo-vegetación como agente detonante de deslizamientos y también se describen las propiedades físico-mecánicas de los suelos derivados de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría. Para la fase experimental, la investigación se centró en identificar las variaciones en las propiedades mecánicas de los suelos residuales de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate. Esta investigación concluyó que existe una probabilidad de ocurrencia de deslizamiento en el suelo de esta zona por diversos factores como la humedad y el tipo de suelo, reflejado en variables como la cohesión y la precipitación.

Palabras claves: deslizamientos, susceptibilidad, microcuenca, sectorización, resistencia al corte, infraestructura urbana.

Abstract

The susceptibility of the terrain is subject to various variables that directly or indirectly affect landslides, one of these variables is vegetation, as this plays an important role in the reinforcement of the soil and the stabilization of the slope. In this way the research objective is based on establishing the possible relationships between the cultivation of avocado and the variation of the mechanical properties of residual diapathic soils, in the microseasque of the La Fría ravine, municipality of Dosquebradas, Risaralda. This mixed research is descriptive in nature, since a state of the art of the soil-vegetation ratio is exposed as a slide-detonating agent and also describes the physical-mechanical properties of diabase-derived soils, in the microseasque of the ravine. For the experimental phase, the research focuses on identifying variations in the mechanical properties of the residual soils of diabasas, associated with avocado cultivation. This research concluded that there is a probability of occurrence of sliding on the ground in this area by several factors such as moisture and soil type, as reflected in variables cohesion and precipitation.

KEY WORDS: Slippage, susceptibility, microbeines, cut resistance, sectorization, urban Infrastructure.

1. Introducción

Según Mantilla (2001), “en las regiones cafeteras se ubican, uno de los fenómenos naturales que causa mayores pérdidas económicas y amenaza es el relacionado con la inestabilidad de las laderas debida a los movimientos en masa” (p.61).

Ahora bien, Medina expone:

> cualquier superficie inclinada de una masa de suelo conformada por procesos naturales o artificiales está sujeta a eventos desestabilizantes según actúen en duración e intensidad las perturbaciones externas e internas, las cuales conllevaran a un deterioro progresivo de la resistencia del suelo provocando su falla, que a su vez pueden ser de diferentes tipos como rotacional, traslacional, múltiple, reptación o cedencia lenta, fallas por erosión o fallas por agrietamiento
>
> Los suelos residuales, se encuentran predominantemente en las zonas tropicales, sus propiedades son diferentes a los suelos transportados, por lo general las propiedades de los suelos residuales son controlados por la textura, mineralogía y estructura de la masa original heredadas por el suelo. Específicamente, el comportamiento de los taludes es controlado por las estructuras o rasgos geológicos. (2017).

La presente investigación se centra en un estudio de susceptibilidad del terreno de la microcuenca de la quebrada la Fría en Dosquebradas, Risaralda, la cual es propensa a sufrir deslizamientos. De este modo se tiene en cuenta para realizar la investigación y generar los resultados, factores intrínsecos del terreno y desencadenantes que inciden en la generación de dichos fenómenos y acontecimientos. Así mismo, pretende determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos derivados de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría e identificar las variaciones en las propiedades mecánicas de los suelos residuales de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate.

La naturaleza del proyecto es de carácter cualitativo y cuantitativo, ya que su función es la describir fenóemnos o generar teoría a partir de los datos obtenidos, lo que permite determinar la existencia de algunos factores que son definitivos en la generación de procesos de remoción en masa.

La microcuenca la Fría, ubicada en el área Noroccidental de Dosquebradas comprende un área de 4.97 km^2 y presenta unas características morfométricas, geológicas, climatológicas y de usos del suelo que la hacen un territorio altamente susceptible a la ocurrencia de deslizamientos. El ejercicio investigativo pretende establecer las relaciones entre la cohesión y sus posibles variaciones asociadas al cultivo del aguacate y las tasas de precipitación locales, con la resistencial cortante de suelos derivados de diabsas. En general, la investigación plantea la importancia de la vegetación como agente condicionador de la

resistencia al cortante de suelos y regulador de la dinámica de la circulación de aguas de infiltración, mediante el efecto de su entramado radicular.

2. Planteamiento del problema

2.1.Descripción del problema

Dosquebradas cuenta con uno de los mayores crecimientos demográficos en el país, ya que, en tan solo 29 años, entre 1964 y 1993 logró sextuplicar su población. Su expansión poblacional acelerado y desordenado ha generado que mucha población se asentara en sitios con restricciones de urbanización al ser vulnerables a fenómenos como inundaciones, avenidas torrenciales o deslizamientos.

El municipio de Dosquebradas, Risaralda, no es ajeno a estos acontecimientos y según la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER,2013), es un municipio industrial atravesado por 32 quebradas, pertenecientes a la subcuenca de la quebrada Dosquebradas y a la cuenca del Rio Otún, que posee: “una alta intervención humana debida en gran parte a la zona urbana en su zona media y baja del municipio que lleva su mismo nombre y a la zona de explotación agrícola y pecuaria en la zona alta” (p.5)

La Fría es considerada una microcuenca, está ubicada en el área Noroccidental de Dosquebradas y nace en el Alto del Nudo a 2.180 metros sobre el nivel del mar; su Latitud es: 4° 49' 50,3" (4,8307°) norte, su Longitud: 75° 41' 47" (75,6964°) oeste. La quebrada recorre un trayecto en sentido Norte – Sur y limita con las microcuencas de las quebradas La Cristalina, el Oso y la Gutiérrez. (CARDER, 2013)

La zona de la Microcuenca La Fría presenta alta intervención humana representada en viviendas, vías, cultivos, entre otros que se convierten en un reto para poder mitigar los deslizamientos del lugar, dado que la dinámica de uso de los suelos se convierte en un factor importante, que eventualemnente, como lo sugieren algunos autores, juega un papel importante como agente detonante de deslizamientos. De igual forma, en la microcuenca La Fría se han asentado en períodos recientes grandes extensiones de monocultivo, destacándose el del agacate y algunos cultivos limpios.

En general la microcuenca presenta conflictos de uso, debido a la fuerte intervención humana. Estas intervenciones configuran un escenario de susceptibilidad a los delizamientos bastante complejo, dado que el desarraigo de la vegetación nativa y la implantación de prácticas agrícloas pueden desencadenar la ocurrencia de deslizamientos de diferente magnitud.

El perfil de suelo de la microcuenca de la Quebrada la Fría sigue un patrón particular; en la parte baja se ubican fragmentos de rocas basálticas, y en la parte alta que antecede al suelo orgánico se encuentran las cenizas volcánicas, este patrón continua a lo largo de la montaña, pero debido a la intervención humana este se ve alterado necesariamente, por efecto d ela erosión superficial y de remoción en masa.

De esta manera, existen algunos factores que son determinantes en la generación de procesos de remoción en masa, ocasionando una situación potencialmente inestable. Según Urrego (2016), estos son principalmente: “la geomorfología, geología, geotecnia y vegetación, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa” (p.7).

Por lo tanto, es necesario, realizar un diagnóstico de la condición actual del territorio que rodea la microcuenca, específicamente en la quebrada La Fría, con el fin de determinar los efectos e incidencias en la variación de las propiedades mecánicas de suelos derivados de diabasas y los respectivos agentes detonantes de riesgo, y su relación con los deslizamientos, que consecuentemente incrementen el riesgo y la seguridad, producción y el bienestar de las personas de la zona y de los que operan el cultivo de aguacate.

2.2.Formulación de la pregunta de investigación

¿Cuáles son los efectos e incidencia del cultivo de aguacate en la variación de las propiedades mecánicas de suelos derivados de diabasas, localizados en la microcuenca de la quebrada La Fría?

3. Justificación

Teniendo en cuenta que los suelos residuales o tropicales, son más propensos a causar fenómenos geológicos destructivos que han generado incontables muertes y pérdidas financieras a nivel global, además, que el uso inadecuado del suelo se sigue presentando como un factor común en los cultivos y el sector agro en general en el país, es de gran importancia estudiar y establecer las posibles relaciones entre el cultivo de aguacate y la variación de las propiedades mecánicas de suelos residuales de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría, municipio de Dosquebradas, Risaralda.

Dado lo anterior, esta investigación es importante, en la medida que se analiza específicamente la vegetación como agente controlador de la ocurrencia de deslizamientos. De allí, también radica la importancia de conocer los agentes detonantes que incrementan las probabilidades y consecuencias de las remociones en masa. De acuerdo con esto, Sidle y Ochiai (2006) citado en Leal (2015), afirman que los deslizamientos están "influenciados por múltiples factores que van desde los procesos geológicos del área, características del suelo, pendientes, entre otras; los autores señalan que las coberturas vegetales juegan también un papel importante en el proceso de formación de la tierra y sus componentes" (p.13).

Con respecto al grado de innovación, la investigación es novedosa dado que el estudio de estos factores se debe actualizar constantemente, pues las transformaciones en el suelo a causa de los monocultivos generan cambios antrópicos en la condición ambiental de las zonas de riesgo como las fallas, lo que a su vez causa cambios en los suelos, la capa vegetal y los materiales geológicos que las componen, convirtiéndolas en áreas de riesgo o en su defecto en áreas afectadas por los deslizamientos.

Bejár y Roggenbuck (1995), afirman que el mal uso de los suelos, especialmente los residuales, genera un impacto económico, social y ambiental poco prometedor, pues se estanca el desarrollo rural sostenible de las comunidades de la zona, se altera el medio ambiente y se degradan los recursos naturales. A continuación, se detalla el impacto de la elaboración de este proyecto desde una visión económica, social y ambiental

Con respecto al impacto económico, se resalta que la ejecución de este proyecto genera un beneficio para el sector y la comunidad en general, creando un mayor nivel de competitividad y mejorando la calidad de vida en cuanto a las condiciones de habitabilidad de la población. Además, es de gran ayuda para que los entes departamentales encargados de estos temas, específicamente la CARDER, inviertan menos recursos de capital humano y económico en la búsqueda de las causas y las estrategias más adecuadas para mitigar estos sucesos.

Desde una perspectiva social, la investigación impacta de forma positiva a las comunidades asentadas en las zonas cercanas de la quebrada la Fría, las cuales se ven

susceptibles a deslizamientos de tierra constantemente, causando consecuencias como la dificultad de acceso y el desabastecimiento de enseres, pérdidas económicas y enfermedades.

Es importante resaltar que el proyecto también tiene un alto impacto ambiental, puesto que según Gallegos (2012), "el modelo de producción y consumo adoptado por la mayoría de los países de las Américas es depredador por naturaleza. El uso intensivo de bosques, suelo, agua y biodiversidad pone en peligro la sostenibilidad del planeta" (p.11) Además, con base al monocultivo de aguacate estudiado, Madero (2012) determino que:

> Altos contenidos de materia orgánica no siempre evitan la degradación por efecto de maquinaria en suelos con contenidos de humedad altos debidos fundamentalmente a las siembras escalonadas y a la variabilidad del clima. El cultivo continuado de los suelos los hace susceptibles al daño. (p.15)

Entonces, la investigación genera un alto impacto, pues esta problemática, contribuye a la degradación ambiental, restringe el desarrollo económico, amenaza y genera conflictos e inseguridad. Sobre todo, en las comunidades más vulnerables (SNET 2010).

