

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN RELACIÓN  
CON PROCESOS EROSIVOS EN LA VEREDA ALTO DEL RAMO DEL  
MUNICIPIO DE CHIPAQUE.**

ANGYE DANIELA GUARNIZO VARGAS

ASTRID YUCELY VILLALOBOS ROMERO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
BOGOTÁ COLOMBIA  
2019**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN RELACION  
CON PROCESOS EROSIVOS EN LA VEREDA ALTO DEL RAMO DEL  
MUNICIPIO DE CHIPAQUE.**

ANGYE DANIELA GUARNIZO VARGAS  
ASTRID YUCELY VILLALOBOS

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO

DIRECTORA  
Agróloga: Yenny Beatriz Mendoza Plazas  
Msc Suelos y aguas

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
BOGOTÁ COLOMBIA  
2019**

## Contenido

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN .....                                                       | 7  |
| ABSTRACT .....                                                      | 8  |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                               | 9  |
| 2. OBJETIVOS .....                                                  | 10 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL .....                                          | 10 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                     | 10 |
| 3. MARCO TEÓRICO .....                                              | 11 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE ESTUDIO .....                      | 11 |
| 3.1.1 Aspectos generales .....                                      | 11 |
| 3.1.2 Principales actividades económicas de los municipios .....    | 11 |
| 3.1.3 Aspectos físicos .....                                        | 11 |
| 3.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN CHIPAQUE .....                        | 12 |
| 3.3 TIPO DE SUELO EN CHIPAQUE .....                                 | 17 |
| 3.3.1 Erosión del suelo .....                                       | 18 |
| 3.3.2 Movimiento en masa .....                                      | 20 |
| 3.4 ESTUDIOS MULTITEMPORALES .....                                  | 21 |
| 3.4.1 ¿Cuál es el método para realizar estudio multitemporal? ..... | 21 |
| 3.4.2 Fotografías aéreas .....                                      | 22 |
| 3.4.3 Imágenes satelitales .....                                    | 22 |
| 3.5 USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL .....                         | 22 |
| 3.6 INDICADORES DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS .....                   | 23 |
| 3.6.1 Parámetros físicos .....                                      | 23 |
| 3.6.2 Parámetros químicos .....                                     | 26 |
| 3.6.3 Prueba estadística .....                                      | 27 |
| 4. METODOLOGÍA .....                                                | 29 |
| 4.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL .....                                    | 29 |
| 4.1.1 Descripción de la cobertura vegetal .....                     | 29 |
| 4.1.2 Descripción del gradiente de pendiente .....                  | 31 |
| 4.2 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS EROSIVOS Y GRADO DE EROSIÓN .....    | 31 |
| 4.3 INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO .....                          | 32 |
| 4.3.1 Análisis estadístico para indicadores de calidad .....        | 35 |
| 4.4 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS .....                      | 35 |

|       |                                                              |    |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 5.    | RESULTADOS .....                                             | 36 |
| 5.1   | ESTUDIO MULTITEMPORAL.....                                   | 36 |
| 5.1.1 | Descripción de la cobertura vegetal.....                     | 36 |
| 5.1.2 | Descripción de los gradientes de pendiente .....             | 43 |
| 5.2   | IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS EROSIVOS Y GRADO DE EROSIÓN<br>50 |    |
| 5.3   | PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS .....                              | 52 |
| 5.3.1 | Prueba estadística.....                                      | 63 |
| 5.4   | PROPUESTA DE ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS .....                   | 64 |
| 6.    | ANÁLISIS DE RESULTADOS.....                                  | 66 |
| 7.    | IMPACTO SOCIAL.....                                          | 68 |
| 8.    | CONCLUSIONES .....                                           | 69 |
|       | BIBLIOGRAFÍA .....                                           | 71 |

## Índice de figuras.

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación de la zona de estudio. Municipio de Chipaque y vereda Alto del Ramo.....           | 11 |
| <b>Figura 2.</b> Mapa de vulnerabilidad por remoción en masa.....                                             | 13 |
| <b>Figura 3.</b> Evidencia fotográfica de los daños presentados en la infraestructura de la zona urbana ..... | 14 |
| <b>Figura 4.</b> Áreas afectadas del casco urbano .....                                                       | 16 |
| <b>Figura 5.</b> Triangulo textural.....                                                                      | 24 |
| <b>Figura 6.</b> Clasificación de zonas y puntos de muestreo. ....                                            | 34 |
| <b>Figura 7.</b> Metodología para propuestas ecológicas. ....                                                 | 35 |
| <b>Figura 8.</b> Cobertura vegetal 1941-1985.....                                                             | 37 |
| <b>Figura 9.</b> Cobertura vegetal 2007-2019.....                                                             | 38 |
| <b>Figura 10.</b> Pendientes 1941-1985 .....                                                                  | 44 |
| <b>Figura 11.</b> Pendientes 2007-2019 .....                                                                  | 45 |
| <b>Figura 12.</b> Horizonte A identificado (a. Punto C1, b. Punto A2).....                                    | 52 |
| <b>Figura 13.</b> Proceso de propuesta de reforestación.....                                                  | 64 |
| <b>Figura 14.</b> Prácticas agrícolas con énfasis conservación de suelos.....                                 | 65 |

## Índice de graficas

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gráfica 1.</b> Territorios Agrícolas.....                                    | 40 |
| <b>Gráfica 2.</b> Mosaico de pastos y cultivos .....                            | 41 |
| <b>Gráfica 3.</b> Pastos arbolados .....                                        | 41 |
| <b>Gráfica 4.</b> Arbustales .....                                              | 42 |
| <b>Gráfica 5.</b> Bosque ripario.....                                           | 42 |
| <b>Gráfica 6.</b> Zonas verdes artificializadas.....                            | 43 |
| <b>Gráfica 7.</b> Pendiente b.....                                              | 47 |
| <b>Gráfica 8.</b> Pendiente c.....                                              | 47 |
| <b>Gráfica 9.</b> Pendiente d.....                                              | 48 |
| <b>Gráfica 10.</b> Pendiente e.....                                             | 48 |
| <b>Gráfica 11.</b> Pendiente f.....                                             | 49 |
| <b>Gráfica 12.</b> Pendiente g.....                                             | 49 |
| <b>Gráfica 13.</b> Densidad aparente por unidad de pendiente en la zona A ..... | 53 |
| <b>Gráfica 14.</b> Textura en la zona A.....                                    | 54 |
| <b>Gráfica 15.</b> % de porosidad en la zona A. ....                            | 55 |
| <b>Gráfica 16.</b> Densidad aparente por unidad de pendiente en la zona B ..... | 57 |
| <b>Gráfica 17.</b> Textura en la zona B.....                                    | 58 |
| <b>Gráfica 18.</b> % de porosidad en la zona B. ....                            | 59 |
| <b>Gráfica 19.</b> Densidad aparente por unidad de pendiente en la zona C ..... | 60 |
| <b>Gráfica 20.</b> Textura en la zona C.....                                    | 61 |
| <b>Gráfica 21.</b> % de porosidad en la zona C .....                            | 62 |

## Índice de tablas

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Comparación fotográfica del movimiento presentado en diferentes áreas del casco urbano ..... | 15 |
| <b>Tabla 2.</b> Descripción de unidades cartográficas en Chipaque .....                                      | 17 |
| <b>Tabla 3.</b> Capacidad de uso del suelo en la vereda alto del ramo.....                                   | 18 |
| <b>Tabla 4.</b> Clasificación de la erosión .....                                                            | 19 |
| <b>Tabla 5.</b> Grado de erosión .....                                                                       | 20 |
| <b>Tabla 6.</b> Relación densidad aparente y textura del suelo .....                                         | 24 |
| <b>Tabla 7.</b> Interpretación de %porosidad .....                                                           | 25 |
| <b>Tabla 8.</b> Efectos del nivel de pH en el suelo. ....                                                    | 26 |
| <b>Tabla 9.</b> Nivel de materia orgánica con respecto al clima.....                                         | 27 |
| <b>Tabla 10.</b> Métodos de comparación múltiple.....                                                        | 28 |
| <b>Tabla 11.</b> Descripción de fotografías. ....                                                            | 29 |
| <b>Tabla 12.</b> Clasificación de la cobertura vegetal.....                                                  | 30 |
| <b>Tabla 13.</b> Clases de gradiente de la pendiente.....                                                    | 31 |
| <b>Tabla 14.</b> Procesos erosivos y grados de erosión .....                                                 | 32 |
| <b>Tabla 15.</b> Parámetros fisicoquímicos para analizar .....                                               | 32 |
| <b>Tabla 16.</b> Rango de cota por zonas .....                                                               | 33 |
| <b>Tabla 17.</b> Procesos erosivos identificados en la vereda Alto del ramo Zona A.....                      | 50 |
| <b>Tabla 18.</b> Procesos erosivos identificados en la vereda Alto del ramo Zona B.....                      | 51 |
| <b>Tabla 19.</b> Procesos erosivos identificados en la vereda Alto del ramo Zona C.....                      | 51 |
| <b>Tabla 19.</b> Datos de densidad aparente por horizonte en la zona A .....                                 | 52 |
| <b>Tabla 20.</b> Potencial de hidrogeno en la zona A.....                                                    | 53 |
| <b>Tabla 21.</b> Relación densidad aparente y textura del suelo en la zona A.....                            | 55 |
| <b>Tabla 22.</b> Interpretación del % de porosidad .....                                                     | 55 |
| <b>Tabla 23.</b> Interpretación de materia orgánica en la zona A.....                                        | 56 |
| <b>Tabla 24.</b> Datos de densidad aparente por horizonte en la zona B .....                                 | 56 |
| <b>Tabla 25.</b> Potencial de hidrogeno en la Zona B .....                                                   | 57 |
| <b>Tabla 26.</b> Relación densidad aparente y textura del suelo en la zona B.....                            | 58 |
| <b>Tabla 27.</b> Interpretación del % de porosidad.....                                                      | 58 |
| <b>Tabla 28.</b> Interpretación de materia orgánica en la zona .....                                         | 59 |
| <b>Tabla 29.</b> Datos de densidad aparente por horizonte en la zona C .....                                 | 60 |
| <b>Tabla 30.</b> Potencial de hidrogeno en la Zona C .....                                                   | 60 |
| <b>Tabla 31.</b> Relación densidad aparente y textura del suelo en la zona C .....                           | 61 |
| <b>Tabla 32.</b> Interpretación del % de porosidad en la zona C. ....                                        | 62 |
| <b>Tabla 33.</b> Interpretación de materia orgánica en la zona C .....                                       | 63 |
| <b>Tabla 34.</b> Prueba de comparación para las diferentes variables. ....                                   | 63 |
| <b>Tabla 35.</b> Especies a plantar según su pendiente .....                                                 | 64 |

## RESUMEN

En el mundo, la degradación de los suelos acelera de manera considerada, alrededor de dos mil millones de hectáreas son destinadas en actividades agropecuarias presentando procesos de degradación. De acuerdo con el municipio de Chipaque, el 70% de la población se dedica a realizar este tipo de actividades y no cuenta con medidas de prevención y/o mitigación para la degradación del suelo, por tal motivo en el presente documento, se realizó un estudio en la vereda Alto del ramo, ubicada en la parte alta de la cabecera municipal, identificando el cambio de la cobertura vegetal en diferentes años en relación con procesos erosivos y así determinar la variación de la zona de estudio contrastándola con la actualidad, la cobertura vegetal y el gradiente de pendientes se establece por medio de los métodos de fotointerpretación y estereoscopia, donde se obtuvo cambios de la cobertura vegetal de acuerdo al patrón de inclinación de la pendiente; se determinó el grado de erosión, el cual pertenece a una transición de ligero a moderado, esto de acuerdo a los diferentes procesos erosivos identificados en campo y finalmente se analizaron los indicadores de calidad del suelo con apoyo de análisis estadístico (ANOVA), dando como resultados suelos óptimos y similares para el desarrollo de plantas y cultivos en el área de estudio. De esta manera se concluyó que en la vereda se está generando una presión desde la zona alta hacia la zona baja impactando en el casco urbano, presentando afectaciones en las infraestructuras del municipio; de acuerdo al grado de erosión y la problemática que afronta el municipio, se propusieron alternativas sostenibles para la mitigación de la degradación del suelo promoviendo las buenas prácticas agrícolas enfocadas en el recurso de suelo y agua y programas de reforestación para el recubrimiento del suelo con plantaciones nativas (morita, sauco, entre otras), debido a que estas sirven como soporte protegiendo al suelo y aportando nutrientes.

**Palabras Clave:** Cobertura vegetal, gradiente de pendiente, erosión, suelo, presión, alternativas sostenibles

## **ABSTRACT**

In the world, the degradation of soils accelerates in a certain way, about two million hectares are determined in agricultural activities presenting degradation processes. According to the municipality of Chipaque, 70% of the population is engaged in this type of activity and does not have prevention and / or mitigation measures for soil degradation, for this reason in this document, a study in the Alto del bouquet path, located in the upper part of the municipal capital, identifying the change of the vegetation cover in different years in relation to erosive processes and thus determining the variation of the study area contrasting with the current coverage plant and slope gradient is established by means of photointerpretation and stereoscopy methods, where changes in the vegetation cover are obtained according to the slope pattern of the slope; the degree of erosion is determined, which belongs to a transition from light to moderate, this is an agreement to the different erosive processes identified in the field and finally the soil quality indicators with the support of statistical analysis (ANOVA) are analyzed, resulting in optimal and similar soils for the development of plants and crops in the study area. In this way it was concluded that on the sidewalk a pressure is being generated from the upper zone towards the lower zone, impacting on the urban area, presenting effects on the infrastructure of the municipality; According to the degree of erosion and the problems faced by the municipality, sustainable alternatives were proposed for the mitigation of soil degradation by promoting good agricultural practices focused on the soil and water resource and reforestation programs for covering the soil with plantations native (morita, elder, among others), because these serve as support protecting the soil and providing nutrients.

**Keywords:** vegetation cover, slope gradient, erosion, soil, pressure, sustainable alternatives

## 1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de degradación de los suelos son dinámicos, crecientes y de preocupación mundial, por lo que se hace un llamado a los países a adoptar medidas para detener las causas de la desertificación y degradación de suelos con el fin de conservar y recuperar las tierras. Colombia ya cuentan con el programa de Monitoreo y Seguimiento de la degradación de suelos que permite identificar y evaluar los procesos actuales y formular políticas y acciones para frenar y recuperar los suelos degradados. [1]

Chipaqué es un municipio de media y alta pendiente ubicado sobre acumulaciones de sedimentos donde se ha venido presentando fenómeno de movimiento en masa y la zona más afectada ha sido la zona norte de la cabecera municipal, viéndose claramente deteriorada la infraestructura, generando gran preocupación a los habitantes por la incertidumbre de un desastre natural con mayor magnitud. [2]

Por tal motivo, en el presente documento, se identificó el cambio de la cobertura vegetal en diferentes años en relación con procesos erosivos y así determinar la variación de la zona de estudio contrastándola con la actualidad, de esta manera, se eligió la vereda Alto del Ramo como zona de estudio, dado que ésta se encuentra ubicada en la parte alta de la cabecera municipal con pendientes fuertemente inclinadas y donde actividades como la agricultura y ganadería se realizan sin un debido control, por consiguiente el suelo se encuentra sometido a transformaciones tanto físicas como químicas, dado que la cobertura del suelo no es la misma y los nutrientes requeridos escasean convirtiéndolo en terrenos erosionados. [3]

Así que, inicialmente se describió el municipio de manera general, la problemática que afronta como lo es el movimiento en masa y las consecuencias que se han evidenciado fruto de este, de aquí en adelante se identificó qué tipo de suelo pertenece el municipio de Chipaqué, se determinaron los cambios de cobertura vegetal y cambio de pendiente en los diferentes años de estudio, se identificaron los procesos erosivos y el grado de erosión, lo cual se realiza a través del Protocolo para la identificación de la degradación de suelos por erosión del IDEAM, con lo cual se demostró que existe un cambio importante el cual es la transición del grado de erosión ligero a moderado y finalmente los parámetros fisicoquímicos con los que se demuestra el estado actual del suelo reflejando similitud de los diferentes puntos muestreados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la variabilidad multitemporal de la cobertura vegetal sobre procesos erosivos en la vereda Alto del ramo del municipio de Chipaque.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar el cambio de cobertura vegetal en diferentes periodos a partir de fotografías aéreas y/o imágenes satelitales.
- Determinar el grado de erosión del suelo que se presenta en la vereda Alto del ramo del municipio de Chipaque mediante reconocimiento en campo
- Establecer las características físicas de los suelos afectados por el proceso erosivo en la vereda Alto del ramo del municipio de Chipaque.
- Proponer alternativas ecológicas de uso adecuado que permitan mitigar el proceso erosivo y el movimiento en masa que se ha venido generado.