4. Objetivos de la Investigación

4.1.Objetivo general

Establecer las posibles relaciones entre el cultivo de aguacate y la variación de las propiedades mecánicas de suelos residuales de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría, municipio de Dosquebradas, Risaralda.

4.2.Objetivos específicos

- Adelantar el estado del arte de la relación suelo-vegetación como agente detonante de deslizamientos.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos derivados de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría.
- Identificar las variaciones en las propiedades mecánicas de los suelos residuales de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate.

5. Marco referencial

5.1.Marco teórico

Resistencia al cortante de suelos

Al considerar la plasticidad "Los suelos, como cualquier material, bajo ciertas solicitaciones, se comportarán como materiales elásticos, pero en muchas ocasiones tendrá deformaciones mayores de las normales, por lo que será un factor predominante" (Salazar et ál., 2018). Así mismo, el suelo puede presentar diversos tipos de fallas tales como: disgregamiento, deslizamiento en líneas de rotura o fluencia plástica. Con relación a la resistencia al cortante Rivera, afirma que:

> Corresponde al punto más alto de la curva esfuerzo-deformación. La utilización de la resistencia pico en el análisis de estabilidad asume que la resistencia pico se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores que en otros, en un fenómeno de falla progresiva y asumir que la resistencia pico actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis (1998, p.28).

La resistencia al corte según Varnes et ál. (1958), queda determinada por la cohesión y fricción interna, de acuerdo con la Ley de Coulomb: $S = C + \sigma \tan \upsilon$

Donde S es la resistencia al corte;
C es la cohesión efectiva;
σ es el esfuerzo efectivo y
υ el ángulo de fricción interna.

Así mismo afirma que:

> Las raíces incrementan la resistencia al corte del suelo en un término de Resistencia al corte o de la Cohesión. La cohesión y la fricción interna son función del material, la estructura, la vegetación y las condiciones hídricas de la ladera; mientras que el esfuerzo cortante depende del peso del material, es decir, del talud y de la pendiente del mismo (Varnes, 1958, p.39).

En teoría, cuando ocurre un deslizamiento (falla), la raíz se deforma para y actúa como refuerzo, lo cual genera una resistencia a la tracción, evitando de tal forma no sólo su rompimiento, sino además retardando la falla del suelo. (Varnes et ál., 1958)

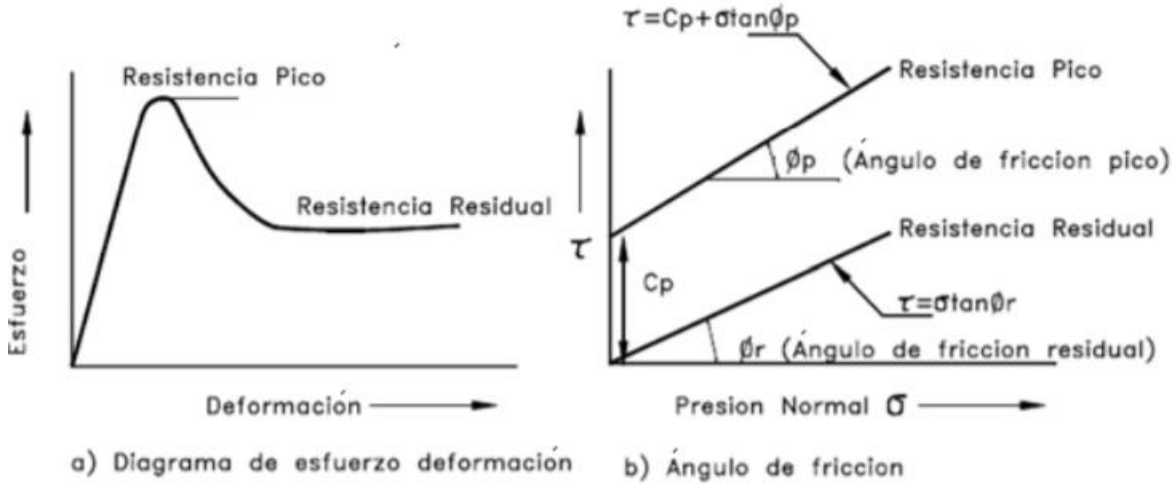
De esta manera, Varnes, señala que:

> La resistencia suelo cortante la cual posee el material después de haber ocurrido la falla, se observó que, en las arcillas sobre consolidadas, la resistencia calculada del análisis de deslizamientos después de ocurridos correspondía al valor de resistencia residual y recomendó utilizar para el cálculo de factores de seguridad, los valores de los parámetros obtenidos para la resistencia residual φr y cr (1958, p.23).

Sin embargo, en los suelos residuales la resistencia pico tiende a ser generalmente, muy similar a la resistencia residual. Otro factor que determinan las diferencias entre la resistencia pico y la residual es la sensibilidad, la cual está relacionada con la perdida de resistencia por remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla. (Varnes et ál., 1978).

Es así, como en la Figura 1 se puede observar la curva esfuerzo-deformación y el comportamiento de la presión cortante-presión normal:

Figura 1. esfuerzo-deformación y presión cortante – presión normal



Fuente: Varnes (1958).

Lo que explica como en arenas, gravas y limos no plásticos, los cuales se denominan suelos granulares, la cohesión es muy baja y puede en muchos casos considerarse de valor cero y el ángulo de fricción, según Salazar (2018), "depende de la angulosidad y tamaño de las partículas, su constitución mineralógica y su densidad" (p.43). Generalmente Rivera (1998), afirma que "el ángulo de fricción en suelos granulares varía de 27° a 42°, dependiendo del tipo de ensayo que se realice. Por ejemplo, en un ensayo triaxial drenado el ángulo de fricción es 4° a 5° medido en un ensayo de corte directo" (p.4).

Entonces, Rivera (1998), argumenta que:

> En arcillas normalmente consolidadas y limos arcillosos se puede considerar la fricción igual a cero y la cohesión como el valor total del esfuerzo de resistencia obtenida. En suelos residuales generalmente, predominan las mezclas de partículas granulares y arcillosas y el ángulo de fricción depende de la proporción grava-arena-limo y arcilla y de las características de cada tipo de partícula presente (p.12).

Relación Suelo Vegetación:

Desde hace varias décadas han sido construidas cientos de estructuras de refuerzo que han tenido como objetivo mejorar la calidad de los suelos de zonas de ladera con probabilidad

de deslizamientos, dejándose de lado el empleo de coberturas vegetales arbóreas y arbustivas a efectos de estabilizar laderas y suelos en general. Vidal (1969) citado por Gray y Sotir (1996) patentó una estructura de refuerzo de laderas que en su principio semejaba lo que hacen las raíces; el método consistía en una plataforma metálica reforzada con láminas o tiras metálicas transversales y longitudinales, en una matriz de suelo granular. (Cuenca et ál., s.f).

Otra metodología para el refuerzo de suelos es aquella denominada "pilar de raíces reticuladas", que consiste en la simulación de la acción de las raíces de los árboles arreglando una malla de diámetro pequeño, reforzada con pilares de concreto; de esta forma se tiene la masa unida como un todo o masa unitaria. (Cuenca et ál., s.f)

El papel desempeñado por las raíces en términos del refuerzo del suelo no es tan simple como lo es el de estas estructuras artificiales; ya que las raíces no tienen la resistencia mecánica de las bandas de acero, en el suelo se comportan de una manera más compleja, ya que ejercen fuerzas de tensión además de transferencia de tracción a lo largo y ancho del refuerzo. (Cuenca et ál., s.f)

Puntos a favor del carácter propio a las raíces se tienen en la capacidad de recuperación y regeneración frente a daños físicos, así como en la bio-adaptación, a través de la cual responden una vez se presentan condiciones desfavorables de topografía y disponibilidad de agua, entre otros. En general, al removerse la vegetación de las laderas, tiende a incrementarse la inestabilidad y la frecuencia de movimientos en masa. (Cuenca et ál., s.f)

De esta manera, hay buena evidencia de que en muchas litologías la remoción de bosques de las laderas produce un incremento en la ocurrencia de deslizamientos (Hawley y Dymond et, ál., 1988). El refuerzo de las raíces es el mecanismo más obvio de influencia de la vegetación en la estabilización de vertientes; la entremezcla de raíces laterales tiende a unir el suelo en una masa única. (Cuenca et ál., s.f)

Rivera, establece que:

> La resistencia del suelo alcanza el doble del valor cuando está presente la vegetación en el lugar. Pero que este es limitado por la localización y distribución del sistema reticulado de las raíces y el suelo se vuelve un material compuesto en el cual las fibras relativamente elásticas con fuertes tensiones se encuentran embebidas en una matriz de suelo relativamente plástico (1998, p. 28).

Lo anterior significa que los esfuerzos de tensión de un suelo generan resistencia a la tensión en las fibras, las cuales aportan una mayor resistencia al suelo. Sin embargo, la resistencia que le imparte la vegetación al suelo solo se puede garantizar para movimiento de suaves o de poca profundidad, Rivera et ál. (1998) anotan que los árboles que crecen sobre

laderas inhiben los deslizamientos superficiales en su vecindad; estos autores desarrollaron un método para medir el efecto de estabilización impartido por los árboles en las laderas, especialmente válido para amplios espaciamientos entre ejemplares.

Movimientos de Masa

Teniendo en cuenta, los (MM) Movimientos de Masa, es importante diferenciar entre la erosión hídrica y los movimientos en masa, es así como Salazar (2018), expone que "los movimientos en masa se definen como el desplazamiento o rotación de porciones de suelo, roca o de ambos materiales a lo largo y ancho de una pendiente" (p.37), y según Hudson (1982), considera que "la erosión hídrica se refiere a la pérdida paulatina de la capa superficial del suelo, debido a la acción de la lluvia" (p.38)

Sin Embargo, cabe resaltar que uno de los primeros investigadores en clasificar los movimientos de masa fue el estadounidense Sharpe en 1938, dejando unas bases de referencia, las cuales Varnes (1958), retomo y las denomino, como deslizamiento de tierra, inicialmente por tipo de material (suelo y roca) y por tipo de movimiento (caída, deslizamiento y flujo). Así mismo, veinte años después Varnes (1978) presentó una clasificación mejorada de movimientos en masa, al recoger las críticas suscitadas por otros investigadores donde se referían en como los "deslizamientos (slides) correspondían tan solo a un tipo de movimiento en masa, por ello los distinguió por tipo de material (suelo, roca y escombros o detritos) y tipo de movimiento (caída, derrumbe, deslizamiento, esparcimiento lateral, flujo y complejo)" (Salazar et ál., 2018, p.37).