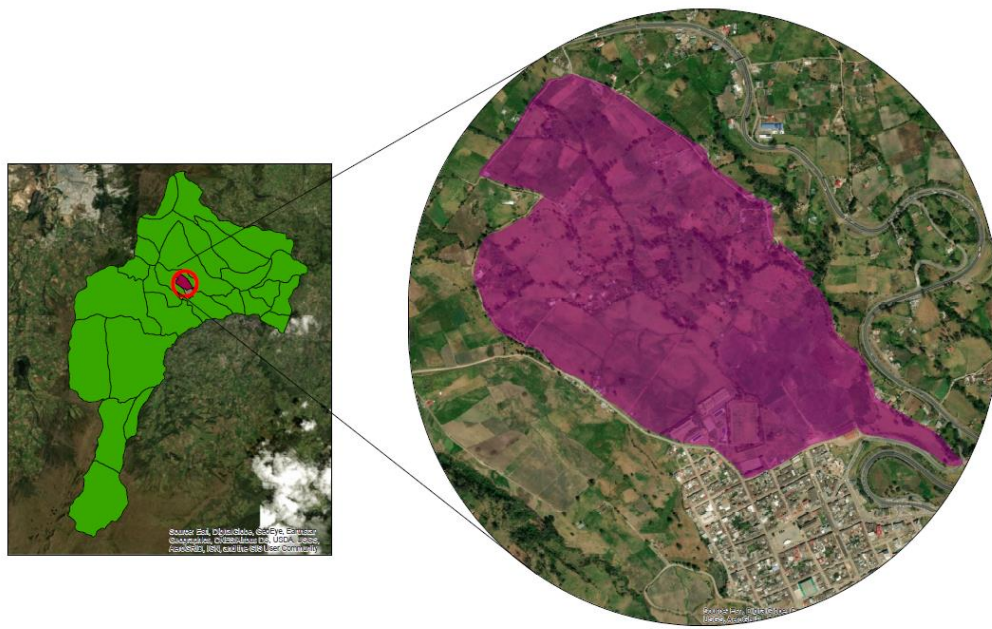
### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Aspectos generales

Chipaque se ubica en la Provincia de Oriente, a 14 km de la Capital. La altitud media de la cabecera municipal es de 2.400 msnm y con temperatura promedio de 14,1°C, su superficie total corresponde a 139.45 km<sup>2</sup> de la cual 139,24 km<sup>2</sup> corresponde al área rural. Limita con Bogotá D.C por el noroccidente, por el sur con el municipio de Une, en el oriente con Ubaque y Cáqueza. [4]

**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio. Municipio de Chipaque y vereda Alto del Ramo



Activar Windows

**Fuente:** Autores

##### 3.1.2 Principales actividades económicas de los municipios

En Chipaque 70 % de la población se dedica a las actividades agropecuarias, el principal producto agrícola es el cultivo de papa con el 55% del área agrícola, cebolla con el 15%, hierbas aromáticas en el 10% y hortalizas con el 5%. Por otro lado, la producción de las flores se ha difundido aceleradamente en el municipio [5].

##### 3.1.3 Aspectos físicos

Chipaque en su extensión territorial cuenta con un área de 13.945 hectáreas definidas así: Zona Urbana 21 Has correspondientes al 0.15% del área total del municipio y zona rural 13.924 Has (99.85%), este último conformado por 23 veredas.

Siendo el territorio en su mayoría montañoso, la topografía de Chipaque se caracteriza por predominio de moderadas y fuertes pendientes que van del 5% terreno plano, 30% terreno ondulado y el 65% terreno inclinado [5].

Chipaque presenta tres pisos térmicos definidos como, clima medio, frío y páramo. Los meses de enero, abril, mayo y junio presentan temperaturas superiores con respecto a los otros meses de 14° a 15°C. Las precipitaciones en Chipaque oscilan entre 21 mm en el periodo seco y 114 mm en el periodo húmedo.

De acuerdo con la altura y la topografía del territorio, el municipio cuenta con tres regiones naturales:

**PÁRAMO:** 3200 a 3400 msnm. Pendiente del 12 al 50%. Predominan los frailejones, guargüeros, líquenes, gramas naturales y en general vegetación de protección y conservación del páramo.

**ANDINA 1:** 3.000 a 3.200 msnm Norte, Sur y Oeste del municipio Pendientes abruptas mayores del 50%, además en las laderas Coluviales se presentan formas de relieve que van de ligeramente Empinado al fuertemente inclinado. 12 al 50% en zona de vertientes originadas por zonas de material provenientes de las partes altas, por acción de la gravedad en las zonas de vertientes crestas.

**ANDINA 2:** Entre los 2200 a 3000 msnm Con una pendiente moderada del 7 al 25% y ligeramente empinada del 25 al 75%. La vegetación refleja arbustales altos, pastos y rastrojos, cultivos Transitorios (papa, cebolla) y pastos naturales (kikuyo). Establecimiento de bosques naturales. Entre los 2000 y 2400 msnm sector sudeste del área municipal, pastos manejados y naturales, arbustos bajos y cultivos transitorios como la cebolla. [5].

### **3.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN CHIPAQUE**

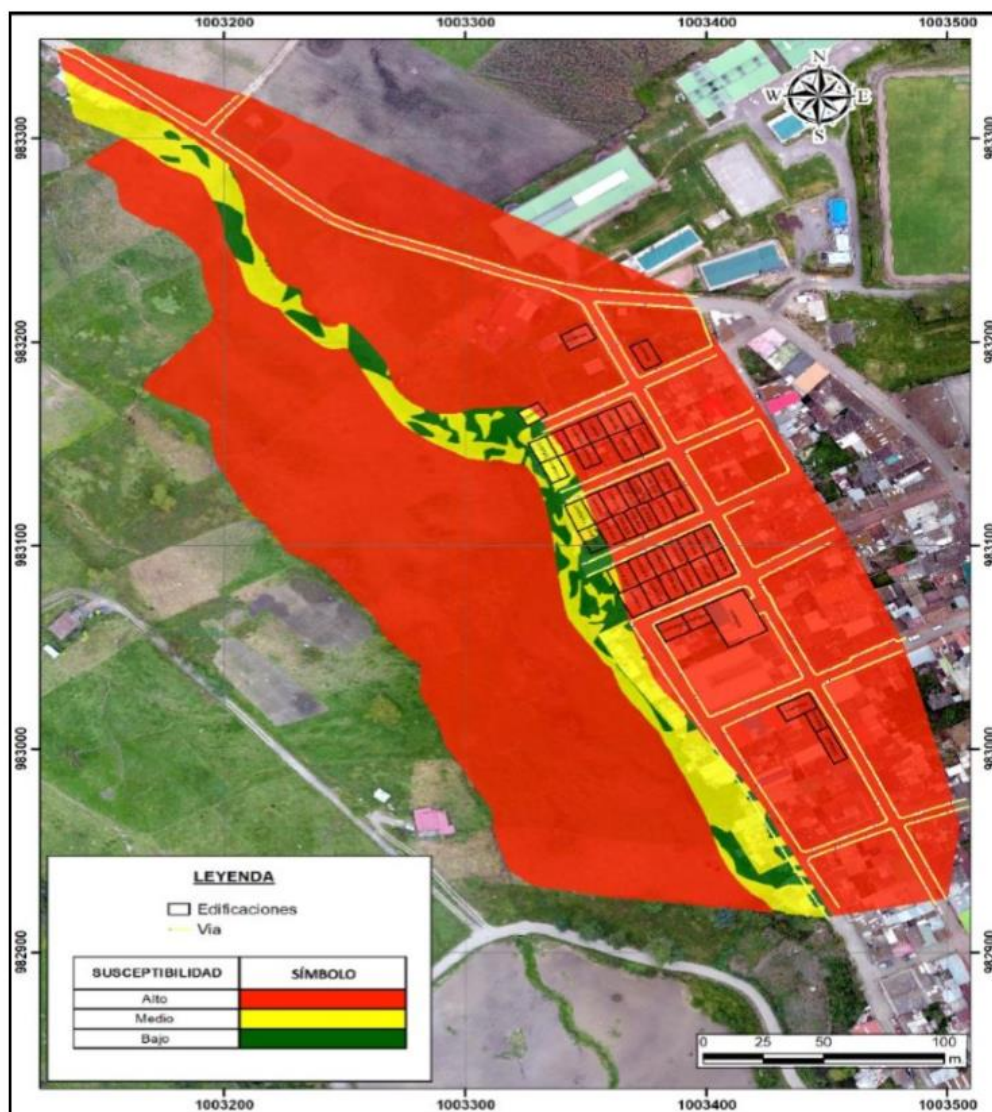
En el mundo, la degradación de los suelos acelera de manera considerada, alrededor de 2 mil millones de hectáreas son destinadas en actividades agropecuarias y presentan procesos de degradación. En los países subdesarrollados la presencia de actividades de deforestación y agricultura se realizan de manera descontrolada, esta última actividad se presenta consecutivamente en zonas de ladera con altas pendientes generando así erosiones severas en los suelos. [6]

Los problemas más comunes en el suelo son ocasionados principalmente por actividades antrópicas; por ejemplo, la erosión, la contaminación, el desarrollo urbanístico, la pérdida de fertilidad del suelo por usos deficientes, los monocultivos, la ganadería extensiva y la deforestación son problemas que están generando hoy en día gran afectación en el suelo. El municipio de Chipaque, especialmente la vereda Alto del ramo cuenta con actividades que implican afectaciones en el suelo y las dos más relevantes son la agricultura y la ganadería, estas actividades se desarrollan acelerando el proceso de degradación del suelo por falta de buenas prácticas pecuarias. A esto se le suma que los suelos se encuentran parcialmente

descubiertos. Además, la vereda cuenta con pendientes de media a alta, con un porcentaje de inclinación entre 12 y 50%; situado sobre acumulaciones de tierra, donde el municipio ha venido presentando movimiento en masa, esta acción ha traído consigo consecuencias evidentes principalmente en la cabecera municipal, puesto que ha afectado infraestructuras donde sus habitantes han sido desalojados.

La alcaldía del municipio de Chipaque, presento un informe de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de movimiento en masa, sin embargo, solo se enfocó en un área de la zona urbana donde se evidenciaron las primeras afectaciones en las infraestructuras y calles. [7].

**Figura 2.** Mapa de vulnerabilidad por remoción en masa



**Fuente:** Informe de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa.  
CONSORCIO TIVING

Dentro de las conclusiones del informe realizado, se describe que el barrio Villa Hernández se encuentra en zona de riesgo alta, siendo la comunidad la principal afectada por daños en la infraestructura de sus viviendas [7].

**Figura 3.** Evidencia fotográfica de los daños presentados en la infraestructura de la zona urbana



**Fuente:** Informe de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa. CONSORCIO TIVING

El municipio no cuenta con estudios frente a la problemática presentada y el estudio mencionado anteriormente solo radica directamente en la evidencia de la problemática (Zonas de afectación a las infraestructuras) y las consecuencias que puede traer consigo de la misma zona, es por esto, que en el presente proyecto se estudió la zona alta que impacta con el casco urbano, es decir la vereda Alto del ramo para la identificación de los cambios que esta vereda comprende y que posiblemente contribuyan al desarrollo del movimiento en masa.

De acuerdo con esto, se ha recopilado el antes y el después de ciertas áreas afectadas por el movimiento como se puede observar en la tabla 1, además de la identificación de otras áreas que recientemente se han visto afectadas. Ver figura 4

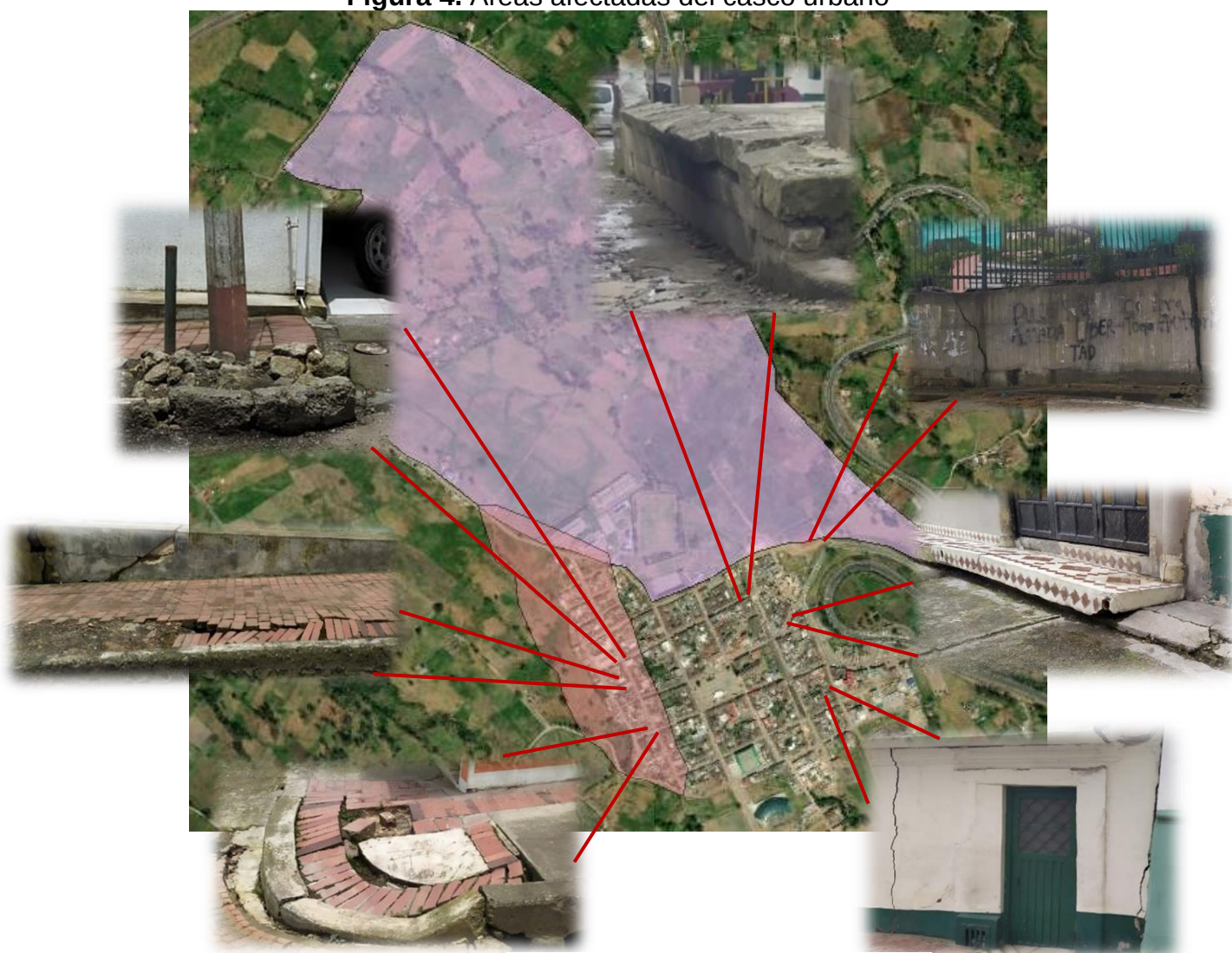
**Tabla 1.** Comparación fotográfica del movimiento presentado en diferentes áreas del casco urbano

| 2017 - 2018                                                                         | 2019                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
|   |   |
|  |  |



Fuente: Autores

**Figura 4. Áreas afectadas del casco urbano**



## CONVENCIONES

-  Vereda Alto del Ramo
-  Zona de estudio Alcaldia

### 3.3 TIPO DE SUELO EN CHIPAQUE

La información sobre el tipo de suelo de Chipaque es recopilada por el Estudio General de Suelos de Cundinamarca desarrollado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), del cual se obtiene mapa de suelos, utilizado posteriormente como base para la elaboración de mapas de capacidad de uso de las tierras, conflicto de usos y zonificación de tierras. [8]

Los símbolos de las unidades cartográficas expuestas en el mapa de suelo están representados por tres letras mayúsculas, están dan referencia en orden a el paisaje, el clima y el tipo de relieve. Posteriormente estas tres letras están acompañadas por subíndices alfanuméricos que indican el gradiente de pendiente.

En el municipio encontramos tres unidades cartográficas diferentes MLVe, MLCe y MLKd, variando el tipo de relieve y el gradiente de pendiente, sin embargo, se deduce que la zona es de paisaje montañoso y de clima frío húmedo. A continuación, se realiza la descripción de las unidades cartográficas.

**Tabla 2.** Descripción de unidades cartográficas en Chipaque

| <i>Unidad</i> | <i>Clima</i>       | <i>Paisaje</i>   | <i>Relieve</i>         | <i>% pend</i>   | <i>Material parental</i>                                           | <i>Taxonomía</i>                                                  | <i>Características</i>                                                                                                                                                                                                |
|---------------|--------------------|------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MLVe</b>   | <b>Frio húmedo</b> | <b>Montañoso</b> | <b>Crestones</b>       | <b>25 – 50%</b> | Rocas clásticas arenosas, ceniza volcánica                         | Humic lithic eutrudepts<br>Typic placudands<br>Dystric eutrudepts | Relieve moderadamente quebrado a escarpado con pendientes de 25 a 50%, afectado en sectores por erosión hídrica ligera y moderada, suelos profundos a superficiales, moderadamente bien drenados, fertilidad moderada |
| <b>MLCe</b>   |                    |                  | <b>Lomas</b>           |                 | Rocas clásticas arenosas, mantas de cenizas volcánicas             | Humic dystropepst<br>Typic argiadolls<br>Typic hapludands         | Relieve ligero a fuertemente quebrado, con pendientes de 7 a 50%, afectado en sectores por erosión hídrica laminar ligera, suelos bien drenados con texturas moderadamente finas a gruesas, fertilidad moderada       |
| <b>MLKd</b>   |                    |                  | <b>Glacis coluvial</b> | <b>12 - 25%</b> | Mantos de ceniza volcánica sobre depósitos clásticos gravimétricos | Pachic melanudands<br>Typic hapludands<br>Andic dystropepsts      | Relieve ligeramente quebrado con pendientes de 7 a 25% afectados por erosión hídrica laminar ligera y frecuente pedregosidad superficial                                                                              |

**Fuente:** Estudio general de suelos de Cundinamarca

Posteriormente, para realizar la evaluación de la calidad de tierra se utilizó el sistema de clasificación por capacidad de uso, aportado por el Estudio general de suelos de Cundinamarca, que consta de ocho clases y se designa con números arábigos. Las limitaciones de uso son progresivamente mayores a la clase 1 a la clase 8, de esta manera la clase 1 reúne todas las características y condiciones de la tierra óptima para cualquier uso agrícola. Mientras la clase 8 agrupa tierras con limitaciones extremadamente severas, no son aptas para cultivos y solo deben ser usadas para recreación y conservación. [9]

En el municipio de Chipaque, especialmente en la vereda Alto del ramo se identificaron dos clasificaciones para la capacidad de uso.

**Tabla 3.** Capacidad de uso del suelo en la vereda alto del ramo

| <i>Clase</i> | <i>Unidades de suelo</i> | <i>Factor limitante</i>                                                                | <i>Uso potencial</i>                                                                          | <i>Recomendaciones de manejo</i>                                                                                              |
|--------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IVp-1</b> | MLKd                     | Fertilidad moderada del suelo. En sectores se presentan fenómenos de remoción en masa. | Ganadería semi-intensiva y extensiva y agricultura de subsistencia con cultivos transitorios. | Aplicación de fertilizantes, implementación de sistemas de potreros arbolados, siembras en contorno, evitar el sobrepastoreo. |
| <b>VIp-1</b> | MLVe, MLCe               | Fertilidad natural baja y profundidad efectiva de los suelos limitada en sectores      | Ganadería extensiva para producción y regeneración espontánea de la vegetación                | Implementación de potreros arbolados, evitar el sobrepastoreo, fomentar el crecimiento de la vegetación natural.              |

**Fuente:** Estudio general de suelos de Cundinamarca

Los suelos de la vereda Alto del ramo son característicos de cenizas volcánicas poco evolucionadas, con fertilidad baja a moderada. Las mayores limitantes para el uso son las pendientes ligeramente inclinadas (25 a 50%) y fuertemente inclinadas con gradientes que van desde el 50%.

Actualmente son suelos destinados a cultivos de subsistencia como la papa, cebolla y fresas; además, las actividades pecuarias también están presentes en el uso del suelo; sin embargo, hay zonas con cobertura de bosque natural intervenido.

### **3.3.1 Erosión del suelo**

Se define que la erosión es la pérdida de la capa superficial del suelo por acción de fluido, es entonces el desprendimiento, transporte y depósito de materiales,

principalmente de suelo y rocas, por acción de la fuerza del agua o del viento en movimiento bien dicho esta erosión es llamada erosión hídrica y erosión eólica respectivamente. Este desprendimiento trae consigo efectos negativos en los sectores socioeconómico y ambiental. [10]

Se le conoce también, como el conjunto de procesos en la superficie de la corteza terrestre que producen pérdida física del suelo en grado variable. Ocurre naturalmente cuando se manifiestan las fuerzas de la gravedad en zonas montañosas o cuando el suelo queda expuesto a la acción del agua o del viento. No obstante, el ser humano es el agente causal de mayor importancia en la erosión de suelos puesto que, a través de sus actividades, incide directamente en las coberturas vegetales, cambia la dinámica hídrica o modifica drásticamente las condiciones de manejo del recurso suelo, bien sea por prácticas agronómicas o construcción de infraestructura. [11]

En la tabla 4, se describe los tipos de erosión más conocidos y relevantes:

**Tabla 4.** Clasificación de la erosión

| <b><i>Tipo de erosión</i></b> | <b><i>Característica</i></b>                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>Erosión eólica</i></b>  | Proceso de pérdida de la capa superficial del suelo por disgregación, remoción y transporte de las partículas del suelo por la acción del viento                                             |
| <b><i>Erosión hídrica</i></b> | Proceso de pérdida de la capa superficial del suelo por disgregación, remoción y transporte de las partículas del suelo por la acción del agua (gotas de lluvia y escurrimiento superficial) |

**Fuente:** Protocolo de erosión IDEAM

La deforestación contribuye a que los suelos sean expuestos al efecto de los flujos de lluvia lo que facilita al desarrollo de procesos erosivos; el último informe publicado por el IDEAM sobre la deforestación, revelo que se deforestaron 178.597 Ha de bosque en el país para el año 2017 [1].

La erosión del suelo es una forma severa de degradación física, se estima que el 80% del territorio agrícola sufre de erosión moderada a severa. No obstante, el territorio colombiano presenta 40% del área en estado de degradación, las cuales el 20% se encuentra en un grado de erosión ligera, 17% en grado de erosión moderada y el 3% en grado de erosión severa. Los departamentos que presentan mayor área erosionada son La guajira, Magdalena, Cesar, Santander y Meta. [12]

**Tabla 5.** Grado de erosión

| <b>Grado de erosión</b> | <b>Características</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ligera                  | Alguna evidencia de daño a los horizontes superficiales del suelo. Cuando la capa de suelo se adelgaza uniformemente. No se aprecian huellas visibles de surcos o inicios de cárcavas. La pérdida puede llegar hasta un 25 o 50% del horizonte A, según su espesor. Las funciones bióticas originales se encuentran intactas                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Moderada                | Evidencia clara de remoción de los horizontes superficiales del suelo. Cuando la capa de suelo ha perdido espesor. Se aprecian manifestaciones de surcos, terraceo y pequeñas cárcavas. Se presenta pérdida entre el 50 y 75% del espesor original del horizonte A e incluso en sectores aparece el horizonte B o C. Las funciones bióticas originales se encuentran parcialmente destruidas. Aparecen en la superficie distintos colores de suelo como producto de la pérdida del horizonte superficial y la exposición de horizontes subsuperficiales. En algunos sitios se denominan “suelos atigrados o manchados” |
| Severa                  | Horizontes superficiales completamente removidos y horizontes subsuperficiales expuestos. Pérdida casi total del horizonte orgánico-mineral. Se presentan surcos, calvas o terraceo de forma frecuente o cárcavas con moderada frecuencia. La pérdida de suelo se estima en más de 75% de su espesor. Las funciones bióticas originales ampliamente destruidas. El suelo expuesto es más claro debido a la pérdida del horizonte A.                                                                                                                                                                                    |
| Muy severa              | Pérdida total de los horizontes superficiales. Remoción sustancial de los horizontes subsuperficiales (badlands, tierras malas). Se presenta una red de surcos y cárcavas intrínsecos. Las funciones bióticas originales fueron completamente destruidas. La vegetación es muy rala o nula                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

**Fuente:** Protocolo de erosión

### **3.3.2 Movimiento en masa**

Este concepto equivale a definiciones como proceso de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas, se incluye a todos los movimientos ladera debajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. Los movimientos en masa son el producto del debilitamiento progresivo de las propiedades mecánicas de los materiales de las vertientes por procesos naturales tales como meteorización, levantamientos tectónicos y actividades humanas que activan movimientos lentos, generalmente imperceptibles. [13]

Existen diversos tipos de movimiento en masa, estos se pueden clasificar en desplazamientos rotacionales, flujos, vuelcos y desprendimientos, los desplazamientos rotacionales se generan en suelos homogéneos, son característicos por tener una forma curva; los flujos, son movimientos en masa dados por contener alto porcentaje de humedad en el suelo, por lo que este se comporta como un fluido que se desliza; los vuelcos, son movimientos bien sea de rocas o suelos que ocurren cuando se tiene estratos verticales en el terreno; finalmente los desprendimientos, estos son movimientos particulares de rocas que se producen cuando algunos segmentos de la roca se desprenden y caen libremente, los cuales son frecuentes en zonas montañosas, conformadas por macizos rocosos. [14]

### **3.4 ESTUDIOS MULTITEMPORALES**

Los estudios multitemporales son el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas. Permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas, como los meses del año y los años entre sí, un análisis multitemporal tiene más alcance que el análisis de una sola imagen. El análisis multitemporal permite detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio, y constituye uno de los métodos más eficaces para la comparación y determinación de cambios como la vegetación que acontecen en un lapso. [15]

#### **3.4.1 ¿Cuál es el método para realizar estudio multitemporal?**

**Principio de fotogrametría:** Es la medida de un objeto cualquiera, técnica que consigue información métrica fiable a partir de fotogramas, su característica principal es la información a través de la fotografía. Frecuentemente el uso de las fotografías, especialmente las tomadas desde el aire, no tienen como fin la medida, sino la investigación y la significación del contenido de las vistas, lo cual constituye a la llamada fotointerpretación, la cual comprende el estudio de la imagen de aquellos objetos fotografiados y la deducción de su significado, interpretar una fotografía es examinar las fotografías aéreas o imágenes satelitales con el propósito de identificar objetos, definir su categoría, su naturaleza, sus límites y sus relaciones con el medio. La interpretación de la vegetación por fotografía aérea siempre va a depender de la fisionomía y de las características florísticas de la zona. Hoy en día, para trabajos que exijan una alta calidad de resolución, siguen siendo una de las herramientas más utilizadas para el análisis de la cobertura de usos del suelo y estudios multitemporales. [16], [17], [18]

Además, la estereoscopia, es un proceso que se realiza de manera natural cuando un observador mira simultáneamente dos imágenes de un mismo objeto, que han sido captadas desde dos posiciones distintas. Cada ojo ve una imagen y el resultado de ese proceso es la percepción de la profundidad o tercera dimensión, mirando un par de imágenes planas, la estereoscopia, permite el análisis en tres dimensiones

de los elementos que constituyen un terreno por medio de la utilización de dos fotografías sucesivas y con traslape lateral o longitudinal entre ellas; se define como la capacidad que tienen las personas para percibir los objetos en tercera dimensión, este fenómeno tiene lugar por la cualidad que posee el cerebro de fusionar dos imágenes en un mismo objeto, recibidas independientemente, a través de cada ojo (línea de base). [19] [20]

### **3.4.2 Fotografías aéreas**

Son aquellas tomadas desde un avión o desde plataformas espaciales, mediante cámaras especiales denominadas cámaras aerofotogramétricas de toma de vistas, las cuales tienen características especiales diferentes a las cámaras comunes. Estas cámaras emplean películas y filtros diferentes de manera tal que pueden obtenerse diferentes fotografías a través del registro de los objetos sobre una superficie sensible a la luz. [21]

### **3.4.3 Imágenes satelitales**

Son imágenes digitales las cuales, dada su condición poseen una manera diferente de adquisición de información que la fotografía común, son adquiridas a través de sensores óptico- electrónicos, este sensor capta a intervalos regulares la radiación que proviene de la superficie terrestre y ese intervalo regular traducido a la superficie terrestre, es un área determinada, donde el sensor detecta un valor medio de la radiancia de todos los objetos que la conforman. Esa unidad mínima de captación de energía es lo que se denomina "píxel" o picture element y el píxel es la mínima unidad visual que aparece en una imagen digital. [22]

## **3.5 USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL**

La cobertura del suelo se refiere a las características físicas de la superficie terrestre y el subsuelo de la tierra como lo es biota, suelo, topografía, aguas superficiales y subterráneas, entre otras, pero también comprende a las características creadas por las actividades humanas (como los asentamientos). El uso del suelo se refiere a la forma en que la tierra ha sido utilizada por lo humanos y por su habitat, generalmente la capacidad y evolución que tiene la tierra misma para las actividades económicas.

El uso del suelo afecta la cobertura del suelo y los cambios en la cobertura del suelo afectan el uso del suelo, muchos patrones cambiantes de uso de la tierra acompañado de causas sociales, está impulsado por combinaciones de factores sinérgicos de escasez de recursos que conducen a un aumento en la presión de producción sobre los recursos, cambios en las oportunidades creadas por los mercados, intervención de políticas externas, pérdida de capacidad de adaptación y cambios en la organización y actitudes sociales, los cuales dan como resultado cambios en la cobertura de la tierra que afectan la biodiversidad.

El cambio de uso y cobertura del suelo es el resultado de factores naturales y socioeconómicos que conllevan a cambios que afectan el ecosistema natural; los medios para su uso óptimo son de gran importancia para la selección, planificación

e implementación de esquemas de uso del suelo para satisfacer la demanda de las necesidades humanas. [23] [24]

### **3.6 INDICADORES DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS**

Los suelos cumplen con diferentes funciones y para establecerlas hay que evaluar el suelo mediante indicadores de su calidad. Estos indicadores son características que pueden medirse para realizar el debido seguimiento y control sobre las prácticas de manejo y uso adecuado del suelo; de esta misma forma mejorar su calidad y la de los recursos asociados. Es importante tener en cuenta que los indicadores seleccionados deben construir una evidencia clara sobre el cambio de la calidad de los suelos. Estos indicadores pueden ser visuales, físicos, químicos y/o biológicos.

Algunos indicadores dan evidencia de las limitaciones para el desarrollo radicular de las plantas por su compactación y disminución en la porosidad. Algunos cambios químicos generan afectaciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas o influencia en la calidad del agua por infiltración. [25]

#### **3.6.1 Parámetros físicos**

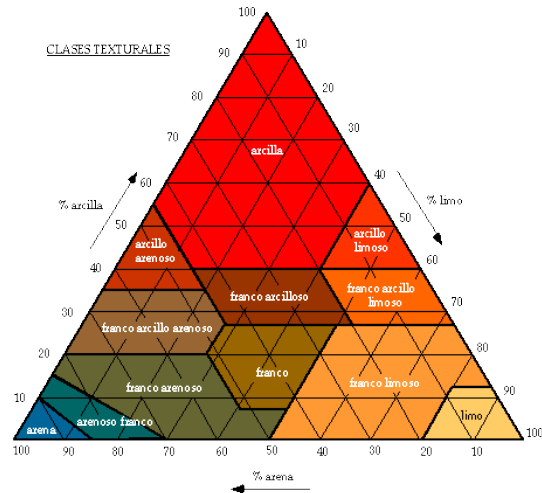
- **Textura**

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, estas pueden variar en arena, limo y arcilla. Este parámetro es un indicador de la cantidad de agua y aire que puede retener y la velocidad con la que el agua penetra en el suelo. FAO. Por ejemplo, las partículas de arena (diámetro entre 2 y 0,05 mm) tienen baja (casi nula) retención de líquidos, esta es una gran desventaja desde el punto de vista agronómico, ya que así mismo los nutrientes no son retenidos y por lo tanto son suelos con poca fertilidad. [26]

Por otro lado, se encontró suelos limosos (entre 0.05 y 0.002mm de diámetro), son suelos compactos producto de la sedimentación de materiales muy finos arrastrados por aguas o vientos. Finalmente, los suelos arcillosos (diámetro menor a 0,002mm), forman una masa viscosa cuando se mojan y su principal compuesto es la arcilla, es por esta razón que son suelos de gran retención de líquidos y bajo drenaje.

Para ello, se utiliza el triángulo denominado “triángulo textural” del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), que consiste en un gráfico de tres ejes que representan al contenido de arcilla, limo y arena, respectivamente, y que está dividido en una serie de áreas correspondientes a las diversas clases texturales. Como se observa en la Figura 3:

**Figura 5. Triángulo textural**



**Fuente:** Guía para educadores USDA

Por otra parte, la textura en estudios rigurosos es relacionada con los valores de densidad aparente, cuando estos son bajos indican una condición porosa del suelo de la misma manera que tener un suelo de tipo arenoso. La densidad aparente es un parámetro muy importante para describir la calidad del suelo y la función del ecosistema. Los valores de densidad aparente altos expresan un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida y cambios indeseables en la función hidrológica como reducción de la velocidad de infiltración del agua estas características van en relación con suelos de tipo arcillosos. [27]

La USDA, ha propuesto una relación entre la densidad aparente y la textura del suelo, con el fin de determinar la influencia en el desarrollo radicular de las plantas.

**Tabla 6. Relación densidad aparente y textura del suelo**

| Relación entre la densidad aparente y la textura del suelo y su influencia en el desarrollo radicular de la planta |                                                          |                                                          |                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Textura                                                                                                            | Densidad aparente ideal para el crecimiento de la planta | Densidad aparente que afecta el crecimiento de la planta | Densidad aparente que restringe el crecimiento de la planta |
| Arenoso – Arenoso franco                                                                                           | < 1.60                                                   | 1.69                                                     | >1.80                                                       |
| Franco arenoso – franco                                                                                            | <1.40                                                    | 1.63                                                     | >1.80                                                       |
| Franco arcilloso arenoso – Franco arcilloso                                                                        | <1.40                                                    | 1.60                                                     | >1.75                                                       |
| Limo – Franco limoso                                                                                               | <1.40                                                    | 1.60                                                     | >1.75                                                       |
| Franco arcillo limoso                                                                                              | <1.40                                                    | 1.55                                                     | >1.65                                                       |
| Arcillo limoso – Arcillo arenoso                                                                                   | <1.10                                                    | 1.49                                                     | >1.58                                                       |
| Arcilla                                                                                                            | <1.10                                                    | 1.39                                                     | >1.47                                                       |

**Fuente.** Guía para educadores USDA

- **Densidad aparente**

La densidad aparente, es una propiedad del suelo relacionada con la estructura y textura de este, esta propiedad es de gran interés por indicar el grado de

compactación del suelo. La densidad aparente es definida como unidad de masa seca por unidad de volumen y en este último tiene en cuenta los espacios porosos que se presentan en el suelo, a diferencia de la densidad real que los excluye. [27],[28], [29]

- **Densidad real**

La densidad real o densidad específica relativa, también llamada densidad de partículas es la relación de la masa de suelo por unidad de volumen real de las partículas; se expresa en g/ml.

La densidad real, varía evidentemente con la proporción de los elementos que constituyen el suelo, en tanto tienen diferentes densidades; la densidad del cuarzo es 2,6 g/ml, de los feldespatos 2,7 g/ml y la materia orgánica tiene una densidad de 1,5 g/ml. [30]

- **Porosidad**

El espacio poroso hace referencia a la parte del suelo en estado natural donde se encuentra ocupado por oxígeno y/o agua.

La reducción de la porosidad del suelo repercute en propiedades físicas desfavorables debidas a una menor aireación del suelo, menor capacidad de infiltración de agua y dificultad para la penetración de las raíces. La aparición de horizontes compactados dentro de un perfil puede deberse a procesos genéticos o deposicionales, o bien, puede ser una compactación creada por el paso de maquinaria, por el laboreo en condiciones de humedad inadecuadas, o por el paso repetido del arado a cierta profundidad. La porosidad del suelo varía según el grado de desarrollo y el tipo de estructura que posee.

Normalmente, los suelos mejor estructurados, con un contenido apreciable de arcilla y materia orgánica poseen una porosidad en torno al 60 %. Los suelos compactados por presión o cementados poseen valores muy bajos de porosidad. [27], [31], [32]

**Tabla 7.** Interpretación de %porosidad

| Porosidad total % | Interpretación |
|-------------------|----------------|
| < 30              | Muy baja       |
| 30 – 40           | Baja           |
| 40 – 50           | Media          |
| 50 – 60           | Alta           |
| >60               | Muy alta       |

**Fuente:** Jordán (2005).

- **Humedad**

La humedad es un indicador indispensable a la hora de estudiar la calidad del suelo, puesto que es la capacidad que tiene el suelo para almacenar el agua disponible para el óptimo crecimiento de la planta.

Las propiedades del suelo que pueden influir en la disminución en cuanto a la capacidad de humedad disponible para las plantas son los fragmentos de roca, la densidad aparente alta, la salinidad, entre otras; No obstante, la materia orgánica hace un efecto contrario, pues la capacidad para almacenar agua disponible para las plantas aumenta al aplicar materiales orgánicos. [29]

### 3.6.2 Parámetros químicos

- **Potencial de hidrogeno pH**

El pH mide el grado de acidez de un suelo, es decir la concentración de iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>) que existen en el suelo. Se conoce que en la escala el valor de 7 es representativo de un suelo neutro, mientras que un suelo ácido es conocido por tener valores inferiores y básicos todos aquellos que tienen valores superiores a 7 [33].