No obstante, Varnes (1978), consideraba "como los materiales pueden variar con el tiempo y de un lugar a otro y por lo tanto el acoger una clasificación rígida no sería práctico ni deseable" (Salazar et ál., 2018, p.38). De este modo, Según Sassa (2007) durante la reunión del Decenio Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres Naturales (DIRDN) en 1990-2000, afirmo que "los investigadores de deslizamientos de las principales asociaciones del mundo acordaron en términos generales la definición de los deslizamientos de tierra como "el movimiento de una masa de roca, detritos o tierra por una pendiente" (p.41). De igual modo que habían sido definidos según Salazar (2018) por Cruden y Varnes (1996). Fue así, como en la misma reunión, también acogieron lo propuesto por Cruden 1991 sobre el uso genérico de la palabra deslizamiento de tierra (landslide) para "referirse a una gran variedad de movimientos en masa" (p.38).

De esta manera, para Cruden (1991), la ocurrencia de un movimiento en masa (MM) "exhibe atributos geomorfológicos característicos; según el mismo autor, estos pueden asociarse a la masa desplazada o al terreno que no fue afectado" (p.29). Entre estos elementos geomorfológicos, según Salazar (2018), se destacan "la corona, el escarpe principal, la superficie de falla, el cuerpo, los flancos, el frente y el pie" (p.38).

Así mismo, Cruden y Varnes (1996), consideraban que los movimientos de masas, pueden ser tipificados según:

> El desplazamiento relativo, la velocidad de movimiento, el tipo y tamaño del material involucrado, la actividad relativa, la dimensión relativa, el grado de desarrollo, el mecanismo de transporte, la forma del depósito, los procesos geomorfológicos, el avance, la forma de ocurrencia, la forma y mecanismo de ruptura, la génesis, y el agente detonante entre otros (p.39).

De igual forma, según Cruden y Varnes (1996), los (MM) se pueden clasificar "por su magnitud en relación con el volumen, actividad y velocidad e intensidad en los daños que ocasiona; éstos también pueden ser tipificados por su profundidad, en deslizamientos superficiales y profundos" (p.41).

Cabe resaltar, que según Hoyos (2006), define a los deslizamientos superficiales, "como aquellos que afectan la parte más externa de la masa de suelo donde sus dimensiones superficiales son mayores que su profundidad; normalmente esta relación es superior que 4, y su profundidad varía entre unos pocos decímetros y un poco más de 1 m" (p.40), así mismo, Hoyos (2006) define el movimiento en masa profundo como "el que afecta la masa de suelo hasta profundidades en el intervalo de metros a decenas de metros y la relación entre sus dimensiones superficiales y la profundidad normalmente es menor que 4" (p.41). De igual manera, el deslizamiento, según Medina (2017), "es una masa de roca que se ha deslizado o desliza cuesta abajo por la vertiente o talud al efecto de la fuerza de gravedad, presión hidrodinámica, fuerzas sísmicas, etc." (p.19).

Salazar (2018), consideraba que los movimientos en masa "son uno de los muchos procesos naturales que dan forma a la superficie de la tierra, sin embargo, desde el punto de vista antropocéntrico, solo cuando éstos amenazan a la humanidad representan un peligro" (p.4). De iguar forma asevera que "cada año miles de personas sucumben ante la ocurrencia de desastres como terremotos, tsunamis, inundaciones, huracanes, erupciones volcánicas y en Colombia uno de los fenómenos que más causa pérdidas económicas y de vidas humanas es el relacionado con remociones en masa" (p.4).

Teniendo en cuenta que los movimientos en masa a nivel global son procesos geológicos destructivos que han sido los responsables de incontables muertes y pérdidas financieras a manera directa por año, no obstante, este fenómeno de agentes detonados a causa de lluvias, ha afectado directamente a Colombia y gran parte a la región andina y pacífica, generando pérdidas económicas para las regiones (Medina, 2017).

La carencia de planificación en el uso del suelo y el manejo inadecuado del mismo en zonas de ladera tropical húmeda según Salazar (2018), "acelera su degradación por erosión y movimientos en masa, por lo cual la mejor medida para contrarrestar dichos eventos es la

prevención y ésta únicamente se logra mediante el conocimiento de la susceptibilidad de las laderas a los deslizamientos, las causas y efectos de dichos eventos y las formas adecuadas para prevenirlos y mitigarlos" (p.4).

En el mismo sentido, Salazar citando a (Sidle y Ochiai, 2006) escribe:

> en el ámbito mundial son escasos los avances en la modelación de la susceptibilidad, amenaza y riesgo por deslizamientos en regiones de montaña húmeda tropical de difícil acceso y donde la información geo ambiental y científica es escasa. La mayor inversión en la investigación sobre la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa se realiza en condiciones subtropicales en centros urbanos densamente poblados y en sitios específicos donde los movimientos en masa en especial los de tipo superficial tienen un impacto potencial alto en los recursos económicos y en las vidas humanas (2018, p. 33)

En términos generales, el fenómeno o consecuencia natural que ha generado más daños en los países en vía de desarrollo del mundo, han sido los deslizamientos de tierra, los cuales ocasionan más catástrofes que cualquier otro tipo de desastre natural. Según medina (2017), argumenta que:

> Estos desastres se han incrementado a causa de la mayor exposición de la población, los cambios en el uso del suelo y el cambio climático. Reparar los daños resulta costoso, además de irreparable, por esta razón se ha empezado a desarrollar conocimiento de los eventos, sistemas de alerta temprana, estrategias de prevención del riesgo y restricciones en el uso del suelo con el propósito de reducir o evitar la pérdida de vidas humanas y de bienes (p.12).

No obstante, es importante resaltar que según (Sidle y Ochiai, 2006), "existen cuatro herramientas o modelos para evaluar la amenaza por movimientos en masa, de los cuales se cuenta con escasa información sobre su aplicación en condiciones tropicales húmedas de ladera" (p.34), así mismo, asegura que estos según su grado de complejidad son: "(1) el mapeo de la amenaza en el terreno, (2) establecimiento de relaciones simples lluvia vs. movimientos en masa, (3) modelos empíricos multifactoriales, (4) modelos distribuidos con base física" (p.35).

Sidle y Ochiai, (2006), aseguran que:

> Estos modelos contribuyen a evaluar la susceptibilidad y amenaza a movimientos en masa a escala regional o de cuenca y pueden ser herramientas de predicción para áreas específicas y para el desarrollo de sistemas de alerta en tiempo real temas que además son de interés para la comunidad científica mundial. (p.35).

Actualmente, a través de diferentes investigaciones a nivel global, se ha evidenciado estudios detallados sobre la incidencia de las precipitaciones como elementos detonantes de

deslizamiento. En Colombia, este tipo de investigaciones han desarrollado relaciones entre infiltraciones distantes y movimientos de masa, demostrando como los fenómenos macro climáticos, inciden en el número de deslizamientos con marcado incremento de eventos por año en épocas de fenómenos que contemplen temporada de lluvia constante, lluvias antecedentes y lluvias diarias, precipitaciones y deslizamientos en las cuencas de las quebradas a causa de la influencia de la lluvia sobre los deslizamientos en el departamento de Risaralda. (Gómez, 1990)

Se debe resaltar, de acuerdo con el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET 2004), que los movimientos de tierra se clasifican en tres grandes grupos:

Derrumbes: suceden al desprenderse o volcarse bloques o fragmentos rocosos que caen con gran velocidad casi en caída libre.

Deslizamientos: ocurren cuando una masa de suelo se mueve y desliza sobre una superficie de ruptura. Pueden ser de tipo rotacional o translacional.

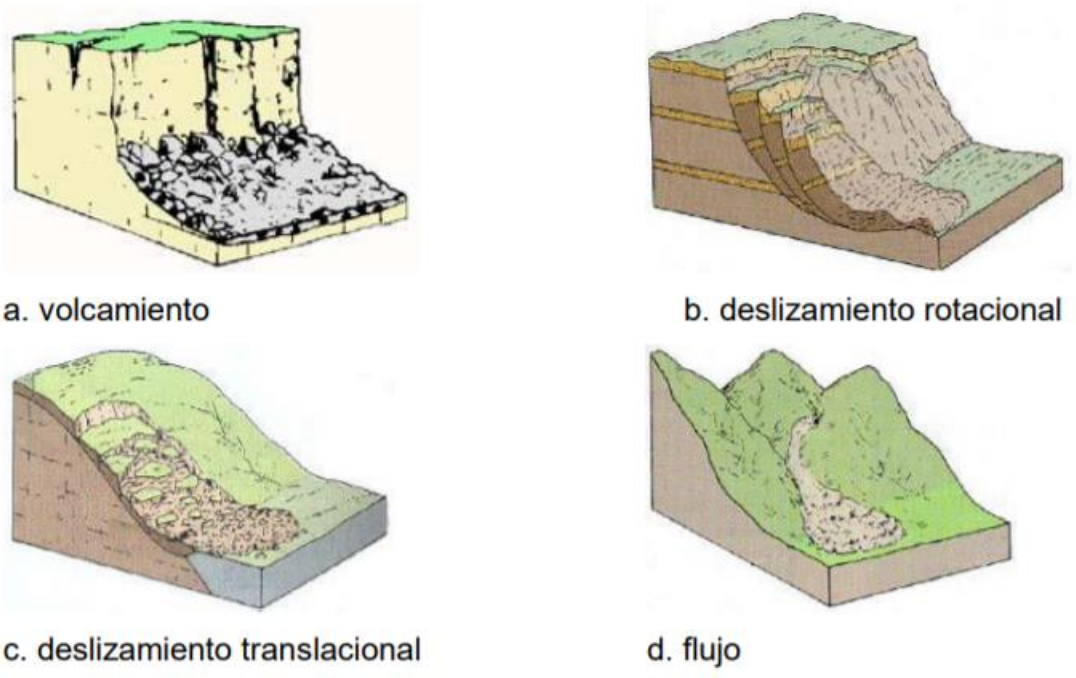
Flujos: se caracterizan porque la masa deslizante se rompe y disgrega hasta convertirse en una masa viscosa que fluye hacia las partes más bajas de la ladera.

De esta manera, es importante resaltar que los deslizamientos de tierra son considerados fenómenos naturales que demandan estudios, debido a que su impacto genera consecuencias como pérdidas humanas, materiales, económicas, entre otras. Generando un incremento de la población, y a su vez creando la necesidad de desarrollar construcciones de viviendas, las cuales según Medina (2017), “en muchas ocasiones se han realizado sin tener en cuenta “estudios físicos de estabilidad de los suelos, grado de las pendientes, geología, uso del suelo, entre otras, que den pautas claras sobre los rangos de susceptibilidad” (p.3). Así mismo, afirma que “la construcción de carreteras ha conllevado una considerable cantidad de cortes que han desestabilizado los suelos generando deslizamientos continuos en las épocas de lluvias intensas” (p.3).