**Tabla 8.** Efectos del nivel de pH en el suelo.

| Nivel de pH | Clasificación del suelo | Efectos                                                                                                                                                                   |  |
|-------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 4,5         | Extremadamente ácido    | Condiciones muy desfavorables para el suelo                                                                                                                               |  |
| 4,5 - 5     | Muy fuertemente ácido   | Posible toxicidad por Al y exceso de Co, Cu, Fe, Mn y Zn.<br>- Deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P y S.<br>-Suelos sin carbonato cálcico.<br>- Actividad bacteriana escasa |  |
| 5,1 - 5,5   | Fuertemente ácido       | Posible toxicidad por Al y exceso de Co, Cu, Fe, Mn y Zn.<br>- Deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P y S.<br>-Suelos sin carbonato cálcico.<br>- Actividad bacteriana escasa |  |
| 5,6 - 6     | Medianamente ácido      | Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos                                                                                                                        |  |
| 6,1 - 6,5   | Ligeramente ácido       | Máxima disponibilidad de nutrientes                                                                                                                                       |  |
| 6,5 - 7,3   | Neutro                  | Minimos efectos toxicos (por debajo de pH7 el carbonato calcico no es estable en el suelo)                                                                                |  |

**Fuente:** Los suelos y su fertilidad

La importancia de conocer el pH del suelo es debido a que la disponibilidad de nutrientes, ya que muchos de estos tienen su máxima solubilidad en un rango entre 6 y 7 decreciendo por encima y por debajo de este rango. [34]

- **Materia orgánica**

La materia orgánica del suelo es la fracción compuesta por los residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, que se encuentran en diferentes estados de descomposición acumulados en el suelo. Cuando los residuos alcanzan un alto grado de descomposición se produce humus, este material participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos lo que indica suelos fértiles. [34]

La materia orgánica varía por muchos factores, incluyendo el clima, el cual afecta los mecanismos de velocidad de fijación de humus, la mineralización y el contenido porcentual del mismo, en las zonas más altas, donde se presentan condiciones de temperaturas bajas la descomposición de la materia orgánica es más lenta, por lo que se acumula en el suelo alcanzando espesores de 30 cm. Por otra parte, en los climas lluviosos existe mayor vegetación lo que incrementa la cantidad de hojarasca y humus. En cambio, en las zonas bajas con climas cálidos o templados con una pluviometría moderada el contenido de materia orgánica suele ser bastante menor. A continuación, se presenta la interpretación de porcentajes de materia orgánica según el clima. [35]

**Tabla 9.** Nivel de materia orgánica con respecto al clima.

| <i>Clima</i>    | <i>Bajo</i> | <i>Medio</i> | <i>Alto</i> |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|
| <i>Cálido</i>   | <2          | 2-3          | >3          |
| <i>Templado</i> | <3          | 3-5          | >5          |
| <i>Frío</i>     | <5          | 5-10         | >10         |

**Fuente:** Fundamentos de Edafología [36]

### 3.6.3 Prueba estadística

- **Análisis de varianza univariante**

El análisis de varianza se basa en utilizar varianzas para determinar si las medidas son diferentes, de manera que compara la varianza entre las medidas de los grupos y la varianza dentro de los grupos para determinar las diferencias.

Dado la anterior las pruebas ANOVA constan de probar la hipótesis de que las medidas de dos o más poblaciones son iguales. Esta hipótesis es conocida como hipótesis nula la cual se define explícitamente en que todas las medidas de las

poblaciones son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente. [37]

- **Pruebas de comparación múltiple**

Las comparaciones múltiples permiten identificar minuciosamente cuales son las medidas diferentes y cuál es su grado de diferencia. Para ello se evalúa la significancia de las diferencias entre las medidas usando un grado de confianza; en la estadística por lo general el nivel de confianza usado es el 95%.

Existen diferentes métodos de comparación para diferentes casos, por ejemplo, es adecuado usar el método Tukey si es comparación en parejas y si no necesita de un control para su comparación. A continuación, se presentan alguno de los métodos, las características y ventajas. [37]

**Tabla 10.** Métodos de comparación múltiple

| <i>Método</i>            | <i>Datos normales</i> | <i>Fuerza</i>                                                                                                  | <i>Comparación con un control</i> | <i>Comparación en parejas</i> |
|--------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| <i>Tukey</i>             | Sí                    | La prueba más potente cuando se realizan comparaciones en parejas únicamente.                                  | No                                | Sí                            |
| <i>Dunnett</i>           | Sí                    | La prueba más potente cuando se compara con un control.                                                        | Sí                                | No                            |
| <i>Método MCB de Hsu</i> | Sí                    | La prueba más potente cuando usted compara el grupo que presenta la media más alta o baja con los otros grupos | No                                | Sí                            |
| <i>Games Howell</i>      | Sí                    | Se utiliza cuando no se parte del supuesto de que las varianzas son iguales.                                   | No                                | Sí                            |

**Fuente:** Prácticas de tratamiento estadístico.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Se realizó la recopilación de fotografías aéreas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) estas deben contar con una escala inferior a 1:40000, donde no se presenten patrones que dificulten la visibilidad de la zona como lo es la nubosidad; además, la fotografía debe comprender el 100% del área de estudio y finalmente el intervalo de tiempo será superior a 10 años con el fin de identificar cambios significativos. De esta manera, se recopiló las fotografías de los años 1941, 1985 y 2007, estos años fueron elegidos, de acuerdo las características mencionadas anteriormente y la disponibilidad de información del IGAC, ver tabla 11; para realizar la identificación y clasificación de la cobertura vegetal y gradiente de pendiente. Para tener información actual se procedió a la adquisición de imagen satelital del presente año tomada por Google Earth.

**Tabla 11.** Descripción de fotografías.

| <b>AÑO</b>  | <b>VUELO</b>     | <b>FOTOGRAFÍA</b> |
|-------------|------------------|-------------------|
| <b>1941</b> | A 235            | 152 – 153         |
| <b>1985</b> | C 2183           | 166 – 167         |
| <b>2007</b> | C 2803           | 114 – 115         |
| <b>2019</b> | Imagen satelital |                   |

**Fuente.** Autores

Previamente se realizó la investigación sobre la identificación de las coberturas haciendo uso de criterios como: la forma, tamaño, tono y textura, parámetros esenciales para realizar fotointerpretación; en cuanto a las pendientes se hizo uso de estereoscopios de espejos, con los cuales se logró observar el relieve de cada año apoyado esto con un nivel de referencia medio de la zona y trabajo de campo soportando la interpretación del año actual.

Posteriormente se desarrolló el análisis digital, a través del software ArcGIS 10.6 el cual consta de vectorizar la información obtenida a partir de la fotointerpretación de la cobertura vegetal y el gradiente de pendiente, éste a través del estereoscopio. De esta manera se generaron los mapas para los diferentes años seleccionados.

#### 4.1.1 Descripción de la cobertura vegetal

Se identificó, clasificó y analizó el cambio de cobertura vegetal de la Vereda alto del ramo con base en la metodología Corine Land Cover, a partir del proceso de fotointerpretación de fotografías aéreas para los años 1941, 1985, y 2007. Para el año actual se realizó a partir de imagen satelital.

La identificación de cobertura vegetal mediante el método de fotointerpretación permite también deducir cual es el uso del suelo que se está presentando en el área para los diferentes años. Por ejemplo, si se presenta territorios agrícolas, se infiere que el área está destinada a actividades agrícolas; si hay presencia de pastos

arbolados, se deduce que el área cuenta con actividades ganaderas puesto que en la vereda Alto del ramo se presenta ganadería para producción de leche. De esta manera se relacionó la cobertura vegetal con el uso del suelo. En la siguiente tabla se establece la cobertura para la vereda Alto del ramo, además del potencial uso que se puede realizar.

**Tabla 12.** Clasificación de la cobertura vegetal

| <b>CÓDIGO</b>  | <b>COBERTURA VEGETAL</b>      | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                                                                                                                    | <b>USO DEL SUELO</b>                                                     |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>1.4</b>     | Zonas verdes artificializadas | Zonas verdes en área urbana, donde existen actividades recreacionales, culturales, etc. (resultado de la planificación urbana)                        | Construcciones e infraestructura, recreación, Colegios Cancha de futbol. |
| <b>2.1</b>     | Territorios agrícolas         | Cultivos para la producción de alimentos y materia prima industrial                                                                                   | Cultivo de papa, cebolla y hortalizas                                    |
| <b>2.4.2</b>   | Mosaico de pastos y cultivos  | Comprende tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño                                              | Uso agrícola y ganadero variado                                          |
| <b>2.3.2</b>   | Pastos arbolados              | Potreros con árboles de altura mayor a 5m, dispersos entre el 30 y menos del 50 % del terreno.                                                        | Actividad pecuaria                                                       |
| <b>3.2.2.1</b> | Arbustales                    | Comprende territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, no tiene copa definida. | Actividades forestales y agrícolas                                       |
| <b>3.1.4</b>   | Bosque Ripario                | Vegetación arbórea ubicada en los cursos de agua permanente o temporal, está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y drenajes.   | Actividades forestales y agrícolas                                       |

**Fuente.** Corine Land Cover, ajustado para la zona de estudio.

#### 4.1.2 Descripción del gradiente de pendiente

La clasificación de pendientes fue basada según la propuesta de gradiente de pendiente y morfología del terreno del IGAC. De igual forma, se realizó mediante el método de estereoscopia haciendo uso del estereoscopio de espejo, el cual permitió observar el relieve de la vereda a partir de las tonalidades que ofrece las diferentes fotografías aéreas y la visión tridimensional que aporta la metodología de estereoscopia, además de la interpretación actual realizada con trabajo de campo.

Para realizar el modelo estereoscópico, se tuvo en cuenta inicialmente localizar dos puntos iguales en las fotografías, posteriormente se traslapan dichas imágenes logrando la visión de la imagen en una sola, esto con ayuda del estereoscopio y así obtener una vista en tres dimensiones, de esta manera se dió inicio a la identificación y clasificación de los diferentes gradientes de pendiente.

**Tabla 13.** Clases de gradiente de la pendiente

| CLASE | DESCRIPCIÓN                                            | PENDIENTE % |
|-------|--------------------------------------------------------|-------------|
| a     | Topografía plana, plano cóncavo y ligeramente plana    | 0 – 3       |
| b     | Topografía ligeramente inclinada, ligeramente ondulada | 3 - 7       |
| c     | Topografía ondulada, inclinada                         | 7 - 12      |
| d     | Topografía fuertemente ondulada, fuertemente inclinada | 12 - 25     |
| e     | Topografía fuertemente quebrada                        | 25 - 50     |
| f     | Topografía escarpada                                   | 50 - 70     |
| g     | Topografía muy escarpada                               | Mayor a 75  |

**Fuente.** IGAC.

#### 4.2 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS EROSIVOS Y GRADO DE EROSIÓN

Se determinaron los procesos erosivos y el grado de erosión actual a través de la visita a campo y con previa revisión del documento soporte Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión, en el cual se describen los diferentes procesos erosivos y el grado de erosión definidos por el protocolo, observar Tabla 14. El desarrollo se da a partir de la observación detallada en campo de la zona en cuanto a la presencia de procesos erosivos y con el apoyo del análisis de indicadores de calidad estipulados en el capítulo 4.3

**Tabla 14.** Procesos erosivos y grados de erosión

| Procesos erosivos       | Grados de erosión |
|-------------------------|-------------------|
| Cárcavas                | Sin erosión       |
| Surcos                  | Ligera            |
| Laminar                 | Moderada          |
| Terraceo (pata de vaca) | Severa            |
|                         | Muy severa        |

**Fuente:** Protocolo de erosión

### 4.3 INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

Se escogieron los parámetros fisicoquímicos a analizar, teniendo en cuenta las condiciones de terreno para el cual se va a estudiar, el tiempo que se va a tener para realizar las mediciones, la adquisición de materiales y la factibilidad económica.

Además, estos parámetros permiten identificar la calidad del suelo con relación a los procesos erosivos, ya que si hay pérdida de materia orgánica o densidades mayores se da por entendimiento que el suelo ha perdido su horizonte superficial.

**Tabla 15.** Parámetros fisicoquímicos para analizar

| Parámetro |                      | Método                |
|-----------|----------------------|-----------------------|
| Químico   | pH                   | Potenciómetro         |
|           | Materia orgánica     | Método de calcinación |
| Físicos   | Densidad<br>Aparente | Método de cilindro    |
|           | Densidad Real        | Método de picnómetro  |
|           | Humedad<br>Analítica | Método de secado      |
|           | Textura              | Método de Bouyoucos   |
|           | Color                | Tabla Munsell         |

**Fuente.** Autores

Se seleccionaron los puntos de muestreos de acuerdo con 2 condiciones:

1. Se dividió la zona en tres rangos de cotas. (Ver **Tabla 16**)

La zona alta, la cual es nombrada Zona C, presenta evidencias de movimiento de materiales como alta pedregosidad, árboles inclinados, Gradientes de pendientes altos y escarpes.

La zona media nombrada como Zona B, presenta pendientes moderadas y es susceptible a tener suelos arrastrados de la parte alta de la vereda.

La zona baja es nombrada Zona A y es la zona donde mayor área de pendiente baja tiene, además se deduce que es la zona donde ha recibido la mayor cantidad de masa.

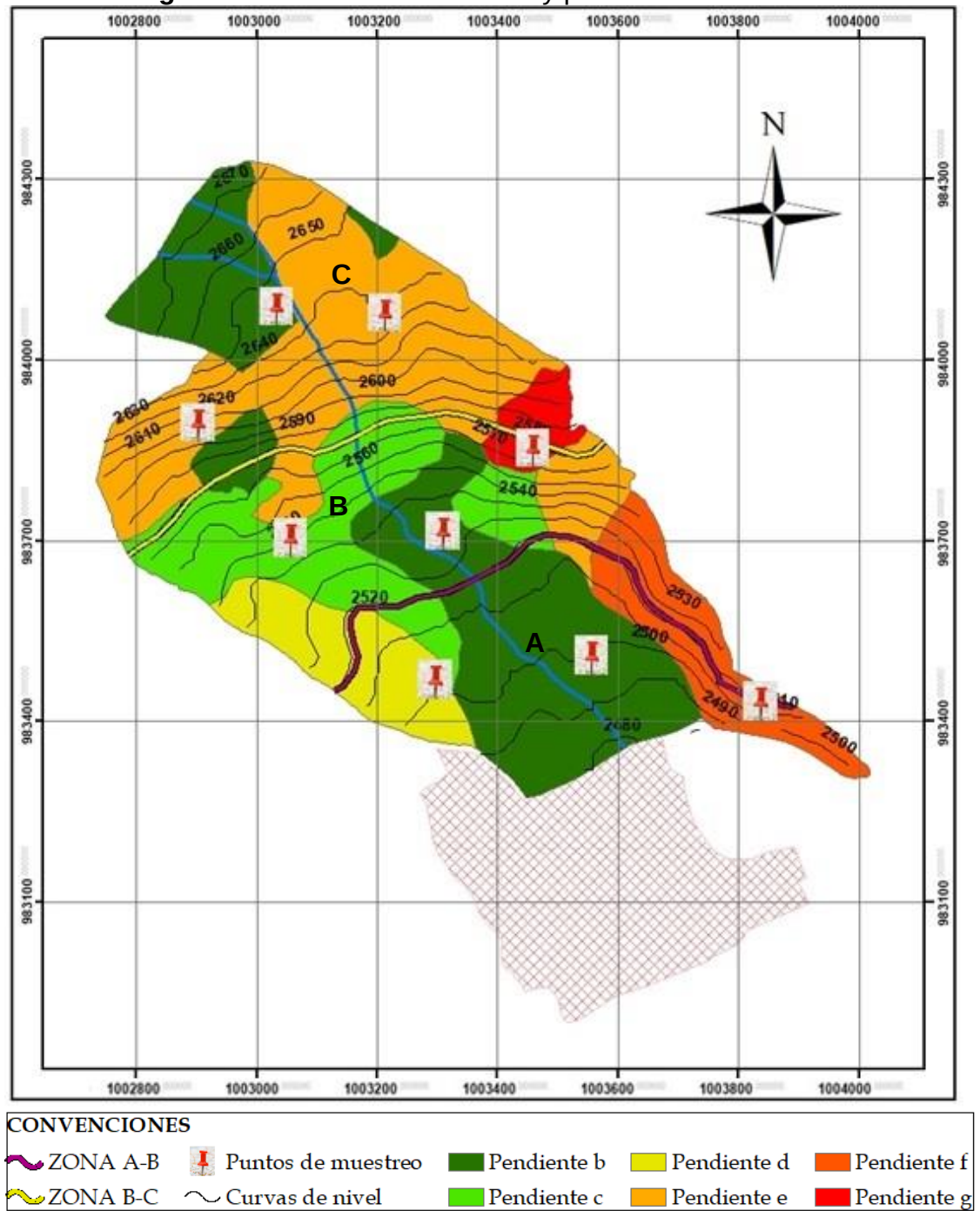
**Tabla 16.** Rango de cota por zonas

| <b>ZONA</b> | <b>COTA (msnm)</b> |
|-------------|--------------------|
| <b>A</b>    | 2480-2520          |
| <b>B</b>    | 2520-2580          |
| <b>C</b>    | 2580-2670          |

**Fuente.** Autores

2. En cada zona (A, B, C) se presentan diferentes gradientes de pendientes, de las cuales se clasifican como pendientes altas (e, f, g), pendientes medias (c, d) y pendientes bajas (a, b). Esta distribución permite tomar 1 muestra por cada tipo de pendiente para tener un total de 3 muestras en cada zona. (Ver Figura 6).

**Figura 6.** Clasificación de zonas y puntos de muestreo.



**Fuente.** Autores

- Los muestreos son realizados a máx. 50 cm de profundidad para observar el cambio de horizonte que se pueda presentar en los suelos

### 4.3.1 Análisis estadístico para indicadores de calidad

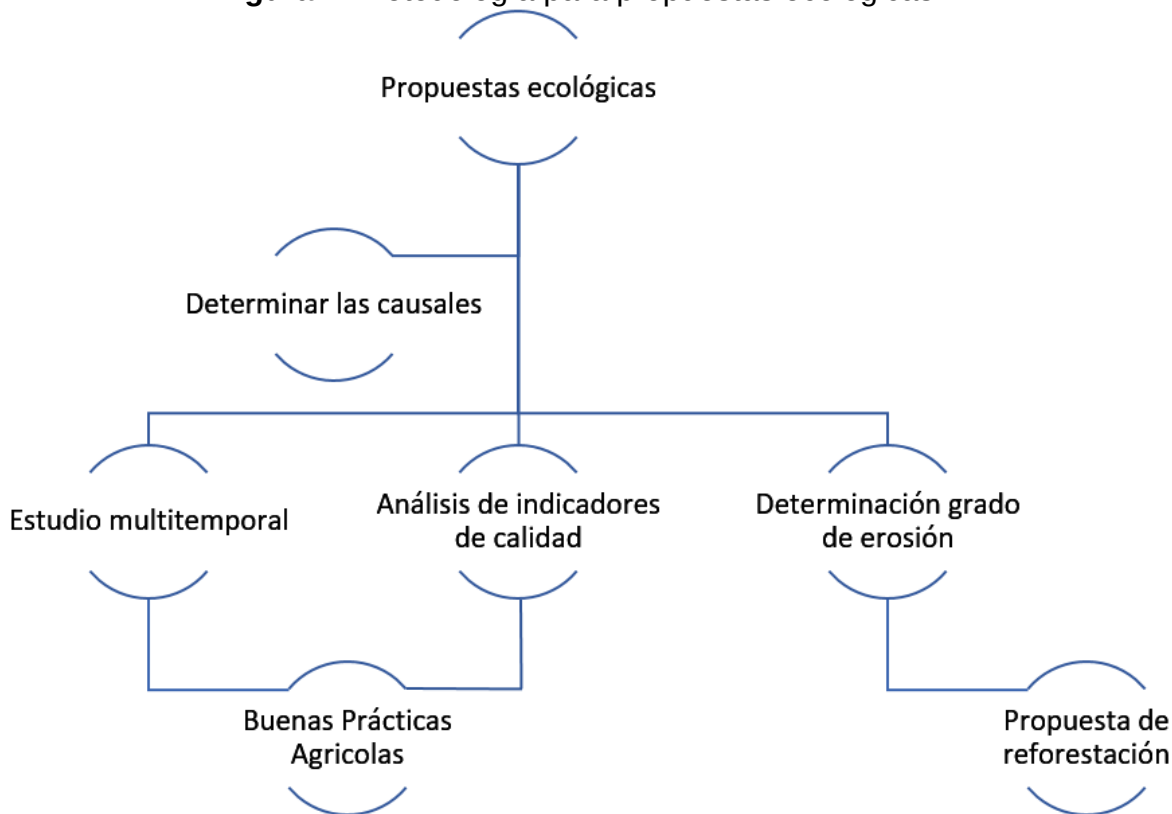
Para establecer las diferencias significativas de los parámetros, se procedió a utilizar la prueba ANOVA por medio del software SPSS que permite identificar si existen diferencias o similitudes entre las zonas establecidas anteriormente.

Si la prueba da afirmativo para la hipótesis de que una de las variables difiere de la otra, se opta por realizar pruebas de comparación múltiples, para establecer claramente donde se presenta la desigualdad. Para ello se estableció el método Tukey que permite la comparación de parejas, para este estudio la comparación sería entre las zonas (A, B, C) con el parámetro, y no requiere un control para su comparación, todo ello a partir del software SPSS.

### 4.4 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS

Se desea presentar propuestas de alternativas ecológicas que permitan mitigar el proceso erosivo que se ha venido generando, para ello hay que tener en cuenta los ítems a estudiar como el análisis multitemporal, grado de erosión y el resultado de indicadores de calidad, con el fin de plantear correctamente las estrategias. Dado lo anterior se realizó un esquema para facilitar el cumplimiento del objetivo.

**Figura 7.** Metodología para propuestas ecológicas.



**Fuente.** Autores

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 ESTUDIO MULTITEMPORAL**

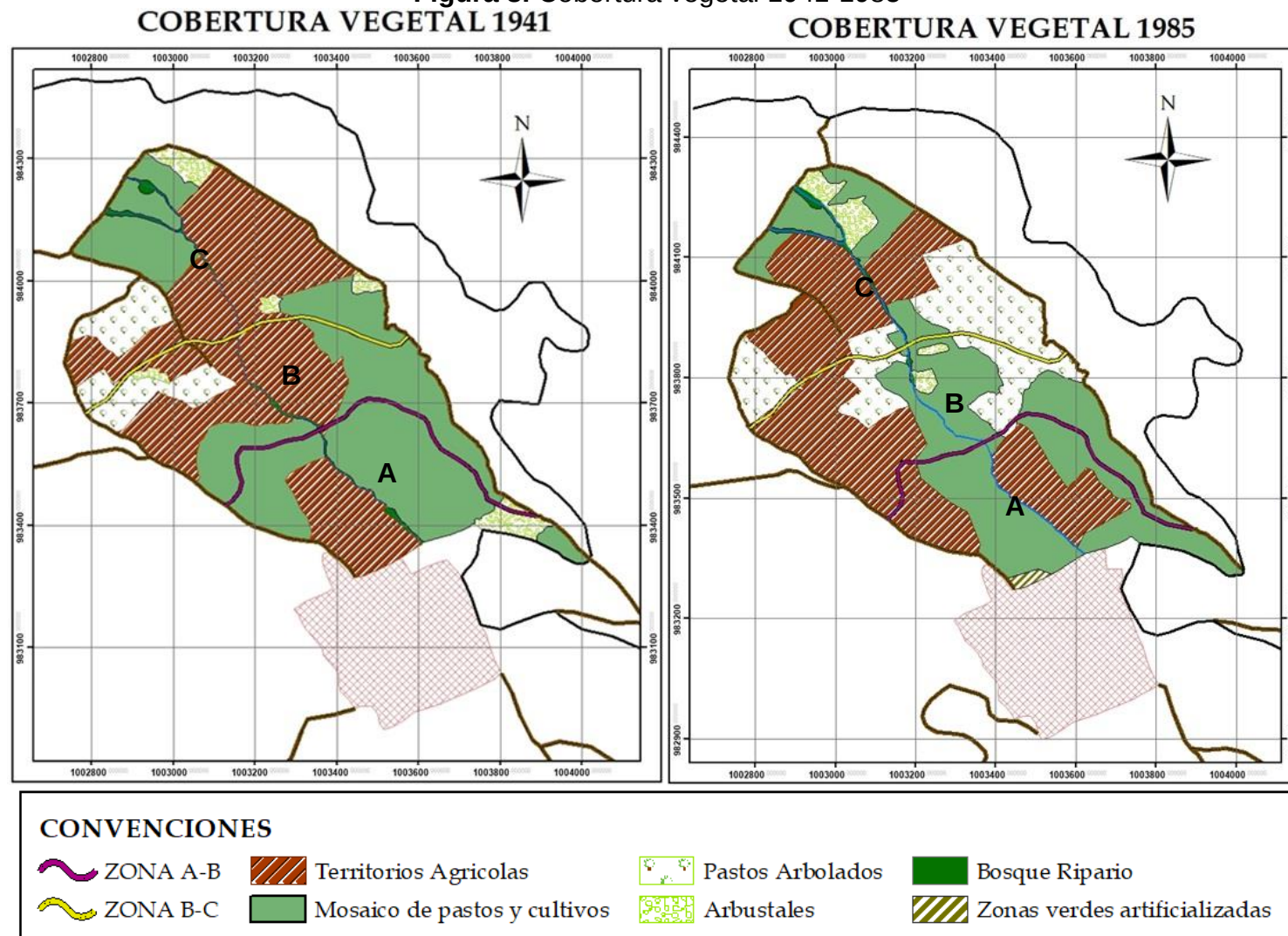
Obtenidos los mapas para los diferentes años de coberturas y pendientes, a través del software ArcGIS 10.6, se calculó el área de cada clasificación según la Leyenda nacional para coberturas y el esquema de gradiente del IGAC para las pendientes, con esta información se identificó el comportamiento de cada año de estudio.

El sistema de coordenadas que se utilizó fue Magna Colombia Bogotá y el Datum Magna Sirgas, los mapas se encuentran a una escala 1:8000.

#### **5.1.1 Descripción de la cobertura vegetal**

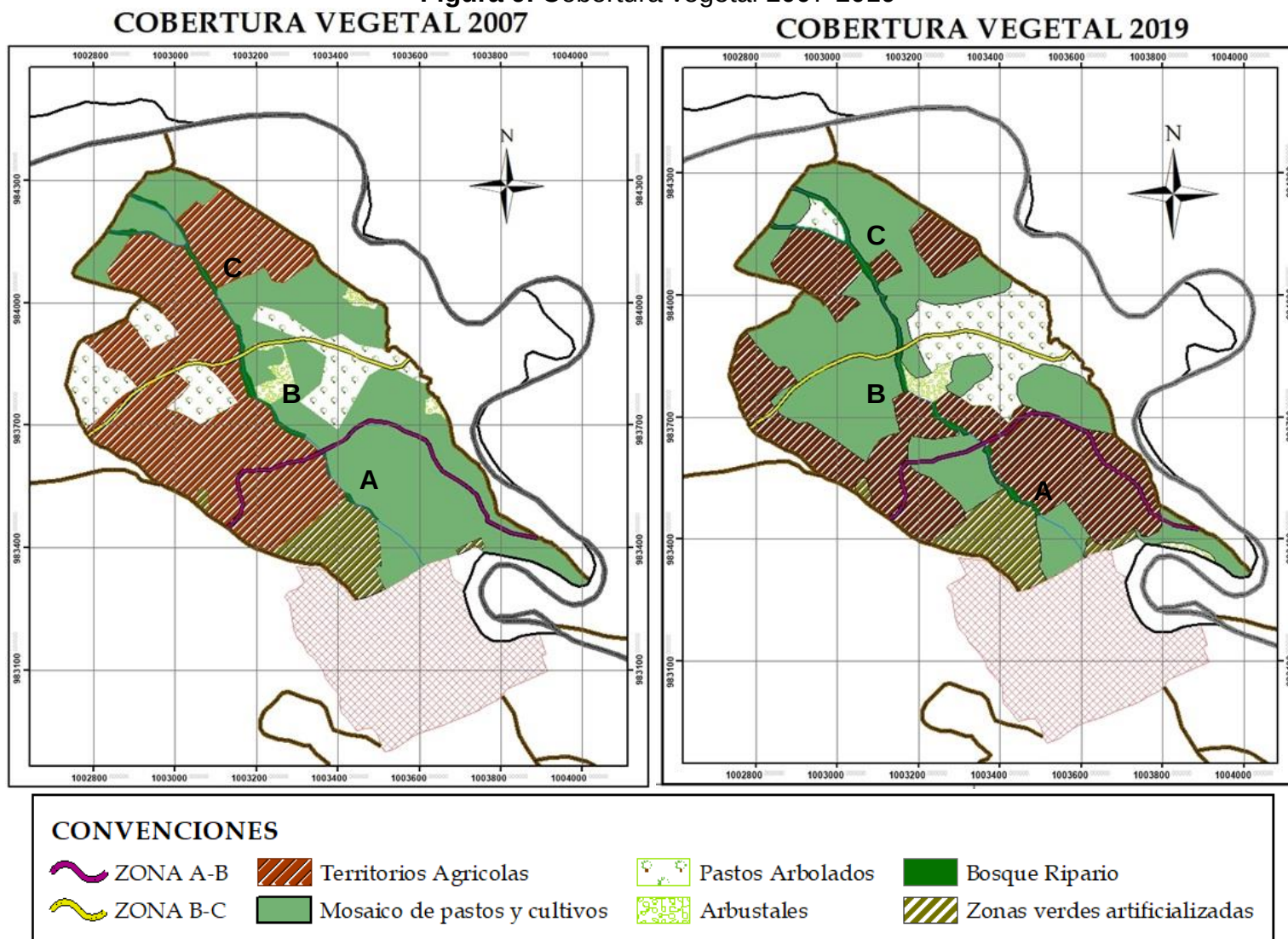
En la siguiente figura, se pueden observar los mapas generados para cobertura de los diferentes años, en los cuales predomina la cobertura de territorios agrícolas, por lo cual el uso de este suelo se ha mantenido en variedad de cultivos, lo cual es afirmado por los habitantes de la zona, dado que en las diferentes visitas se lograron establecer conversaciones con las personas aportando información valiosa para el proyecto.

**Figura 8.** Cobertura vegetal 1941-1985



**Fuente.** Autores

**Figura 9.** Cobertura vegetal 2007-2019



**Fuente.** Autores

- **AÑO 1941**

La cobertura vegetal presentada en el año 1941 comprendió el 43% de territorios agrícolas, mosaicos de pastos y cultivos 44%, pastos arbolados 8%, arbustales 4% y un pequeño bosque ripario 1%, el cual se determinó dado que por ésta área se encuentra una quebrada la cual atraviesa toda el área de estudio desde la zona alta (C) hasta la zona baja (A) y para este año se puede observar la antigua vía (Bogotá-Villavicencio), varios caminos hacia las veredas y otros de paso como el que bordea el área de estudio que más adelante se convierte en camino principal de la vereda.

La cobertura de este año se observó predominio de los territorios agrícolas y pastos y cultivos, siendo estos los de mayor porcentaje del área total a diferencia de las demás clasificaciones que se encuentra entre 1% y el 8%, la mayor cobertura, se encuentra distribuida en las tres zonas (A, B, C), a pesar de esta distribución se identificó que los territorios agrícolas ocupan gran parte en la zona C y B, mientras que los pasos y cultivos tienen mayor presencia en la zona A

- **AÑO 1985**

Para el año 1985, la cobertura vegetal presentó la misma clasificación que el año 1941, a diferencia que sus porcentajes corresponden al 38% de territorios agrícolas, 37% a mosaicos de pastos y cultivos y nuevamente predominaron respecto al área total y se mantuvieron al igual dentro de las zonas C y A respectivamente, se identificó un buen porcentaje de pastos arbolados que corresponde al 20% y se observó el inicio de una construcción la cual haría parte de la Institución Educativa que comprende zonas verdes, por tal motivo se determinó como Zonas verdes artificializadas según la leyenda y comprende el 1% del área total, por otro lado se hace notable una disminución del bosque ripario, comprende el 1.15%, finalmente la cobertura arbustales comprende el 3% del área total.

Por otro lado, en cuanto a la vía antigua no hubo ningún cambio a diferencia de los caminos, donde algunos de paso ya desaparecieron y hacia la parte baja del municipio se estableció un nuevo camino que dirige hacia la vereda Siecha, el casco urbano también empieza a crecer con unas pequeñas edificaciones.

- **AÑO 2007**

Nuevamente se identificaron las categorías de Territorios agrícolas y mosaicos de pastos y cultivos que representan el 39% cada una, y su distribución es similar dentro de las tres zonas (A, B, C), la clasificación pastos arbolados comprende un 12% y se observó su ausencia en la zona C, pero se evidencia este año en la zona B, los arbustales 2%, bosque ripario 2% el cual para este año se observó un aumento cubriendo la quebrada que persistió en el área y finalmente las zonas verdes artificializadas que ganaron un pequeño porcentaje de más dentro del área de estudio, representan el 6% del área total. En el año 2007 se evidenció claramente una nueva vía, la cual pertenece a la vía principal Bogotá – Villavicencio, no se

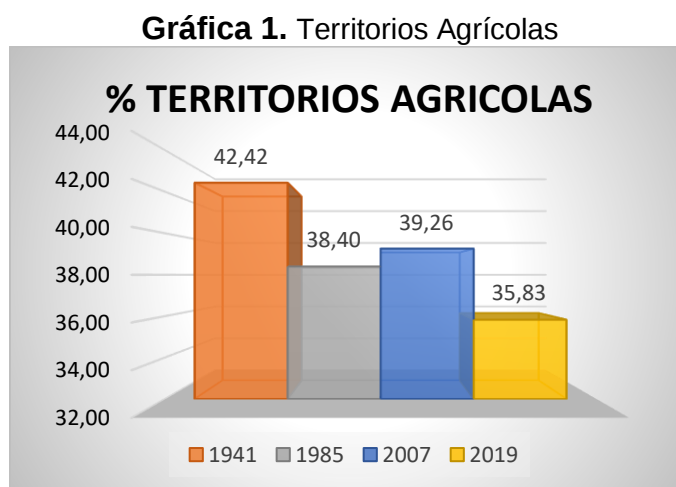
observan grandes cambios, sin embargo, esta vía ya no tiene acceso directo al municipio.

- **AÑO 2019**

La cobertura vegetal que se presenta en la actualidad corresponde al 36% de territorios agrícolas en gran parte de la zona A, 43% de mosaicos de pastos dentro de la zona C y B en su gran mayoría; la cobertura de pastos arbolados corresponde al 12% del área total, encontrándose dentro de la zona C y B; arbustales como bosque ripario conservó un porcentaje mínimo (1% y 2%), finalmente las zonas artificializadas comprenden el 6.17% del área total, en ese sentido para este año se cuenta con una construcción completa de tres instituciones educativas con zonas verdes, cancha de fútbol y recreación y hogar de paso para animales en abandono.