No obstante, las transformaciones y cambios debido a las actividades culturales, sociales, económicas y antrópicas que se han generado con el pasar de los años, han generado cambios en la condición ambiental del contexto actual, ocasionando que los diferentes suelos de la región sufran cambios, convirtiéndose en áreas susceptibles a los diferentes agentes detonantes como lo son los deslizamientos, sismos, el clima, entre otros causando la aparición de fenómenos como la remoción de masa. (Medina, 2017)

Dado lo anterior, en la Figura 2 se puede observar la clasificación general de los movimientos en masa:

Figura 2. Clasificación general de los movimientos en masa:



Fuente: Varnes, (1978).

Factores detonantes de deslizamientos en la región cafetera de Colombia

Cabe resaltar, que según Banco Mundial Colombia (2012), afirma que:

> Colombia ha sido considerada pionera en América Latina en el desarrollo de una visión más integral frente al tratamiento de los riesgos y desastres, permitiendo una disminución de las pérdidas de vidas; sin embargo, los daños en la propiedad, la infraestructura y los medios de subsistencia siguen en aumento y evidencian que los desastres no son eventos de la naturaleza per se, sino el resultado de la aplicación de modelos inapropiados de desarrollo que no consideran la relación sociedad-naturaleza (p.28).

Así mismo, la zona cafetera de Colombia, que comprende más de 7.000.000 de hectáreas, en una geografía altamente montañosa ubicada en altitudes entre los 800 m a 2200 m, en las cordilleras Occidental, Central y Oriental y la Sierra Nevada de Santa Marta se ve afectada en las épocas de lluvia por procesos de erosión hídrica y movimientos en masa (Gómez y Alarcón, 1975), ambos amenazan las áreas de cultivo, vías, viviendas, instituciones educativas, fuentes hídricas, los acueductos, embalses, animales y las vidas humanas y por ende tiene impactos negativos en la sostenibilidad de esta región (Salazar et ál., 2018).

De esta manera, según Salazar e Hincapié (2013) citados por Salazar (2018) las causas de los movimientos en masa en las regiones cafeteras se encuentran diferenciadas entre dos

conjuntos de factores: antrópicos y naturales, Salazar, describe ambos factores de deslizamientos en zonas cafeteras así:

> Los factores naturales:
> - Susceptibilidad o debilidad del material de origen o roca.
> - Susceptibilidad del suelo (propiedades físicas, mecánicas, químicas, hidro edáficas y biológicas).
> - Características del perfil del suelo (cambios fuertes en la permeabilidad del suelo a través del perfil).
> - Las características de la pendiente (grado, longitud, forma), lo que favorece la acción de la gravedad y afecta el comportamiento hidrológico.
> - El clima [precipitación (intensidad, cantidad, frecuencia), temperatura, evapotranspiración].
> - Fluctuación del nivel freático o aguas subsuperficiales.
> - Movimientos telúricos, fallas geológicas, actividad volcánica entre otros.
>
> Los factores antrópicos o aquellos acelerados por el hombre son:
> - La deforestación.
> - Uso inapropiado del suelo de acuerdo a su vocación.
> - Prácticas agrícolas inadecuadas que tienden a desproteger y degradar los suelos.
> - Intervención de las laderas (cortes, excavaciones, sobrecargas).
> - Manejo inadecuado de aguas.
> - Intervención de drenajes naturales, entre otros. (2018, p. 10)

5.2.Marco legal (normativo)

En la Tabla 1, se puede observar el marco legal de la investigación.

Tabla 1 Marco legal

Ley-Decreto-Acuerdo	Descripción
Acuerdo No. 014 de junio 29 del 2000 del municipio de Dosquebradas, Risaralda.	Se crea el Plan de ordenamiento territorial.
Decreto 1547 de 1984	Se crea el Fondo Nacional de Calamidades.
Ley 46 de 1988	Se crea y constituye el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, se otorgan facultades extraordinarias al presidente de la República.

Ley-Decreto-Acuerdo	Descripción
Decreto 919 de 1989	Se establece el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones.
Directiva Presidencial No.33 de 1991	Responsabilidades de los organismos y entidades del sector público en el desarrollo y operación del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres.
Directiva Ministerial 13 de 1992	Responsabilidades del Sistema Educativo como integrante del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres
Decreto 969 de 1995	Se establece y reglamenta la Red Nacional de Centros de Reserva para la atención de emergencias.
Decreto 2190 de 1995	Por el cual, se ordena la elaboración y desarrollo del Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, derivado y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres.
Ley 322 de 1996	Se establece el Sistema Nacional de Bomberos y se dictan otras disposiciones.
Ley 388 de 1997	Se constituye el Plan de Ordenamiento Territorial.
Decreto 93 de 1998	Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
Documento CONPES 3146 de 2001	Estrategia para consolidar la ejecución del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres -PNPAD- en el corto y mediano plazo.
Directiva Presidencial 005 de 2001	Actuación de los distintos niveles de Gobierno frente a Desastre Súbito de carácter Nacional
Ley 812 de 2003	Plan Nacional de Desarrollo: Hacia un Estado Comunitario Título II: Plan de Inversiones Públicas, Capítulo II: Descripción de los Principales Programas de Inversión, Literal (C): Construir Equidad Social, Ordinal 8: Prevención y Mitigación de Riesgos Naturales.
Ley 1450 de 2010: Plan Nacional de Desarrollo 2010- 2014 (Prosperidad para todos)	Sostenibilidad ambiental y prevención del riesgo.
Ley 1523 de 2012	Se acoge la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

Fuente: Elaboración Propia, en base a alcaldía de Dosquebradas oficina municipal para la prevención y atención de desastres 2013-2014.

5.3.Marco conceptual

Amenaza De Inestabilidad: Este concepto de amenaza, se define como el riesgo latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, que alcanza a presentarse en una zona o terreno especifico, y a un tiempo determinado, causando efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente. (Gutiérrez y Parrales et ál., 2017).

Cohesión: La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión. En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos. (Varnes et. Ál., 1978).

Deslizamiento: Radican en movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia debajo de un talud, en el cual se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudaciones. (Gutiérrez y Parrales et ál., 2017).

Erosión: Se trata del proceso de desgaste de la roca madre por procesos geológicos externos. Abarca los cambios que sufre un relieve por la acción de distintos agentes. Estos procesos causantes de la erosión pueden ser el viento, las corrientes de agua, los cambios de temperatura o hasta la acción de seres vivos. Concepto que define otro de los factores causantes de la inestabilidad en laderas. (Gutiérrez y Parrales et ál., 2017).

Escenario de Riesgo: Contexto en la cual concuerdan la amenaza y la vulnerabilidad en una zona y lugar determinado, la ocurrencia del desastre está latente. El escenario de riesgo es construido socialmente a través del tiempo, se relaciona con el tipo de desarrollo dominante en dicho lugar. (García et ál., 2014).

Estabilidad: Es la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento, la cual radica en la naturaleza de los materiales involucrados y en todo un conjunto de escenarios que dependen de cómo se formó el talud y su historia geológica, la igual que de las condiciones climáticas que primaron a lo largo de tal historia y de la influencia del hombre. Debido a lo anterior, es importante, entender esta concepción permite identificar el estado de ladera. (Varnes et ál., 1978).

Fricción: Es la fuerza que existe entre dos superficies ásperas en contacto, que se opone al del deslizamiento. Se genera debido a las imperfecciones, que en mayor parte son microscópicas, entre las superficies en contacto. (Salazar et ál., 2018)

Flujo: En un flujo ocurren movimientos relativos de las partículas, o bloques pequeños, dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie. Según Gutiérrez y Parrales, argumentan que:

Las deformaciones relativas internas son muy grandes y fluyen en forma similar a un líquido viscoso. El flujo puede ser laminar a turbulento. Al aumentar la densidad y la viscosidad, el flujo puede transportar grandes bloques hacia la parte superior (2017, p.45).

Flujos De Residuos (Detritos): Los flujos de residuos o de detritos según Gutiérrez y Parrales (2017) "son movimientos relativamente rápidos que llegan a ser extremadamente rápidos y están compuestos de materiales gruesos con menos del 50% de finos. Por lo general, un flujo de rocas termina en uno de residuos" (p.44).

Gestión del Riesgo: Es la capacidad de la sociedad para transformar los diversos contextos de riesgo ya existentes, interviniendo prioritariamente sobre los orígenes que lo producen. De esta manera, García (2014), considera que "las medidas y formas de intervención que tienden a reducir, mitigar o prevenir los desastres; en otras palabras, es una intervención destinada a modificar las condiciones generadoras de riesgo con el fin de reducir los niveles del mismo y eliminarlo hasta donde sea posible" (p.36). de igual modo García (2014), "Involucra además el conjunto de acciones destinadas al manejo del desastre. Se entiende entonces, como un proceso de administración participativa mediante el cual se formulan y ejecutan programas y proyectos para la prevención de desastres, mitigación de riesgos y atención de emergencias" (p.41).

Límites de Plasticidad: El Límite Plástico LP es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado plástico. En este estado la mezcla se deforma a cualquier forma bajo ligera presión. Por debajo de este contenido de humedad la mezcla está en un estado semi sólido. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LP produce un cambio en el volumen del suelo. Así mismo, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. (Rivera, 1998).

Manejo de Desastres: Conjunto de acciones tendientes a intervenir sobre las consecuencias de un desastre. Atención de la emergencia generada por este, a través de una serie de instrumentos y acciones tendientes a salvar vidas y bienes cuando se presenta un desastre (búsqueda y rescate de heridos, atención médica, alojamiento provisional de afectados, etc.). (García, 2014).

Mitigación: Son procesos y métodos desarrollados con el fin reducir la exposición o vulnerabilidad de una comunidad, de un elemento o de un sistema, amenazados por uno o varios fenómenos de origen natural, social o tecnológico. (García, 2014).

Precipitaciones: La precipitación es el volumen o altura de agua lluvia que cae sobre un área en un periodo de tiempo, la cual tiene una influencia directa en la infiltración y en el régimen del agua subterránea, y a su vez afecta la estabilidad de taludes o laderas. Es así, como este factor da cuenta de la cantidad de agua precipitada, expresada en milímetros por año. (Gutiérrez y Parrales, 2017).

Remoción En Masa: La remoción en masa es el desplazamiento de material litológico, suelo, roca o cobertura vegetal hacia abajo por acción de la fuerza de gravedad, la influencia de la pendiente del terreno y la cohesión o características del material en cada caso. La distancia del recorrido de estos desplazamientos y sus velocidades pueden ser muy variadas. Estos son los movimientos que se presentan en la ladera, producto de la inestabilidad del lugar. (Varnes, 1978).

Resistencia al Corte: La resistencia al cortante se define como el máximo valor de esfuerzo cortante que el suelo puede soportar. (Salazar, 2018)

Talud: Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como ladera cuando su formación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente. (Gutiérrez y Parrales, 2017).

6. Diseño metodológico

6.1.Enfoque de investigación y tipo de estudio

La naturaleza de información es de carácter cualitativo, ya que "su función puede ser describir o generar teoría a partir de los datos obtenidos" (Lerma, 2001, p. 37), es decir, que se basa en las teorías expuestas con información de la variable vegetación como agente detonante de deslizamientos y se detallan las características del cultivo de aguacate y de la microcuenca de la quebrada La Fría en Dosquebradas, Risaralda.

También es de tipo cuantitativo, dado que, según Hernández, et al, (2010), este tipo de investigación pretende: "describir, explicar y predecir, los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos (variables), esto significa que la meta principal es la prueba de hipótesis y la formulación y demostración de teorías" (p.7). Aquí se pretende buscar las relaciones entre el cultivo de aguacate y la variación de las propiedades mecánicas de suelos residuales de diabasas en la microcuenca La Fría, del municipio de Dosquebradas.

La presente investigación adopta la metodología experimental en tiempo transversal, puesto que solo se realiza la recopilación de información con el fin de detallar sus variables o estudiar su recurrencia e interrelación en un determinado momento en un tiempo establecido, es experimental dado que según Serrano, et al (s.f) en este este tipo de estudios se manipula una o más variables por parte del investigador, con el fin de tener un control de su comportamiento, conocer sus puntos de aumento o disminución de las variables y el efecto que generan en los diversos comportamientos observadas.

- Fuentes de recolección de información

Las fuentes de recolección de información se basaron en dos:

- Fuentes primarias: las fuentes primarias se basan en los registros fotográficos de la zona, acompañados de los resultados recolectados en la fase experimental de los agentes detonantes de deslizamiento de la microcuenca la Fria, en Dosquebradas Risaralda.
- Fuentes secundarias: Estas fuentes se centran en la búsqueda de información teórica en documentos, textos, revistas y bases de datos académicas para fundamentar los lineamientos teóricos de la investigación.

6.2.Matriz de diseño metodológico

En la Tabla 2, se puede evidenciar la matriz del diseño metodológico:

Tabla 2 Matriz de diseño metodológico

Objetivo general: Establecer las posibles relaciones entre el cultivo de aguacate y la variación de las propiedades mecánicas de suelos residuales de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría, municipio de Dosquebradas, Risaralda.

Objetivos específicos	Metodología	Instrumentos	Variables
Adelantar el estado del arte de la relación suelo-vegetación como agente detonante de deslizamientos.	Cualitativa	Referencias bibliográficas	
Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos derivados de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría	Experimental		
Identificar las variaciones en las propiedades mecánicas de los suelos residuales de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate.	Cuantitativa	Método	

Fuente: Elaboración de los autores

6.3.Fases y resultados de la investigación

El estudio se divide en 3 fases, las cuales se relacionan directamente con cada objetivo, en la tabla 3, se presenta la fase 1:

Tabla 3. Fase I. Estudio bibliográfico y revisión de antecedentes

Objetivo	Actividades
Adelantar el estado del arte de la relación suelo-vegetación como agente detonante de deslizamientos.	Buscar antecedentes y teorías que justifiquen la relación descrita. Estudio documental y bibliográfico.

Fuente: Elaboración de los autores

Continuando con la descripción de las fases, en la tabla 4 se detalla la fase 2, denominada estudio de agentes detonantes.

Objetivo	Actividades
Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos derivados de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría	Describir la micro y macro localización de la zona de estudio Detallar las características físico-mecánicas de los suelos de la zona de estudio

Tabla 4 Fase 2- Descripcion de la zona de estudio

Fuente: Elaboración de los autores

Finalmente, en la tabla 5 se allá la fase del proceso de investigación:

Tabla 5. Diagnóstico y caracterización

Objetivo	Actividades
Identificar las variaciones en las propiedades mecánicas de los suelos residuales de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate.	Analizar los datos de forma secuencial según el método seleccionado y presentar los resultados.

Fuente: Elaboración de los autores

7. Resultados de la Investigación

A continuación, se procede a mostrar los resultados obtenidos en cada uno de los objetivos, con el fin de dar respuesta al objetivo principal de la investigación, que consiste en establecer las posibles relaciones entre el cultivo de aguacate y la variación de las propiedades mecánicas de suelos residuales de diabasas, específicamente en la microcuenca de la quebrada La Fría, municipio de Dosquebradas, Risaralda.

7.1. Estado del arte de la relación suelo-vegetación como agente condicionante de deslizamientos

Como soporte del desarrollo del estado del arte acerca de la relación suelo vegetación como agente condicionante de la estabilidad de taludes, se consultaron los 17 articulos mas actualizados, consultados en la base de datos Web of Science, con el animo de establecer cuales han sido las evoluciones y dinámicas mas influyentes y aportantes para determinar dicha relación.

Es importante tener en cuenta que la vegetación en estudio son los cultivos de aguacates, por ende, es relevante describir las caracteristicas y demandas biológicas del cultivo de aguacate sobre suelo, como los tipos de macro y micronutrientes que se necesitan, la zona de vida donde se desarrolla con mayor eficiencia, las condiciones de humedad y en general las condiciones geomorfológicas de la pendiente en estudio.

Los cultivos de aguacate crecen en alturas entre 500 y 2500 msnm, necesitan de una humedad relativa del 60%, no toleran encharcamientos de agua y son susceptibles a vientos fuertes; según Fertilab (Laboratorio de Análisis Agricolas), el aguacate requiere suelos muy bien drenados, dado que sus raíces son altamente susceptibles a condiciones de inundación. También necesita de suelos con profundidad efectiva y nivel freático superiores a 1,0 metro y con texturas livianas que favorezcan la formación de un sistema radicular denso y muy ramificado (Avilán et al., 1989).

Para determinar la relación entre el suelo y estos cultivos de aguacate como agentes detonantes de deslizamientos, los autores estudiados se divieron en 3 grupos, de acuerdo al tema de enfasis de sus investigaciones, con el animo de facilitar su análisis y extraer las generalidades mas importantes de cada tema, los cuales son: Vegetacion y su relación con los deslizamientos, raíz como refuerzo de estabilidad del suelo y finalmente se estudiaron algunas propuestas de modelos de estabilidad de suelos por medio del uso plantas.

Con respecto al tema de vegetación y su relación con los deslizamientos, se analizaron los trabajos propuestos por (Bankhead, Thomas y Simon, 2017; Mwaniki, Kuria, Boitt, & Ngigi, 2017; Wang, Meng, Chen, Guo, Xiong & Zeng, 2017; Guo, Chen, Wang, Gao, Guo, Kang & Zhao, 2020; Wang, She, Fei y Tang, 2019), quienes confirman la importancia de la vegetación en zonas donde se puedan presentar deslizamientos como ríos, canales u otros

sistemas fluviales y afirman que el crecimiento de la vegetación proporciona redes de raíces densas y fuertes que estabilizan el suelo y mejoran el medio ambiente, además, indican que la plantación de arboles puede ayudar a mejorar el hábitat y facilitar la restauración del ecosistema.

De manera complementaria los autores identificaron, que la lluvia fue el principal factor desencadenante de deslizamientos de tierra poco profundos y que la vegetación promovió la ocurrencia de deslizamientos de tierra durante la lluvia, lo cual, trae consigo un debate que sumerge a todos los investigadores en identificar los factores detonantes de los deslizamientos, siendo la densidad, la porosidad del suelo, la conductividad hidráulica del suelo saturado, la capacidad de retención de agua y otros de la capa superior y la capa inferior de la superficie deslizante los factores mas comunes en este tipo de deslizamientos en tierras poco profundas.

Tambien, los autores lograron determinar que componentes como el Biochar incorporado con (Pilorizador térmicamente autosostenible y móvil (PAM)) pueden mejorar la calidad del suelo para dar mayor estabilidad a las pendientes en zonas de sistemas fluviales poco lluviosas.

Por otra parte, con relación al efecto de la raíz como refuerzo de estabilidad del suelo Mwaniki, Kuria, Boitt, & Ngigi, (2017), Zhang, Chen, & Jiang, (2014), Edmaier, Crouzy, Ennos, Burlando, & Perona, (2014), Burylo, Hudek, & Rey, (2011) & Vergani, Schwarz, Soldati, Corda, Giadrossich, Chiaradia, & Bassanelli, (2016), argumentan que la identificación y mapeo preliminar de deslizamientos, demuestran que la vegetación cumple una función importante en términos de prevención de movimientos en masa (M.M), debido al refuerzo de las raíces, transfiriendo resistencia al suelo. Así mismo, confirman que la vegetación modifica la humedad del suelo, a través de la evapotranspiración, limitando apariciones de esfuerzos en las zonas residuales por humedad.

No obstante, se logró establecer que el arqueado de las raíces, ocurre cuando el suelo genera movimientos por medio de las filas de los cultivos, los cuales se encuentran finamente anclados en la zona a través de un contacto con rocas o profundidad en su raíz. De esta manera, se confirma que el peso de la vegetación genera un esfuerzo derivado del componente perpendicular, que tiende a maximizar la resistencia al movimiento de masa (Mwaniki et al.,2017).

De igual forma, los autores logran identificar que las raíces finas de los árboles son más fuertes que las raíces más gruesas, lo que demuestra que el papel de la celulosa y la lignina en relación con la estabilidad de la pendiente se debe al apuntalamiento (anclamiento), de los diversos troncos que generan una acción directa en las laderas, contrarrestando las tensiones por las diversas cizalladuras, ya que los troncos generan

funciones similares a un ancla rígida, permitiendo la sostenibilidad contra movimientos superficiales de los taludes.

Basados los modelos de estabilidad, Schmaltz, Van Beek, Bogaard, Kraushaar, Steger, & Glade, (2019), Cislaghi, Chiaradia & Bischetti (2017), y Giadrossich, Cohen, Schwarz, Ganga, Marrosu, Pirastru, & Capra (2019), quienes confirman que el papel de la vegetación tiene que ver entre otros, con interceptación, retención, infiltración, transpiración, aspectos que son determinantes como agentes condicionantes de la estabilidad de taludes, ya que el follaje y residuos de la planta, van absorbiendo de la lluvia la energía, previniendo la compactación del suelo al recibir de manera directa las gotas sobre la superficie de la zona.

Así mismo, se logro identificar que los diversos sistemas de raíces retienen todas las partículas del suelo, al igual que todas las partes aéreas ejecutan funciones similares a trampas de sedimentos, lo que permite que generen una retardación al incrementar la aspereza de los residuos, aumentando el coeficiente de rugosidad de la zona, lo que minimiza la velocidad de escorrentía. No obstante, los autores determinaron que la cohesión y la fricción interna son función del material, la estructura, la vegetación que sustenta y las condiciones hídricas de la ladera.

7.2. Diagnóstico de las propiedades físico-mecánicas de los suelos derivados de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate, en la microcuenca de la quebrada La Fría.