- **Identificación del cambio de cobertura vegetal**

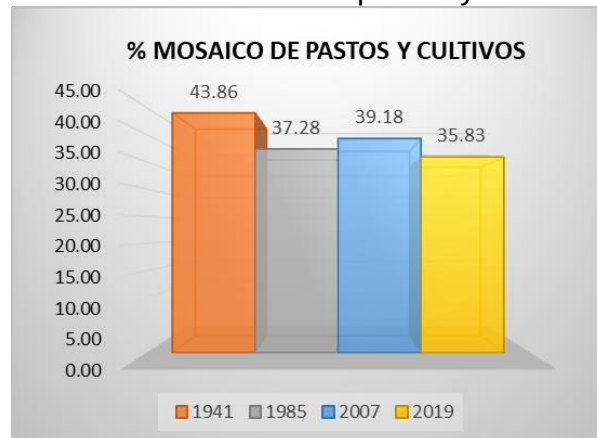
En la siguiente gráfica se puede observar el cambio de la cobertura vegetal de los diferentes años de estudio



**Fuente. Autores**

El cambio de cobertura vegetal para la clasificación de territorios agrícolas se obtuvo una disminución mínima (4.02%) en el año 1985 comparada con el primer año (1941) la cual comprende el 42.42% del área total, sin embargo, para el año 2007 está aumentó 0.82% y para la actualidad cuenta con el 35.83% del área total. A pesar de los aumentos o disminuciones, los territorios agrícolas ocupan gran parte de la cobertura en la vereda alto del ramo, es el 39% del área total, lo cual era de esperarse ya que la vocación del municipio pertenece a esta actividad agrícola; se identificó un cambio notable en la distribución de esta cobertura en las zonas, dado que los territorios agrícolas primero se venían caracterizando por encontrarse dentro de la zona B y C, ahora se observan solo hacia el oeste de la zona B, C y en gran parte de la zona A.

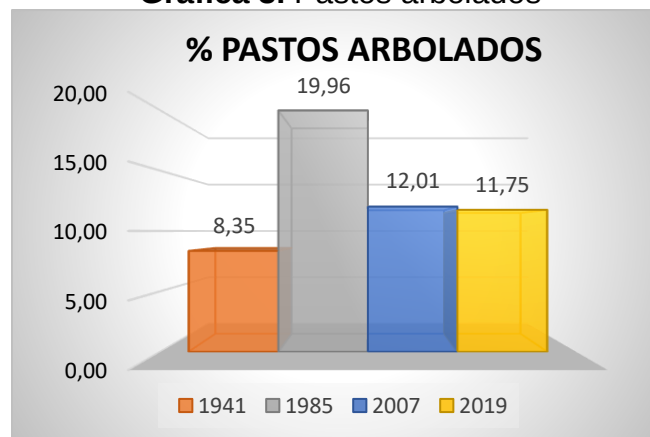
**Gráfica 2. Mosaico de pastos y cultivos**



**Fuente.** Autores

El grupo de mosaicos de pastos y cultivos, también ocupó gran parte del área total, se presenta una variabilidad parecida a la anterior clasificación con diferencia en sus porcentajes, dado que para el año 1985 disminuyó en un 6.58% y en el año 2007 aumentó en un 1.9% y para el año 2019 representa el 35.83% del área total disminuyendo en un 3.73% respecto al año anterior, se infiere que en estas áreas se presentaron actividades de ganadería, ya que actualmente el municipio cuenta con el 44% de área total destinada para esta actividad. Además, en las visitas técnicas, se identificaron pastos limpios con presencia de ganado y en otros sin incidencia se evidencia el suelo afectado por erosión de terrazo (pata de vaca), lo cual demuestra la transición de las diferentes actividades y el impacto de erosión en el terreno. Por tal motivo esta clasificación representa gran parte del área total de estudio, donde no solo se evidenciaron pastos limpios sino actividades de ganadería y agricultura. Además, los habitantes de la zona confirman que estas actividades mencionadas se han venido realizando a lo largo de los años.

**Gráfica 3. Pastos arbolados**

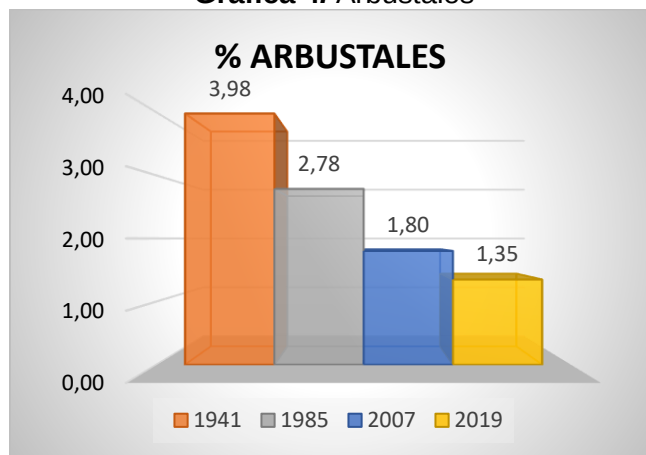


**Fuente.** Autores

En cuanto a la cobertura de pastos arbolados, se pudo observar que el año 1941 cuenta con un porcentaje bajo de 8.35% respecto al área total y en el año 1985 aumentó a 19.96% pero disminuyó nuevamente en el año 2007 (12.01%), esto

significa que durante el periodo de 1941-1985 se realizaron trabajos de reforestación, lo cual se confirma a través de las visitas de campo con las personas que habitan la zona afirmaron dichos trabajos, sin embargo con la distribución actual de los terrenos y las actividades antrópicas ocasionaron la disminución de dicha arborización; del año 1985 al 2007 disminuyó el 8% al 2019 solo el 0.26%. Esto se debió a los asentamientos de las personas en las diferentes zonas.

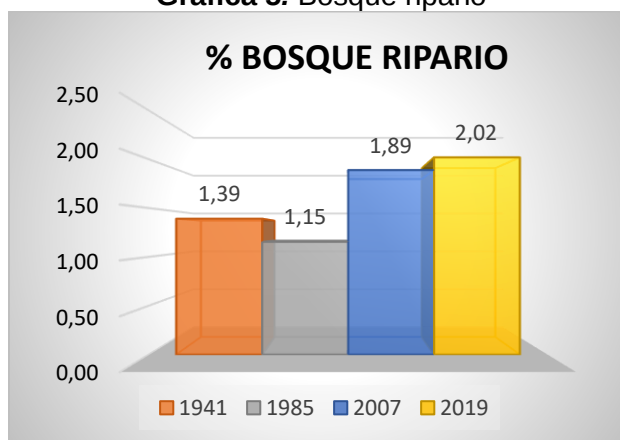
**Gráfica 4. Arbustales**



**Fuente. Autores**

El porcentaje de arbustales viene disminuyendo desde 1941 con un porcentaje del 3.9% al 1.35% para 2019 del área total, aunque es una disminución notoria, esta categoría no comprende gran parte del área de estudio ya que conforma alrededor del 3% del área total, esta vegetación ha sido reemplazada por las actividades antrópicas, donde estos terrenos fueron ocupados con cultivos, pastos limpios y ganadería; la zona que no perdió esta característica arbustiva fue la zona B.

**Gráfica 5. Bosque ripario**



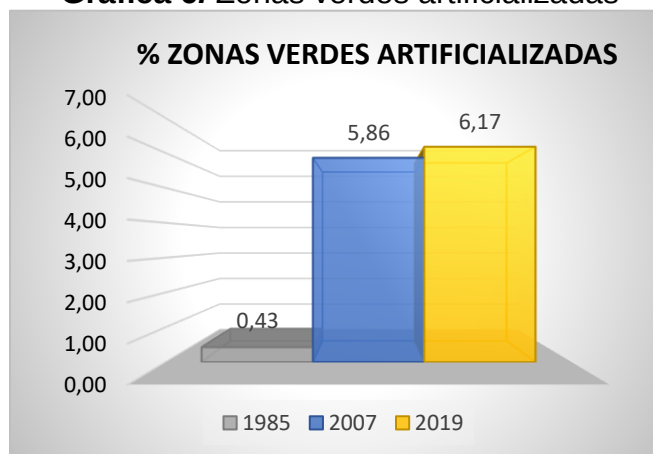
**Fuente. Autores**

Dentro del área de estudio se encontraron finalmente dos categorías que no ocupan gran parte del territorio, sin embargo es de gran relevancia mencionarlás debido a que, la primera (bosque ripario) cumple la función de cubrir o bordear la quebrada que pasa por la zona y es de importancia ya que esta vegetación no solo protege el

cauce sino que sirve como soporte de los suelos; hacia el año 2011 ocurrió un evento de desbordamiento de esta misma afectando la zona urbana del municipio y por ende la vegetación y/o cultivos presentes en dicho año ya que esta no contaba una debida canalización.

Como tal, el bosque ripario disminuyo su cobertura desde 1941 posiblemente por la ocupación el cauce para las actividades agrícolas y aumentó en pequeños porcentajes donde actualmente representa el 2.02% del área total. Es decir que se recuperó referente al año 1985 y se pudo evidenciar que sigue en procesos de cuidado y reforestación ya que se obtuvo un aumento del 0.63% respecto al año 1941.

**Gráfica 6. Zonas verdes artificializadas**



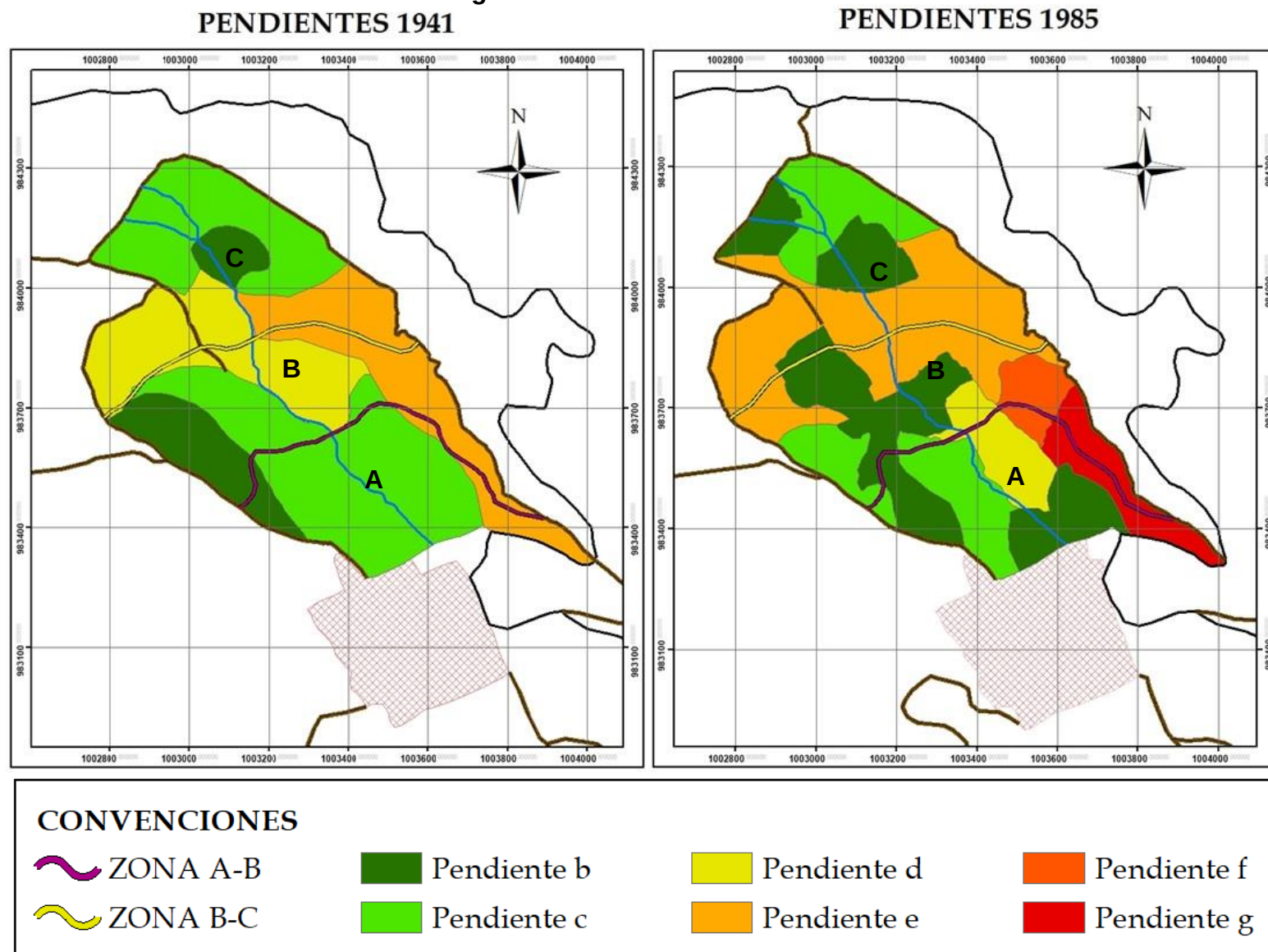
**Fuente. Autores**

La última categoría de coberturas corresponde a las zonas verdes artificializadas, la cual no cuenta con gran porcentaje dentro de toda el área, pero si se evidenciaron las construcciones finalmente para el año 2019 con un porcentaje del 6.17%, estas zonas verdes se hicieron notorias desde el año 1985, donde se infiere el inicio de las construcciones, ya para el año 2007 se contó con una cobertura del 5.86%; esta categoría se encuentra ubicada en la zona A.

### **5.1.2 Descripción de los gradientes de pendiente**

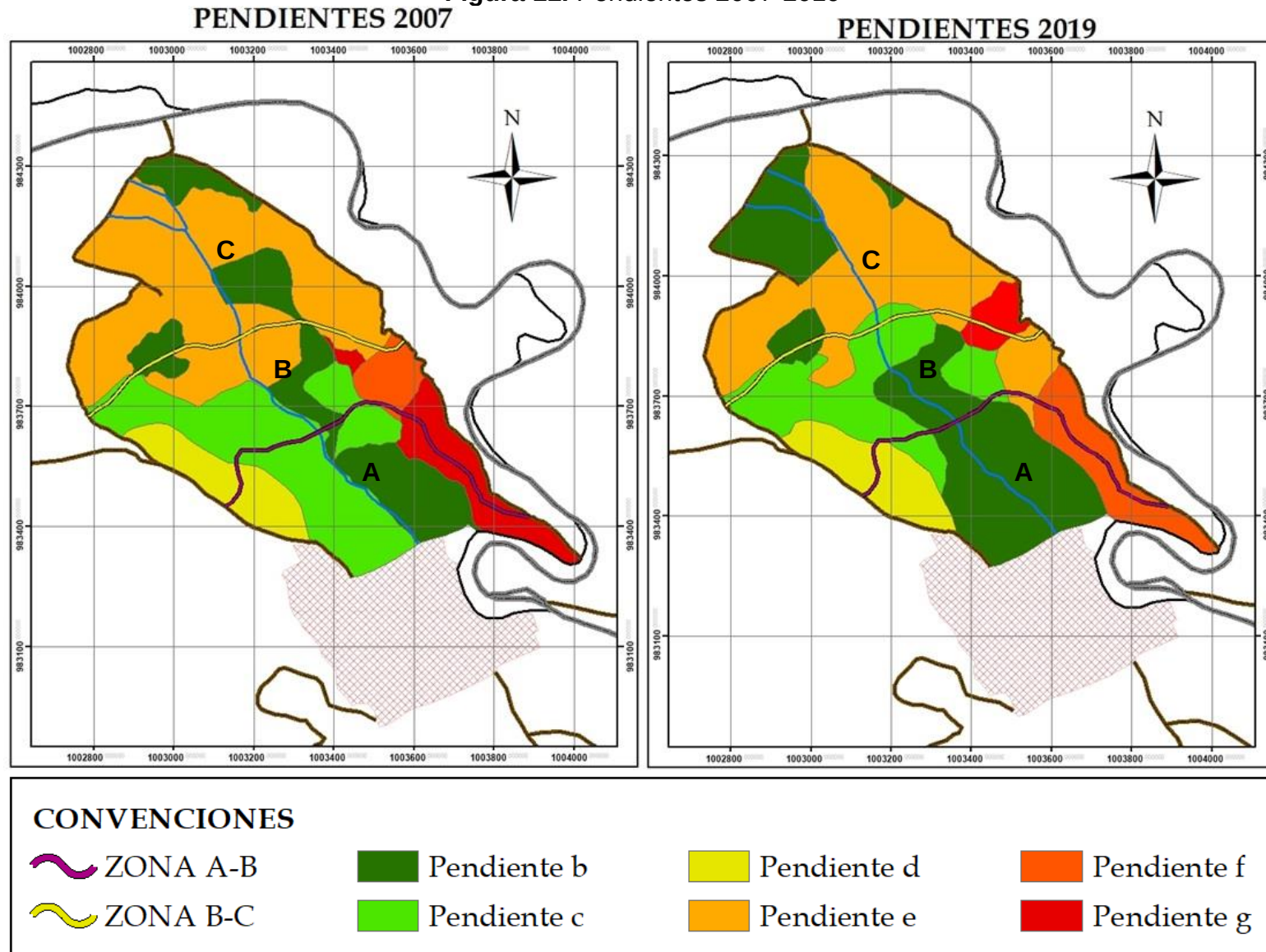
En la siguientes figuras, se puede observar el gradiente de pendiente identificado para cada año de estudio

**Figura 10. Pendientes 1941-1985**



**Fuente:** Autores

**Figura 11. Pendientes 2007-2019**



**Fuente:** Autores

- **AÑO 1941**

Las pendientes del año 1941 no presentaron fuertes escarpes (*f, g*), sin embargo se evidenció un porcentaje considerable (19%) perteneciente a la pendiente *e*, lo que significa topografía fuertemente quebrada, la cual se presentó al oeste de la antigua vía y se encontró dentro de las tres zonas (A, B, C); en este año predominaron las pendientes medias (*c, d*) con porcentajes de 48% y 20% respectivamente de acuerdo al área total. Estas pendientes varían de una topografía ondulada a fuertemente inclinada, y gran parte de la pendiente *c* se identificó dentro de las zonas A y C y una pequeña parte dentro de la zona B, mientras que la pendiente *d* se repartió dentro de las zonas B y C, finalmente la pendiente con menor porcentaje es la *b* la cual ocupa el 13% del área total, ésta pendiente se encontró ubicada hacia el oeste (zona A y B) y una pequeña parte en la Zona C.

- **AÑO 1985**

Para el año 1985, se presentaron pendientes con fuertes escarpes (*f, g*) cubriendo el 4% y 7% del área total respectivamente y se encontraron hacia el oeste de la vía antigua dentro de las zonas A y B como se puede observar en los mapas; ahora, la pendiente *e* representa el 32% respecto al área total es decir aumento su cobertura y se presentó dentro de la zona C; la pendiente *d* representa el 7% del área total y se encontró dentro de la zona A y una pequeña parte en la zona B, por otro lado la pendiente *c* comprendió el 21% del área total. Finalmente, la pendiente *b* ocupó el 29% del área total y en este año se presentó dispersa dentro de las tres zonas.