A continuación, se presenta la matriz de los resultados hallados en el trabajo de campo y en los laboratorios, en la cual se recopilan las variaciones de las propiedades físico-mecánicas de cada uno de los sondeos realizados, a diferentes profundidades, con el propósito de evaluar la influencia radicular del árbol de aguacate en el suelo evaluado:

Tabla 6 Matriz de resultados prueba piloto

Variación de las propiedades físicomecanicas de suelos derivados de diabasas a diferentes profundidades y con influencia del cultivo de aguacate										
Mes de seguimiento/perforaciones	**Sondeo**	**Profundidad (m)**	**Propiedades Físicas**				**Propiedades Mcánicas**			
			Clasificación granulométrica	**w (%)**	**L.L**	**L.P.**	**Pesos unitario h (g)**	**Peso unitario seco (g)**	**Cohesión Kg/cm2**	**Angulo de fricción (°)**
Prueba Piloto (Realizada en el Mes 1-mayo)	4	0.5	MH O OH	117.16%			62.9	28.96	0.781	34.65
		1.0								
		1.5							0.835	35.65
		2.0							1.212	22.31
		2.5								
		3.0								

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 7. Matriz de resultados Mes 1 (Perforaciones radiales al árbol de aguacate)

Variación de las propiedades físico-mecánicas de suelos derivados de diabasas a diferentes profundidades y con influencia del cultivo de aguacate

Mes de seguimiento/perforaciones	Sondeo	Profundidad (m)	Propiedades Físicas				Propiedades Mcánicas			
			Clasificación granulométrica	w (%)	L.L	L.P.	Pesos unitario húmedo (g)	Peso unitario seco (g)	Cohesión Kg/cm2	Angulo de fricción (°)
Mes 1 (mayo)	1	0.5								
		1.0		87.20			62.9	33.6	0.049	30.06
		1.5								
		2.0		27.46			75.93	59.57	0.222	28.13
		2.5	MH O OH	26.57	125.74	94.44	77.64	61.34	0.475	35.34
		3.0								
	2	0.5								
		1.0		98.43			63.3	31.9	0.329	23.66
		1.5								
		2.0	MH O OH	98.18	76.05	55.55	65.2	32.9	0.329	23.54
	3	0.5								
		1.0	MH O OH	119.16	73.22	66.66	62.9	28.7	0.352	25.14

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 8. Matriz de resultados Mes 2 (Perforaciones radiales al árbol de aguacate)

Variación de las propiedades físicomecanicas de suelos derivados de diabasas a diferentes profundidades y con influencia del cultivo de aguacate										
Mes de seguimiento/perforaciones	**Sondeo**	**Profundidad (m)**	**Propiedades Físicas**				**Propiedades Mcánicas**			
			Clasificación granulométrica	**w (%)**	**L.L**	**L.P.**	**Pesos unitario húmedo**	**Peso unitario seco**	**Cohesión Kg/cm2**	**Angulo de fricción (°)**
Mes 2 (Julio)	1	0.5								
		1.0							0.340	34.63
		1.5								
		2.0							0.406	35.37
		2.5							1.572	29.21
		3.0								
	2	0.5								
		1.0							0.295	37.78
		1.5								
		2.0							0.271	29.17
	3	0.5								
		1.0								

Fuente: Elaboracion propia

De acuerdo con la información mostrada en las tablas 6-8, las cuales fueron obtenidas en las pruebas de laboratorio, al realizar una comparación de cada sondeo del mes 1 por medio de sus porcentajes se tiene que el contenido de humedad (W) con mayor porcentaje que se encontró fue de 119.16% hallado en el sondeo 3 a una profundidad de 1 metro, indicando que a esta profundidad el suelo presenta una mayor retención de agua, asociada a las precipitaciones (323 mm) presentadas en el mes de mayo, según la Red Hidroclimatologica.

Asi mismo, se halló que en la primera perforación a los 2.5 metros el suelo es un limo de alta compresibilidad con presencia de suelo orgánico. Este tipo de suelo se repite tanto en el sondeo 2 para 2 metros de profundidad como en el sondeo 3 a 1 metro de profundidad.

La tabla 9 resume los resultados de estas matrices, la cual contiene el promedio de los parametros mecánicos evaluados en el desarrollo de la investigación titulada "**efectos del cultivo de aguacate sobre las propiedades mecánicas de suelos derivados de diabasas, en la microcuenca de la quebrada la fria, Dosquebradas, Risaralda",** correspondientes a esfuerzos cortantes, cohesión, y ángulo de fricción, y tal labor se adelanto durante 3 meses realizando sondeos a profundidades de 1, 2 y 3 metros, sin embargo a 2.5 metros se encontró material rocoso (rechazo geotécnico)

Tabla 9. Promedios variables fisicomecánicas

Promedios Por Sondeo					
Mes 1	**w (%)**	**L.L %**	**L.P %**	**Cohesión Kg/cm2**	**Angulo de fricción (°)**
SONDEO 1	47.08	125.74	94.44	0.249	31.18
SONDEO 2	98.31	76.05	55.55	0.329	23.60
SONDEO 3	119.16	73.22	66.66	0.352	25.14
Promedios Por Variable					
Mes 2	**w (%)**	**L.L**	**L.P.**	**Cohesión Kg/cm2**	**Angulo de fricción**
SONDEO 1				0.773	33.07
SONDEO 2				0.283	33.48
Promedios Por Variable					
Mes 1	**w (%)**	**L.L**	**L.P.**	**Cohesión Kg/cm2**	**Angulo de fricción**
Prueba Piloto	117.16			0.942	30.87

Fuente: Elaboracion propia

Con relación a la cohesión evaluada en los 3 sondeos se obtuvieron para el primer mes (mayo) valores promedios de 0.249 kg/cm2 (sondeo 1) , 0.329 kg/cm2 (sondeo 2), 0.352 kg/cm2 (sondeo 3) respectivamente, lo que significa que el suelo es cohesivo debido a que un suelo es categorizado de esta manera cuando su índice de plasticidad supera el 10% y su límite líquido supera el 20% según la carta de plasticidad de la S.U.C.S, además mientras la envolvente de falla no pase por el origen en la representación gráfica de la relación entre los esfuerzos normales y los esfuerzos cortantes serán suelos cohesivos. (Suarez, 1998, p.105)

Al comparar estos valores con las pruebas del mes 2 (julio), donde se tuvo un valor promedio de 0.773 kg/cm2 en el sondeo 1 siendo este más alto en comparación con el promedio del mes anterior. Para el sondeo 2 alcanza un promedio 0.283 kg/cm2 siendo este un poco más bajo comparado con el mes de mayo esto debido a los incrementos de humedad del suelo producto de tasas mayores de precipitaciones.

Tabla 10. Tabla resumen propiedades mecánicas del suelo

Variación de las propiedades mecánicas de suelos derivados de diabasas a diferentes profundidades con influencia del cultivo de aguacate

Mes de seguimiento/perforaciones	Profundidad (m)	Carga Kg	Esfuerzo cortante KPa	Cohesión Kg/cm2	Angulo de fricción (°)
PRUEBA PILOTO (Realizada en el mes 1-Mayo)	1	1	104.071	0.781	34.650
		2	168.156		
		4	224.847		
	2	1	98.065	0.835	35.650
		2	194.361		
		4	230.509		
	2.5	1	120.062	1.212	22.310
		2	195.041		
		4	200.946		
MES 1 (MAYO)	1	1	40.405	0.243	26.287
		2	95.372		
		4	129.250		
	2	1	41.240	0.276	25.835
		2	100.961		
		4	130.092		
	2.5	1	81.667	0.475	35.340
		2	129.601		
		4	202.484		
	1	1	43.104	0.318	36.205

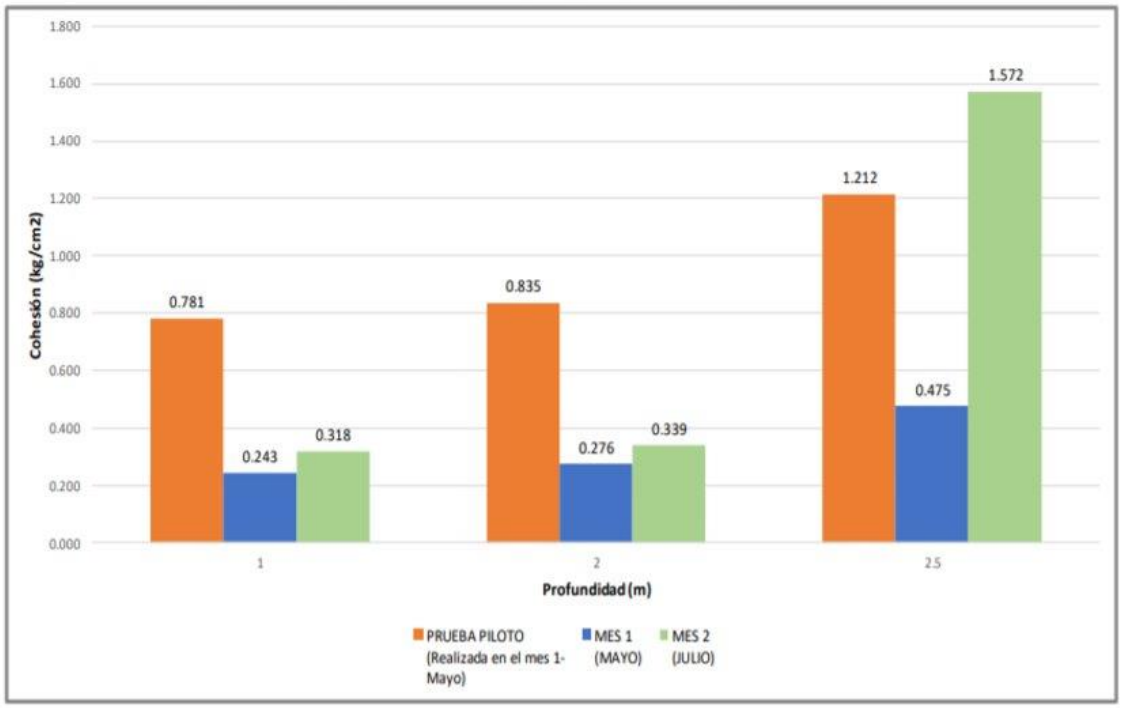
		2	82.665		
		4	126.834		
		1	62.244		
MES 2 (JULIO)	2	2	112.670	0.339	32.270
		4	172.901		
		1	180.879		
	2.5	2	218.116	1.572	29.210
		4	277.905		

Fuente: Elaboracion propia

Para representar gráficamente la variación de estas variables de acuerdo con la profundidad y diferenciando entre cada sondeo la figura 3 muestra los resultados obtenidos en el laboratorio:

Figura 3. Variación de la cohesión como variable mecánica del suelo

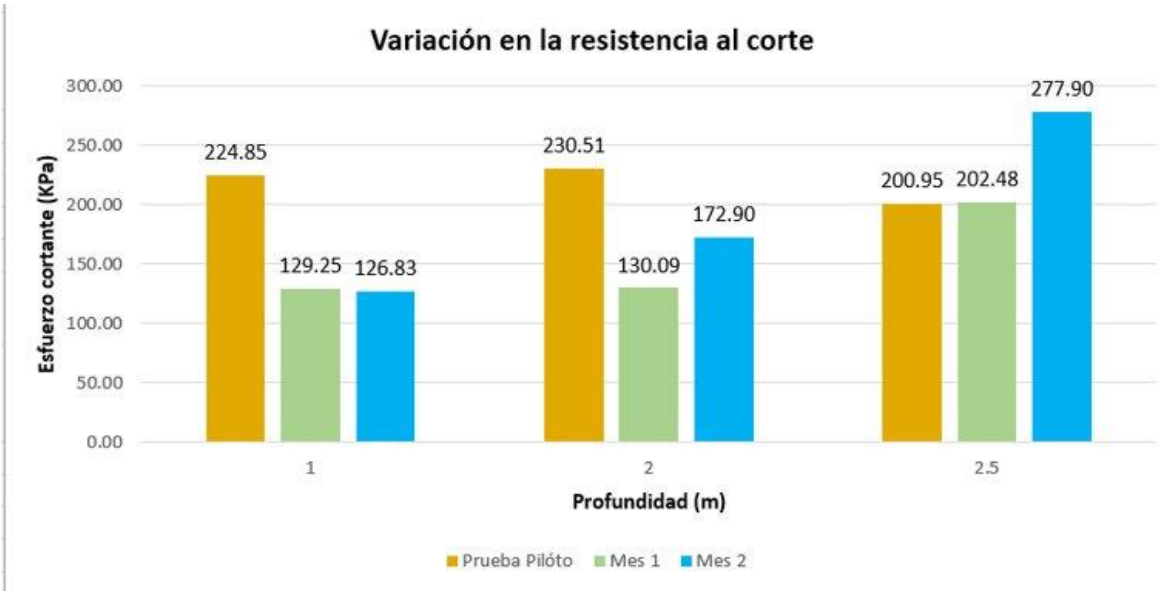
Figura 3. Variación de la cohesión como variable mecánica del suelo



Fuente: Elaboracion propia

Fuente: Elaboracion propia

Figura 4. Variación de la resistencia al corte en suelos derivados de diabasa con incidencia del cultivo de aguacate.



Fuente: Elaboracion propia

Otro de los resultados obtenidos mediante la prueba de corte directo, entre las perforaciones realizadas radialmente al árbol (perforaciones 1, 2 y 3) y una perforación realizada fuera del radio de incidencia de las raíces del árbol de aguacate estudiado (perforación 4), se pudo concluir que el esfuerzo cortante del suelo que se encontraba cerca al árbol disminuyó su resistencia al corte en un promedio del 30% aproximadamente en las profundidades analizadas (1m, 2m, 2.45m); no obstante, basándose en la teoría de la mecánica de suelos que las raíces ejercen un valor adicional sobre la resistencia al cortante de los suelos, se obtuvo que los resultados contrastan con lo que la teoría dice, sin embargo estos resultados parciales pudieron obedecer a que no se hicieron los sufientes muestreos en el tiempo para poder hacer un análisis más detallado de la zona.

7.3.Variación de las propiedades mecánicas de los suelos derivados de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate.

Con respecto a la variación en las propiedades mecánicas de los suelos derivados de diabasas, asociadas al cultivo de aguacate en estudio, en la tabla 11 se observan los informes del monitoreo que realiza la Red Hidroclimatológica de Risaralda. En este caso se tienen en cuenta los datos de la precipitación presentada el día de la toma de la muestra para cada mes (15 de mayo y 05 de julio del 2019) y también el valor acumulado de las lluvias presentadas los 15 días anteriores:

Tabla 11.Registro de precipitaciones de los días 15 de mayo y 05 Julio de 2019

Red Hidroclimatológica de Risaralda

Fecha	Precipitación (mm)/Día	Precp. acumulada (15días)
15 de mayo 2019	2,4	159,8
5 de julio 2019	No registra precipitación	86,2

Fuente: Red Hidroclimatológica de Risaralda *redhidro.org/home*

Tabla 12 Registro de precipitaciones de mayo, junio y julio.

Fecha	Precip (mm/día)	Fecha	Precip (mm/día)	Fecha	Precip (mm/día)
1/05/2019	0	1/06/2019	0	1/07/2019	0
2/05/2019	0	2/06/2019	3,2	2/07/2019	43
3/05/2019	0	3/06/2019	4	3/07/2019	6,8
4/05/2019	0,8	4/06/2019	13,8	4/07/2019	0
5/05/2019	0,4	5/06/2019	0,6	5/07/2019	0
6/05/2019	21,2	6/06/2019	0,2	6/07/2019	0
7/05/2019	22	7/06/2019	23,5	7/07/2019	0
8/05/2019	17,4	8/06/2019	12,5	8/07/2019	0
9/05/2019	0	9/06/2019	4,8	9/07/2019	0
10/05/2019	23,8	10/06/2019	0,2	10/07/2019	0
11/05/2019	8,4	11/06/2019	0	11/07/2019	0
12/05/2019	22	12/06/2019	8,5	12/07/2019	1,2
13/05/2019	28,2	13/06/2019	0	13/07/2019	5,6
14/05/2019	13,2	14/06/2019	0,6	14/07/2019	11,2
15/05/2019	2,4	15/06/2019	0,2	15/07/2019	11,6
16/05/2019	1,6	16/06/2019	0,4	16/07/2019	0
17/05/2019	22,4	17/06/2019	0	17/07/2019	0
18/05/2019	22	18/06/2019	6,5	18/07/2019	0
19/05/2019	17,4	19/06/2019	6,4	19/07/2019	0
20/05/2019	0	20/06/2019	0	20/07/2019	0
21/05/2019	0,4	21/06/2019	0,2	21/07/2019	0
22/05/2019	23,8	22/06/2019	4,8	22/07/2019	0
23/05/2019	8,4	23/06/2019	0,2	23/07/2019	0
24/05/2019	0	24/06/2019	0,6	24/07/2019	0
25/05/2019	84,8	25/06/2019	0,2	25/07/2019	0,4
26/05/2019	0	26/06/2019	0,4	26/07/2019	2
27/05/2019	28,2	27/06/2019	4	27/07/2019	10,2
28/05/2019	0	28/06/2019	26	28/07/2019	7,6
29/05/2019	13,2	29/06/2019	0	29/07/2019	5,6
30/05/2019	13,2	30/06/2019	0	30/07/2019	0
31/05/2019	2,4				

Fuente: Red Hidroclimatológica de Risaralda *redhidro.org/home*

A partir de los valores de las tablas 11 y 12, se busca es hacer una relación entre los resultados y los registros de las precipitaciones, además, hacer una comparación entre cada mes muestreado. Con respecto a los datos extraídos de la estación climatológica del Alto del Nudo, se pudo evidenciar que el valor de la cohesión y el ángulo de fricción del terreno estudiado está asociado con los niveles de precipitación de la zona y a la demanda de agua del cultivo de aguacate. Se estima que el árbol del aguacate requiere entre 0,54 l/m^2/día y 0,987 l/m^2/día, con un asuperficie foliar de 1 m^2).

Comparando los valores obtenidos de las perforaciones en cada mes, considerando la correspondencia de profundidades, es decir sondeo 1 (1m prof) en el mes de mayo con el sondeo 1 (1m prof) en el mes de julio y así sucesivamente, se pudo evidenciar que para la muestra tomada el 15 mayo, que fue el mes con mayor precipitación (397,6 mm), el valor de la cohesión es menor que para la muestra tomada el 5 de julio el cual no presentó precipitación el día que se realizó el muestreo. Adicionalmente, al realizar la misma comparación para el ángulo de fricción, se encontró el mismo comportamiento, al comparar los registros de precipitaciones en la zona, según informe de la Red Hidroclimatológica.

Otro comportamiento que puede aclarar los resultados de las propiedades mecánicas del suelo es el valor de las lluvias acumuladas de los 15 días anteriores, ya que el mes de mayo presentó un acumulado de 159,8 mm y el mes de julio un valor mucho menor: 86,2 mm como se muestra en la tabla 12. Ya que la cohesión es inversamente proporcional al porcentaje de humedad de un terreno Varnes (1958), las lluvias acumuladas de la primera perforación condicionaron los bajos valores de la cohesión de los suelos, correspondientes a la perforación del mes de mayo.

8. Conclusiones

Referidos a la revisión de antecedentes:

- De acuerdo con la consulta realizada (Medina, 2017), se concluye que el efecto de las raíces dentro de los suelos residuales como refuerzo estabilizador es perfectamente modelable y estimable, en virtud de que permite una mejora significativa con relación al refuerzo de la raíz en los modelos de estabilidad de taludes.

- Con relación al estado del arte de la relación suelo-vegetación como agente detonante de deslizamientos, se puede afirmar que se han realizado numerosos estudios cuya finalidad se basa en determinar la incidencia de la vegetación en la estabilidad del suelo en diversos ambientes, y aunque estos se han abordado desde diferentes enfoques y variables, como las raíces, la pendiente, los componentes del suelo y otros, la mayoría de autores estan de acuerdo en que la vegetación incide en el incremento de la resistencia al cortante de los suelos, aunque dicha variable depende adicionalmente de las circunstancias climáticas, tipos de vegetación, propiedades geomorfológicas del suelo y otros factores.

- También, se concluye que se necesitan nuevos estudios para comprender la dinámica detallada de las fallas de deslizamientos superficiales y cuantificar la contribución real de las raíces para forzar la redistribución durante la propagación de una grieta de tensión en una pendiente con vegetación; por lo cual, son indispensables la generación de modelos más ajustados a la realidad para obtener una predicción más exacta de los posibles deslizamientos y la movilización de sedimentos a escala de captación.

Referidos al trabajo empírico:

- Si se realiza una comparación de cada sondeo del mes de mayo (mes 1) por medio de sus porcentajes se tiene que el mayor contenido de humedad (W) encontrado fue de 119.16%, correspondiente al sondeo 3 a una profundidad de 1 metro, indicando que a esta profundidad el suelo presenta una mayor retención de agua, razón que se debe a las precipitaciones (397,6 mm) presentadas en el mes de mayo según la Red Hidroclimatologica.

- Los suelos de la zona corresponden a limos de alta plasticidad (MH), hecho este que contrasta con las demandas texturales del cultivo de aguacate, pues éste requeire suelos bien drenados y aireados (Leon,1999).