- **AÑO 2007**

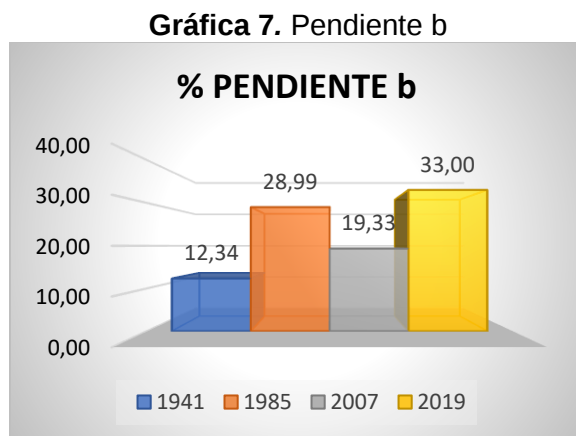
Las pendientes identificadas en el año 2007 pertenecen al 8%, 4%, y 38% de gradiente de pendientes altas (*f, g, e*). Sin embargo, las dos primeras siendo las más escarpadas cubrieron los porcentajes más bajos dentro del área total y se acentuaron al este de las zonas A y B mientras que la pendiente *e*, se extendió dentro de la zona C; para este año la pendiente *d* se encontró en la zona A y B, representando un 7% del área total, finalmente la pendiente *c* comprendió un porcentaje del 24% y se evidenció solamente dentro de las zonas A y B; la pendiente más plana *b*, comprendió una cobertura del 19% y se encontró nuevamente dispersa en las tres zonas.

- **AÑO 2019**

Para el año 2019, se identificaron los escarpes más altos nuevamente al oeste de la vía y encontrándose dentro de las zonas A y C comprendiendo el 8% y 3% las pendientes *f* y *g* respectivamente, mientras que la pendiente *e* representa el 31% del área total y se acentúa en la zona C con pequeñas coberturas dentro de la zona B, para las pendientes medias (*c, d*) estas cuentan con el 17% y 8% del área total y se encuentran en gran parte dentro de la zona B.

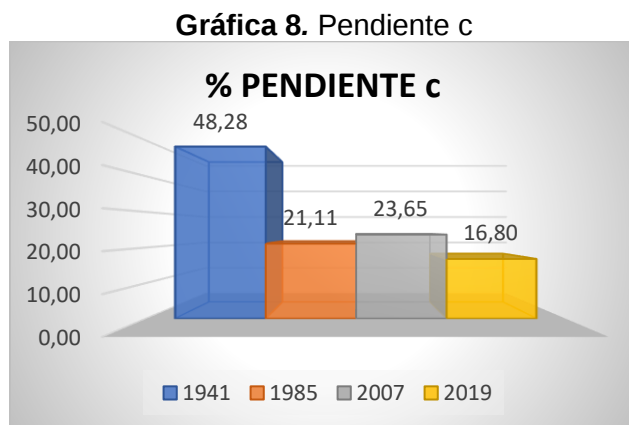
Por último, la pendiente más baja (*b*) representa el 33% del área total es decir la mayor cobertura respecto a las demás pendientes y ésta se encuentra ubicada dentro de la zona A y una pequeña parte en la zona B

- **Identificación del cambio del gradiente de pendiente**



**Fuente:** Autores

En los diferentes periodos de tiempo, la pendiente *b* demuestra aumentos y disminuciones como se puede observar en la anterior gráfica, ésta pendiente comprendió un porcentaje considerable dentro del área de estudio, ya que se refiere a las áreas más planas o menos inclinadas y a través de los mapas anteriores se puede observar que dicha pendiente cambio de la zona B, se dispersó en el área total y finalmente se acentuó en la zona A, es decir la más baja y como se evidencio en campo pertenece a los terrenos más planos. Sin embargo, en la zona C hay evidencia de esta pendiente lo cual se relacionó con el asentamiento de nuevas viviendas y el camino modificado como principal en la vereda, ya que en los años anteriores solo era un camino de paso; actualmente representa el 33% respecto al área total.

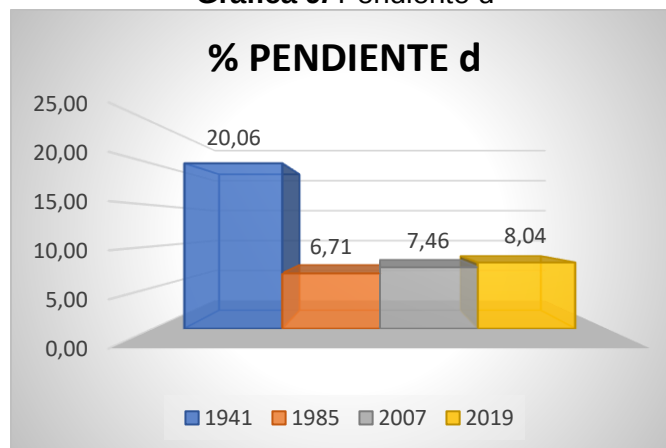


**Fuente:** Autores

En cuanto a la pendiente *c*, se identificó un gran cambio del año 1941 respecto a los demás, dado que para este año comprendía gran parte del territorio

disminuyendo a más de la mitad de su área, sin embargo se ha mantenido alrededor del 20% del total, su comportamiento respecto a las zonas varia de la zona alta C y baja A, donde en el primer año comprendía gran parte de esta, sin embargo se evidenció que se fue acentuando más hacia la zona media B.

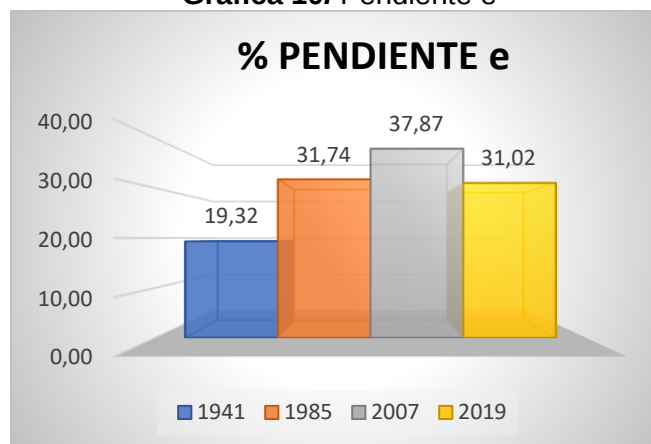
**Gráfica 9. Pendiente d**



**Fuente: Autores**

Los cambios identificados para la pendiente *d*, al igual que la pendiente *c*, comprendía gran parte del territorio en el año 1941 y disminuyó notablemente hacia el año 1985 sin embargo se identificó que a lo largo de los años, la pendiente *d* va en aumento pero con un porcentaje muy bajo; en cuanto a su distribución en las zonas, la pendiente se fue acentuando en la zona B, inicialmente comprendía gran parte en la zona C, en el año 1985 un pequeño porcentaje se mantuvo en la zona A pero finalmente se evidenció en la zona B hacia el oeste.

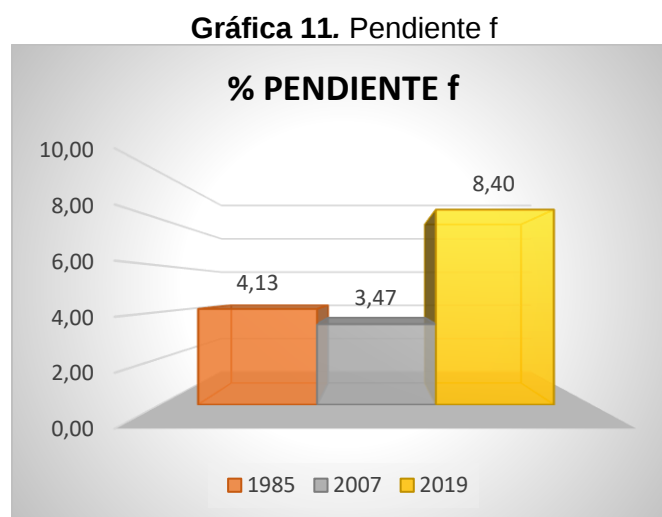
**Gráfica 10. Pendiente e**



**Fuente: Autores**

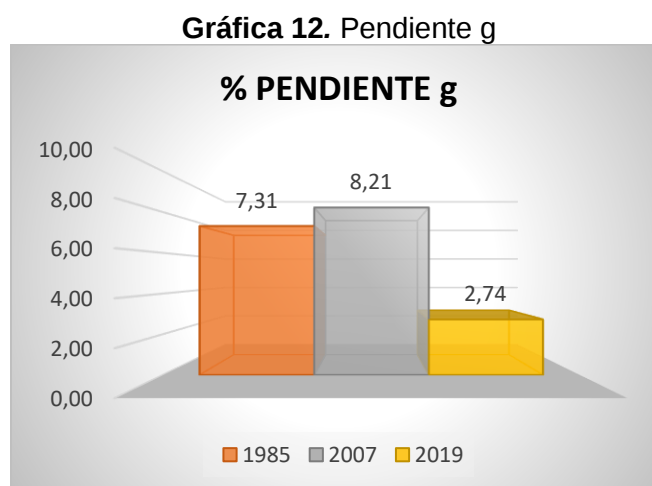
La pendiente *e*, también comprende gran parte del área total alrededor del 30% y en comparación con el año 1941 aumento considerablemente, en los dos años siguientes, permaneció esta tendencia, para el año 2019 se identificó una disminución, pero solo del 6.85%. Ésta pendiente predomina en la zona C,

inicialmente se evidenció hacia el oeste de la vía, pero finalmente se acentúa en gran parte de la zona C. Este aumento de la pendiente puede deberse también al movimiento presentado, dado que en las zonas donde se empezó a evidenciar comprendían pendientes menos inclinadas ahora hacen parte de fuertes pendientes.



**Fuente:** Autores

La pendiente  $f$ , no se evidencio en el año 1941, es decir que no se presentaban fuertes escarpes para dicho año, para los años siguientes se observaron pequeños porcentajes de esta pendiente y para el año 2019 comprende un aumento del 4.93%; se encuentra acentuada al oeste de la vía y así permaneció en los diferentes años sin embargo para los años 1985 y 2007 comprendió un pequeño porcentaje situada en la zona B a diferencia del año 2019 con un porcentaje mayor (8.40%) establecida en la zona A y B.



**Fuente:** Autores

Finalmente la pendiente  $g$  es la evidencia de escarpes altos para el área de estudio, al igual que la pendiente  $f$ , esta no se presentó en el año 1941, sin embargo al

identificarse en los siguientes años, denota un asentamiento en la zona A y B pero actualmente se identificó que gran parte de esta pendiente paso a ser *f*, por lo que su pequeño porcentaje (2.74%) se evidencia solo en la zona B, parte de este cambio se puede deber a las actividades de agricultura y ganadería que fueron evidenciadas en campo y que con una pendiente menos inclinada facilitaría dichas actividades.

## 5.2 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS EROSIVOS Y GRADO DE EROSIÓN

De acuerdo con las visitas de campo realizadas en el área de estudio para su total reconocimiento y con los diferentes puntos de muestreo tomados, se logró identificar inicialmente el tipo de erosión y seguidamente el grado que presenta. En la siguiente tabla se describen y presentan los diferentes procesos en cada zona del área de estudio, por lo cual se determinó que la erosión presentada es hídrica, debido a los diferentes procesos erosivos evidenciados, los cuales pertenecen a esta clasificación.

**Tabla 17.** Procesos erosivos identificados en la vereda Alto del ramo Zona A

| <i>Descripción</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <i>Evidencias</i>                                                                    | <i>° de erosión</i>      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| ZONA A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                      | <i>Ligera a moderada</i> |
| <p>Se identificaron procesos erosivos como inicios de pequeños surcos como se observa en la primera imagen.</p> <p>En esta zona se puede observar la remoción en masa que se ha venido presentando, la acumulación del terreno en la parte baja.</p> <p>Finalmente se identifica erosión laminar, donde se encontró pérdida de la capa superficial del terreno en pequeñas porciones.</p> |  |                          |

**Fuente:** Autores

**Tabla 18.** Procesos erosivos identificados en la vereda Alto del ramo Zona B

| <i>Descripción</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <i>Evidencias</i>                                                                  | <i>° de erosión</i>      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>ZONA B</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |                          |
| <p>Gran parte de esta zona se ve afectada dado a erosión por terraceo (pata de vaca), sobre todo en la parte central de esta zona.</p> <p>También se identificó erosión por pequeñas manifestaciones de surcos como se puede observar en la segunda imagen, acompañado de la actividad ganadera que genera el terraceo ya descrito.</p> |  | <i>Ligera a moderada</i> |

**Fuente:** Autores.

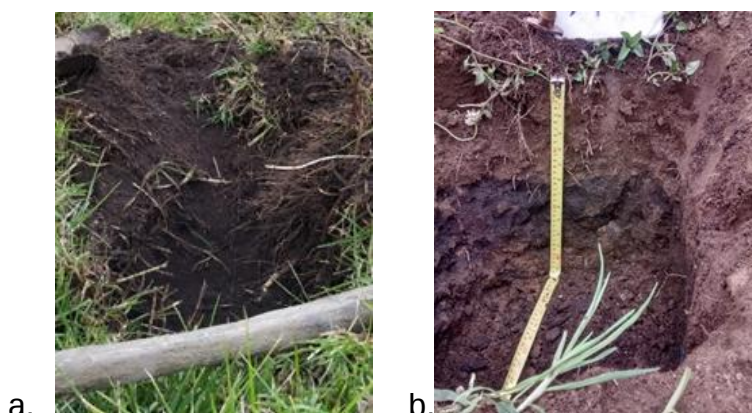
**Tabla 19.** Procesos erosivos identificados en la vereda Alto del ramo Zona C

| <i>Descripción</i>                                                                                                                                                                                    | <i>Evidencias</i>                                                                    | <i>° de erosión</i>      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>ZONA C</b>                                                                                                                                                                                         |                                                                                      |                          |
| <p>En esta zona se identificó erosión por terraceo, a pesar de ser la zona de mayores pendientes, allí se presentan actividades de ganadería.</p> <p>Se observaron pequeñas incidencias de surcos</p> |  | <i>Ligera a moderada</i> |

**Fuente:** Autores.

Por tal motivo se clasificó el grado de erosión de ligera a moderada ya que, dichas características que pertenecen a grado moderado no son lo suficientemente acentuadas si no que hasta ahora se están formando, en cuanto a las características de grado ligero, en la gran mayoría del terreno no se observaron daños al horizonte superficial, es más, se cuenta con un gran espesor del horizonte A y se observa la presencia de organismos en los diferentes puntos de muestreo.

**Figura 12.** Horizonte A identificado (a. Punto C1, b. Punto A2)



**Fuente:** Autores.

### 5.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Para el análisis de indicadores de calidad se tomaron nueve muestras, tres en cada zona. En campo se identificaron factores como color, estructura, consistencia y desarrollo radicular. Observar ANEXO 1

- **ZONA A**

- Densidad aparente

En la vereda Alto del ramo en Chipaque se encontraron que 5 de 9 puntos de muestreo obtuvieron más de un horizonte, 3 de estos se encontraron en la zona baja del municipio. Para análisis de densidad aparente se optó por tomar muestra de cada horizonte encontrado. Los resultados obtenidos para la zona A se encuentran en la Tabla 19, estos oscilan entre 0,63 y 1,58 g/ml.

**Tabla 20.** Datos de densidad aparente por horizonte en la zona A

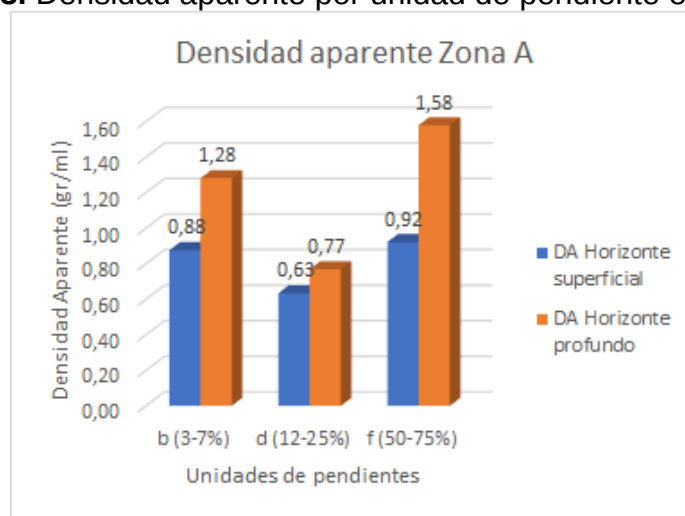
| <b>DENSIDAD APARENTE</b> |                  |                    |                    |
|--------------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| <b>ZONA A</b>            |                  |                    |                    |
| <b>MUESTRA</b>           | <b>HORIZONTE</b> | <b>PROFUNDIDAD</b> | <b>D A (gr/ml)</b> |
| 1                        | AP               | 0-18 Cm            | <b>0,88</b>        |
|                          | A                | 18-50 cm           | <b>1,28</b>        |
| 2                        | A                | 0 -28 cm           | <b>0,63</b>        |
|                          | AC               | 28 - 50 cm         | <b>0,77</b>        |
| 3                        | AP               | 0 -10 cm           | <b>0,92</b>        |
|                          | B                | 10 - 50 cm         | <b>1,58</b>        |

**Fuente.** Autores.

Se puede apreciar que en la zona A, en las tres muestras tomadas se encontraron más de un horizonte lo cual denota la acumulación de suelo. Los resultados apreciados en la Gráfica 13, refleja que la densidad aparente del suelo aumenta a

medida que se encuentra el horizonte más profundo, estos contaron con densidades entre 0,77- 1,58 g/ml, lo que indica que el nivel de compactación es mayor y el nivel de materia orgánica es menor a estas profundidades. Los horizontes profundos fueron encontrados a diferentes profundidades, se resalta la profundidad del punto 3 ya que en el cm 10 se encuentra el segundo horizonte esto se debe a que es el punto con mayor pendiente y se deduce que por ello el segundo horizonte se encuentra tan cerca de la superficie. El punto A2 cuenta con la densidad aparente más baja, ya que en esta zona se desarrollan cultivos de papa y cebolla y el suelo ha sido tratado.