- Respecto a la cohesión evaluada en los 3 sondeos durante el mes de mayo (mes 1) se obtuvieron valores promedios de 0.249 kg/cm^2 (sondeo 1), 0.329 kg/cm^2 (sondeo 2), 0.352 kg/cm^2 (sondeo 3). Al comparar estos valores con las pruebas del mes 2 (julio), donde se tuvo un valor promedio de 0.773 kg/cm^2 en el (sondeo 1) siendo este más alto en comparación con el promedio del mes anterior. Tal variación obedece a menores humedades del suelo, producto de la reducción en las tasas de precipitción locales. El sondeo 2 alcanza un promedio 0.283 kg/cm^2 siendo este un poco más bajo comparado con el mes de mayo esto debido a los incrementos de humedad del suelo producto de tasas mayores de precipitaciones.

- Con base a los resultados obtenidos mediante la prueba de corte directo, entre las perforaciones realizadas radialmente al árbol (perforaciones 1, 2 y 3) y una perforación realizada fuera del radio de incidencia de las raíces del árbol de aguacate estudiado (perforación 4), se pudo concluir que el esfuerzo cortante del suelo que se encontraba cerca al árbol (en su perímetro) disminuyó su resistencia al corte en un promedio del 30% aproximadamente en las profundidades analizadas (1m, 2m, 2.45m). No obstante, acorde con la teoría de la mecánica de suelos que estima que las raíces ejercen un valor adicional sobre la resistencia al cortante de los suelos, se obtuvo que los resultados contrastan con lo que la teoría dice, sin embargo, estos resultados parciales pudieron obedecer a que no se hicieron los sufientes muestreos en el tiempo para poder hacer un análisis más detallado de dicho efecto.

- En el análisis realizado a la influencia de la precipitación en el Alto del Nudo, puede concluirse que es una zona con niveles altos de lluvia (2471.60 mm/año) que afectan las propiedades mecánicas del suelo. Para el 15 de mayo se presentó una precipitación de 2.4 mm y para julio 05 no se registró precipitación alguna; en este caso la lluvia presente en el suelo para el mes de mayor precipitación disminuyó los valores de cohesión para cada una de las perforaciones, lo cual puede contribuir a que se incremente la susceptibilidad a la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

- Observando el promedio de lluvias acumuladas en los últimos 15 dias antes de cada perforación, en donde se obtuvieron valores para mayo de 157,4 mm y para junio 86,2 mm, se concluye que existe una relación directa entre las lluvias acumuladas y el incremento de la susceptibilidad a los deslizamientos y la variación de las propiedades mecánicas de los suelos de la zona. Tal consideración es apreciable en la variación de los valores de la cohesión entre los emses de mayo y junio.

9. Recomendaciones

- Se recomienda a las entidades de planificación y ordenamiento territorial local (municipio de Dosquebradas), adelantar procesos investigativos tendientes a mejorar la condición diagnostica de los conflictos de uso de los suelos en la microcuenca, además de mejorar el conocimiento de la composición fisicoquímica de los suelos derivados de diabasas, y de esta manera garantizar la ocupación segura de los territorios y la optimización de su aprovechamiento.

- Asi mismo, se sugiere a las autoridades competentes fortalecer el proceso de instrumentación y monitoreo de variables hidroclimatológicas y edafológicas de la microcuenca, que propendan por el equilibrio ambiental de la microcuenca y la sostenibilidad territorial.

- Articular los esfuerzos y capacidades con las que cuenta la administración municipal con las capacidades de las Instituciones de Educación superior, en procura de ampliar la cobertura de especies vegetales y tipos de suelos, con una mayor periodicidad y tiempos de muestreo.

- Seguir profundizando en las investigaciones de las relaciones suelo-vegetación como agente condicionante de la estabilidad de taludes/laderas, incorporando instrumentos y equipos de mayor tecnología como sensores telemétricos de propiedades mecánicas de los suelos, microscopio de barrido atómico, entre otros.

10. Referencias Bibliográficas

Banco Mundial Colombia (2012). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Recuperado de http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf

Bankhead, N. L., Thomas, R. E., & Simon, A. (2017). A combined field, laboratory and numerical study of the forces applied to, and the potential for removal of, bar top vegetation in a braided river. Earth Surface Processes and Landforms, 42(3), 439-459.

Carder, (2013). Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Sismicidad Histórica. Recuperado de file:///C:/Users/garci/Downloads/Diagno.stico.de.Riesgos.Dosquebradas.pdf

Cruden D. M. (1991). A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 43(1): 27-29.

Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides, Investigation and Mitigation: Transportation Research Board. Us National Research Council, Washington, DC, pp. 36–75 (Special Report 247).

Desinventar, (2008). Georreferencia de deslizamientos. Recuperado de https://online.desinventar.org/desinventar/#COL-1260541809-colombia_risaralda

Edmaier, K., Crouzy, B., Ennos, R., Burlando, P., & Perona, P. (2014). Influence of root characteristics and soil variables on the uprooting mechanics of Avena sativa and Medicago sativa seedlings. Earth Surface Processes and Landforms, 39(10), 1354-1364.

García, D. (2014). Plan De Mitigación De La Amenaza Geotécnica (Geotécnica E Hidro técnica), A Partir Del Inventario De Fenómenos De Remoción En Masa Localizados En El Territorio Municipal De Dosquebradas. Recuperado de http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/pereira/bitstream/handle/123456789/705/PLAN%20DE%20MITIGACI%C3%93N.pdf?sequence=1

Gómez, I. S., Vélez O., M.V. (1990). Predicción de las fluctuaciones de niveles freáticos a partir de precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes en la Meseta de Bucaramanga, I Conferencia Colombiana de Geología Ambiental, Resúmenes, Sociedad Colombiana de Geología, Medellín. p. 20.

Gray, D. and Sotir, R. (1996). Biotechnical and soil bioengineering: Slope Stabilization, A practical guide for erosion control. John Wiley and Sons. 378 p.

Guo, W. Z., Chen, Z. X., Wang, W. L., Gao, W. W., Guo, M. M., Kang, H. L., ... & Zhao, M. (2020). Telling a different story: The promote role of vegetation in the initiation of shallow landslides during rainfall on the Chinese Loess Plateau. Geomorphology, 350, 106879.

Gutiérrez, M. y Parrales, G. (2017). Caracterización Geomorfológica Y Geomecánica De La Microcuenca De La Quebrada El Guamal Ibagué-Tolima. Recuperado de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/5333/1/Caracterizaci%C3%B3n%20Geomorfol%C3%B3gica%20y%20Geomec%C3%A1nica%20de%20la%20Microcuenca%20de%20la%20Quebrada%20El%20Guamal%20Ibagu%C3%A9-Tolima.pdf

Hoyos P., F. (2006). Elementos de análisis de estabilidad de taludes y laderas. Instituto de Estudios de Infraestructura, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 319 p.

Hudson, N. (1982). Conservación de suelos. Barcelona (España): Reverté S.A. p. 335.

Leon, J. (1999). *Manual Del Cutivo Del Aguacate*. INIAP Archivo Historico.

Mantilla, G., De La Torre, L.S., Gómez, C.E., Ordoñez, N., Ceballos, J.L., Euscategui, C., Pérez, P., Pérez, S., Martínez, N., Sánchez, R., Maldonado, N., Pérez, S., Gaitán, J., Chaves, L., Chamorro, C., Flórez, A. (2001). Los suelos: estabilidad, productividad y degradación. In: LEIVA, P. El medio ambiente en Colombia. IDEAM Bogotá, 2 edición. (p. 228 – 277).

Medina, Y. (2017). Zonificación De Susceptibilidad A Deslizamientos De Tierra En La Cuenca Del Rio Patía – Departamento Del Cauca. Recuperado de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3092/Medina_Yeidy_Samira_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mwaniki, M. W., Kuria, D. N., Boitt, M. K., & Ngigi, T. G. (2017). Image enhancements of Landsat 8 (OLI) and SAR data for preliminary landslide identification and mapping applied to the central region of Kenya. Geomorphology, 282, 162-175.

Rivera, P. (1998). Control de cárcavas remontante en zonas de ladera mediante tratamientos biológicos. Avances Técnicos Cenicafé. No. 256. Colombia. 8p

Rodríguez, D. (2012). Caracterización de la dinámica ambiental, a escala de tiempo humano, en el cantón Milagro mediante el uso de herramientas geoespaciales. En: Revista Cartográfica. No; 88 (Dic-2012); p.137-139.

Salazar, L. (2018). Susceptibilidad y amenaza a los movimientos en masa de suelos de laderas en zonas cafeteras colombianas. Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/70317/1/75082181.2018.pdf

Sassa K. (2007). Landslide Science as a New Scientific Discipline. En: Sassa K. Fukuoka H. Wang F. Wang G. (Eds). Progress in Landslide Science. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 3-11. 378 p.

Schmaltz, E. M., Van Beek, L. P. H., Bogaard, T. A., Kraushaar, S., Steger, S., & Glade, T. (2019). Strategies to improve the explanatory power of a dynamic slope stability model by enhancing land cover parameterisation and model complexity. Earth Surface Processes and Landforms, 44(6), 1259-1273.

Schwarz, M., Cohen, D., & Or, D. (2012). Spatial characterization of root reinforcement at stand scale: theory and case study. Geomorphology, 171, 190-200.

Serna G., C.A. (2009). Valoración contingente de la erosión de los suelos de la zona cafetera central de Colombia. Cenicafé 60(1):86-104.

Sidle, R. C., Ochiai, H. (2006). Landslides. Processes, prediction, and land use. Water Resources Monograph 18. American Geophysical Union, Washington DC. 312 p.

Sistemas de Información - Monitor. Bogotá, Colombia. OCHA Colombia, PNUD. Recuperado de https://www.monitor.umaic.org/desastres

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2004. Memoria técnica para el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador. (En línea) San Salvador, El Salvador. Consultado 25 ago. 2012. Disponible en: http://www.snet.gob.sv/Documentos/SusceptMovMasa-ES-SNET-2004.pdf

Urrego Díaz, Y. M., Naranjo, R., Yamid, F., & Rodríguez Gualteros, J. (2016). Calc Landslide Poly: Cálculo de Polígonos Susceptibles a Procesos de Remoción en Masa.

Vargas C, Germán. Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa: Cooperación Colombo - alemana, Proyecto Río Guatiquía (PRG), 1999. 197p.

Varnes, D.J. (1958). Landslide types and processes, En: Eckel, E. B. (Ed.). Landslides and engineering practice, Highway Research Board Special Report 29. Washington, pp.20-47.

Varnes, D.J. (1978). Slope movements: types and processes. En: Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds.), Landslide Analysis and Control, National Academy Sciences.Transportation Research Board Special Report. vol. 176, pp. 11–33 (Washington D.C.).

Wang, S., Meng, X., Chen, G., Guo, P., Xiong, M., & Zeng, R. (2017). Effects of vegetation on debris flow mitigation: A case study from Gansu province, China. Geomorphology, 282, 64-73.

Zhang, C. B., Chen, L. H., & Jiang, J. (2014). Why fine tree roots are stronger than thicker roots: The role of cellulose and lignin in relation to slope stability. Geomorphology, 206, 196-202.