**Gráfica 13.** Densidad aparente por unidad de pendiente en la zona A



**Fuente.** Autores.

#### - Potencial de hidrógeno pH

La vereda Alto del ramo cuenta con suelos ácidos según la Tabla 20, predominando los suelos fuertemente ácidos que son reconocidos por el exceso de cobre Co y aluminio Al y la deficiencia de Ca, K, Mg, S, P. Además, es necesario considerar que los suelos ácidos poseen baja capacidad de intercambio de cationes, que también está vinculado a la falta de materia orgánica por la poca capacidad de retención de nutrientes que tiene el suelo.

**Tabla 21.** Potencial de hidrogeno en la zona A

| Ph     |      |                    |  |
|--------|------|--------------------|--|
| ZONA A |      |                    |  |
|        | pH   |                    |  |
| 1      | 5,19 | Fuertemente Ácido  |  |
| 2      | 5,41 | Fuertemente Ácido  |  |
| 3      | 5,87 | Medianamente Ácido |  |

**Fuente.** Autores.

Es importante recalcar que la zona A es decir la zona baja de la vereda cuenta con un suelo poco favorable para el desarrollo de cultivos por falta de nutrientes vitales, puesto que sus suelos son fuertemente ácidos. Esta zona, para el año actual cuenta

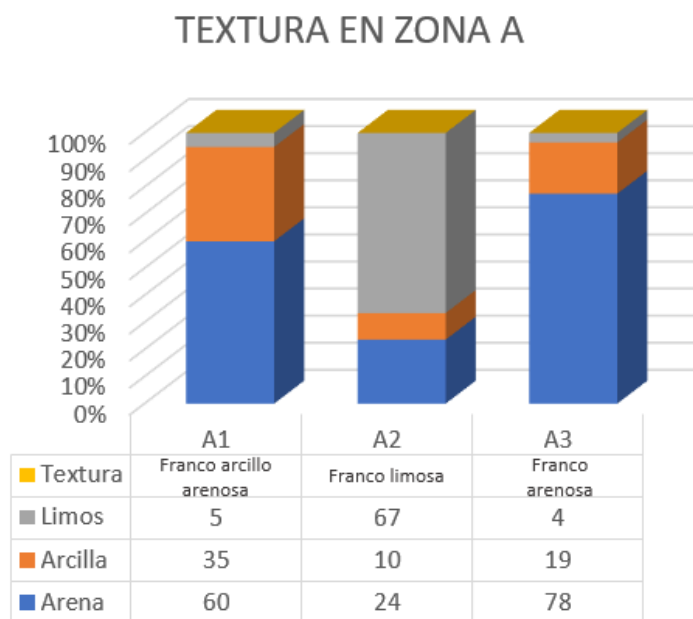
con actividades agrícolas de cebolla y papa, estos cultivos requieren de un pH entre 6 -7,2.

Se debe aclarar que el pH no tiene efecto directo en el crecimiento de las plantas, excepto cuando el valor de este es inferior a 4,2, donde la concentración de iones de hidrógeno puede intervenir en la absorción de cationes por la raíz. Para este caso la vereda Alto del ramo cuenta con niveles aceptables para el desarrollo de especies vegetales.

#### - Textura

A continuación, se presenta en la Gráfica 14 la textura de la zona A, donde se denotó que el punto A1 y A3 se componen de altos porcentajes de arena entre 60 y 78%, mientras que el punto A2 se compone de limos (67%), esto debido a que en este último punto se encuentra en uso de cultivos por lo que ha sido un suelo tratado para eficiencia de estos. Por lo tanto, se dedujo que la porosidad es más alta en los puntos A1 y A3 en comparación al punto A2. Ya que, de manera general, un mayor tamaño de partícula aumenta el tamaño de los poros del suelo.

**Gráfica 14.** Textura en la zona A.



**Fuente.** Autores.

Asumiendo la relación de densidad aparente y textura del suelo hablado en el capítulo de marco teórico, se denota para la Zona A, parte baja de la vereda Alto del ramo, según la Tabla 21, que el punto A3 cuenta con un suelo con densidad aparente que afecta el crecimiento de la planta, recordando que este punto cuenta con una topografía escarpada con pendientes de 50- 75% (f). Por otro lado, los puntos A1 y A2 poseen una densidad aparente óptima para el desarrollo radicular de las plantas.

**Tabla 22.** Relación densidad aparente y textura del suelo en la zona A

| MUESTRA | TEXTURA                | DA   | Desarrollo radicular |
|---------|------------------------|------|----------------------|
| A1      | Franco arcillo arenosa | 1,28 | Ideal                |
| A2      | Franco limosa          | 0,77 | Ideal                |
| A3      | Franco arenosa         | 1,58 | Afectacion           |

**Fuente.** Autores

#### - % Porosidad

Según la Tabla 22, presente en el capítulo de marco teórico, la vereda Alto del ramo, cuenta con una porosidad Alta. Sin embargo, en la zona A se encontró porosidades variadas entre baja y muy alta; esta variedad sucede por varios factores, como la estructura, textura y uso del suelo como se mencionó anteriormente.

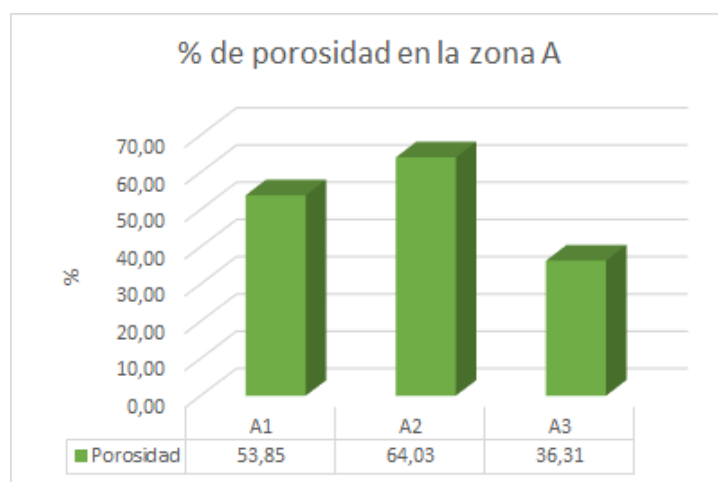
**Tabla 23.** Interpretación del % de porosidad

| MUESTRA | % POROSIDAD | INTERPRETACIÓN |
|---------|-------------|----------------|
| A1      | 54          | Alta           |
| A2      | 64          | Muy alta       |
| A3      | 36          | Baja           |

**Fuente.** Autores

El punto A2 es la zona de cultivo de papa y cebolla y es el punto con mayor porcentaje de porosidad 64%, lo que hace referencia a que es un suelo con propiedades favorables para la infiltración de agua y penetración de las raíces. No obstante, en el punto A3, se encontró el porcentaje de porosidad más bajo 36%; esto por la pendiente fuertemente inclinada en la que se encuentra y la estructura que compone el suelo.

**Gráfica 15.** % de porosidad en la zona A.



**Fuente.** Autores.

## - % MATERIA ORGÁNICA

En la siguiente gráfica, se observa que los puntos de muestreo A1 y A2 cuentan con porcentaje de materia orgánica media 6 y 5,5 respectivamente, Sin embargo, el punto A3 cuenta con baja cantidad de materia orgánica, recordando que este punto está ubicado en una pendiente con topografía escarpada, lo que impide que la materia orgánica sea retenida.

**Tabla 24.** Interpretación de materia orgánica en la zona A

| MUESTRA | % MATERIA ORGÁNICA | INTERPRETACIÓN |
|---------|--------------------|----------------|
| A1      | <b>6,0</b>         | Medio          |
| A2      | <b>5,5</b>         | Medio          |
| A3      | <b>3,3</b>         | Bajo           |

*Fuente. Autores.*

## • ZONA B

### - DENSIDAD APARENTE

De 3 muestras que se tomaron en la zona media, solo en una se encontró segundo horizonte a 21 cm de profundidad con respecto a la superficie, siendo ésta la densidad más alta. Es importante destacar que en este punto el horizonte encontrado es Bw, este presenta clases texturales finas, lo cual cumple con los requisitos taxonómicos de un horizonte cámbico.

Por el contrario, los demás puntos se denotó densidades promedio de 0,93 g/ml. Lo que indica que es un suelo poco compacto y por tanto con mayor susceptibilidad a la erosión hídrica.

**Tabla 254.** Datos de densidad aparente por horizonte en la zona B

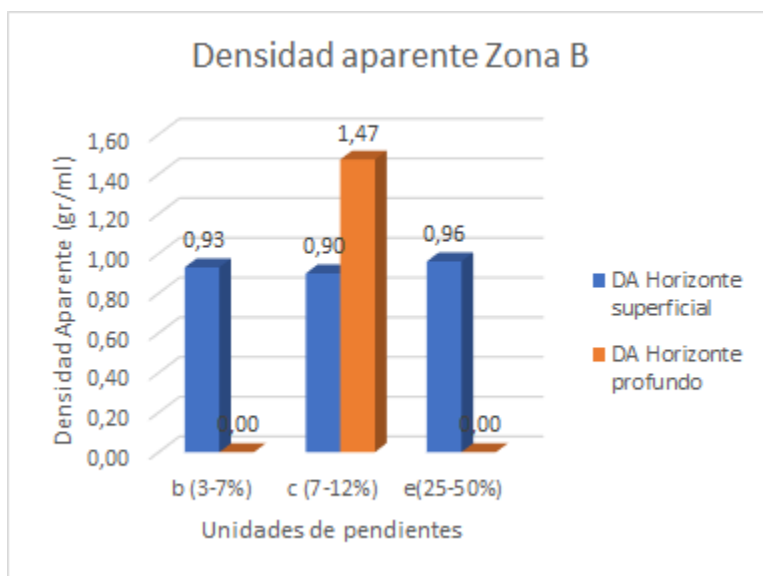
| <b>DENSIDAD APARENTE</b> |           |             |             |
|--------------------------|-----------|-------------|-------------|
| <b>ZONA B</b>            |           |             |             |
| MUESTRA                  | HORIZONTE | PROFUNDIDAD | D A (gr/ml) |
| 1                        | AP        | 0 - 50 cm   | <b>0,93</b> |
| 2                        | AP        | 0 - 21 cm   | <b>0,90</b> |
|                          | Bw        | 21 - 50 cm  | <b>1,47</b> |
| 3                        | AP        | 0 - 50 cm   | <b>0,96</b> |

**Fuente.** Autores.

La Gráfica 16, permitió identificar que no hay grandes cambios de densidades aparentes con respecto al gradiente de pendiente, éstas oscilan entre 0.9 y 0.96 g/ml. No obstante, se evidenció nuevamente la relación directa entre la profundidad

y la densidad aparente ya que a mayor profundidad mayor será el valor de densidad aparente, puesto que se presenta menor porosidad, aireación y materia orgánica.

**Gráfica 16** Densidad aparente por unidad de pendiente en la zona B



**Fuente.** Autores.

#### - Potencial de hidrógeno pH

En la zona B, zona media de la vereda, cuenta con suelos medianamente ácidos, siendo estos adecuados para la actividad agrícola. Sin embargo, esta zona predomina la actividad ganadera y en su vegetación predominan mosaico de pasto.

**Tabla 26.** Potencial de hidrogeno en la Zona B

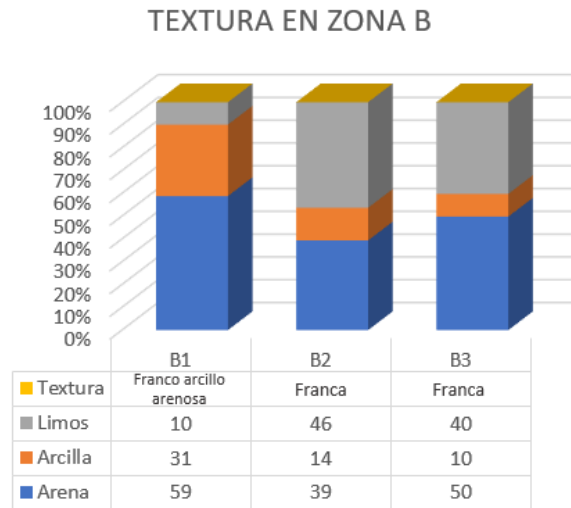
| Ph      |      |                    |  |
|---------|------|--------------------|--|
| ZONA B  |      |                    |  |
| MUESTRA | pH   |                    |  |
| 1       | 5,97 | Medianamente Ácido |  |
| 2       | 6,38 | Ligeramente Ácido  |  |
| 3       | 5,7  | Medianamente Ácido |  |

**Fuente.** Autores.

#### - Textura

Los suelos en la zona media (B) están compuestos como se muestra en la Gráfica 17, con una mezcla variable en sus porcentajes relativos, principalmente por arena en los tres puntos de muestra. Sin embargo, en el punto B1 se identificó un porcentaje considerable de arcilla (31%), por lo que se determinó como suelo franco arcillo arenoso. Por otra parte, los puntos B2 y B3 cuentan con una proporción más baja de arcilla, pero con un porcentaje más alto en limos, 46 y 40% respectivamente, por lo que es considerado como suelos francos. Los suelos francos tienden a presentar buena aireación y filtración del suelo por agua, además de presentan condiciones ideales de labranza y fertilidad.

**Gráfica 17.** Textura en la zona B.



**Fuente.** Autores.

En cuanto a la relación de densidad aparente y textura en la zona B, se evidencia en la Tabla 26, que el punto B2 cuenta con un suelo de densidad aparente un poco mayor a 1,4 lo que lo hace un suelo con tendencia a afectar el desarrollo radicular de la planta. Sin embargo, los puntos A1 y A3 cuentan con un desarrollo ideal.

**Tabla 27.** Relación densidad aparente y textura del suelo en la zona B

| MUESTRA | TEXTURA                | DA   | Desarrollo radicular |
|---------|------------------------|------|----------------------|
| B1      | Franco arcillo arenosa | 0,93 | Ideal                |
| B2      | Franca                 | 1,47 | Afectacion           |
| B3      | Franca                 | 0,96 | Ideal                |

**Fuente.** Autores

**- % Porosidad**

En la zona media de la vereda se encontró una porosidad de media a alta, con porcentajes de 45 y 54 % respectivamente. En la práctica de campo se evidenciaron abundantes raíces de medias a finas en su mayoría, lo que corresponde a que es una zona favorable para el desarrollo radicular de las plantas y la infiltración del agua.

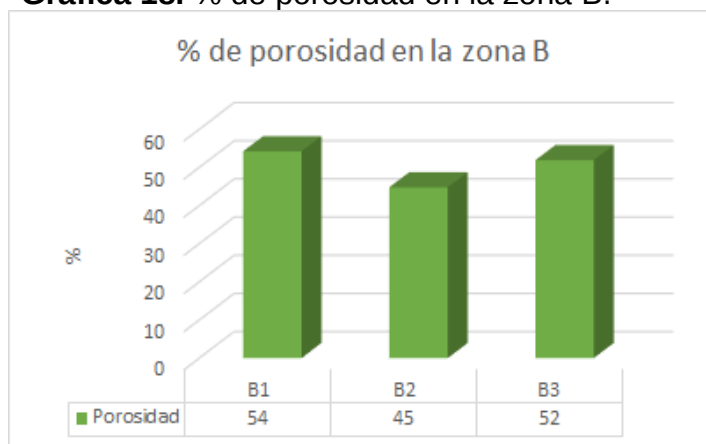
**Tabla 28.** Interpretación del % de porosidad.

| MUESTRA | % POROSIDAD | INTERPRETACIÓN |
|---------|-------------|----------------|
| B1      | 54          | Alta           |
| B2      | 45          | Media          |
| B3      | 52          | Alta           |

**Fuente.** Autores

Como se evidencia en la Gráfica 18. la porosidad en el punto B2 es la más baja considerándose como porosidad media, se considera un suelo afectado cuando su porosidad es menor al 30%.

**Gráfica 18.** % de porosidad en la zona B.



**Fuente.** Autores

#### - % MATERIA ORGÁNICA

En la zona media de la vereda alto del ramo, nuevamente se encontraron porcentajes de materia orgánica en nivel medio en su gran mayoría, a pesar de ello, en el punto A1, se identificó que la cantidad de materia orgánica en el suelo es baja, ya que cuenta con un porcentaje de 3,4, considerando que al tiempo de hoy esta área es utilizada para actividades ganaderas.

**Tabla 29.** Interpretación de materia orgánica en la zona

| MUESTRA | % MATERIA ORGÁNICA | INTERPRETACIÓN |
|---------|--------------------|----------------|
| B1      | 3,4                | Bajo           |
| B2      | 6,5                | Medio          |
| B3      | 5,2                | Medio          |

**Fuente.** Autores.

#### • ZONA C

##### - Densidad aparente

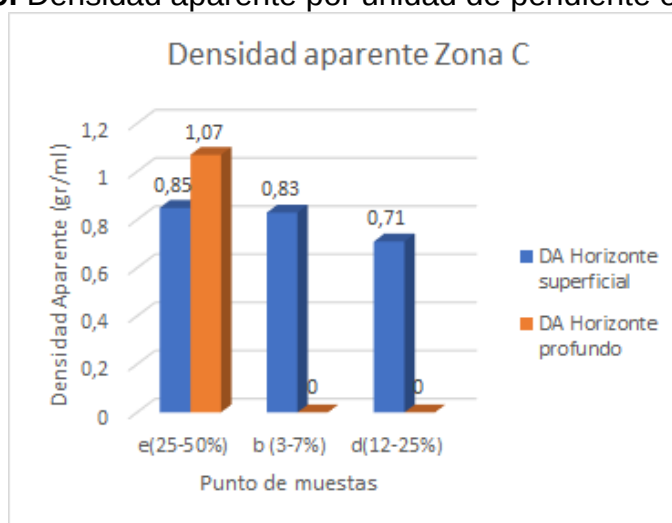
La densidad aparente en la zona alta es más baja que en la zona media, y de igual forma se encuentra un segundo horizonte en un solo punto (C1), el cual corresponde a la pendiente alta (e 25-50%) se deduce que tiene mayor exposición a la superficie, por ello se encontró a los 20 cm de profundidad.

**Tabla 30.** Datos de densidad aparente por horizonte en la zona C

| DENSIDAD APARENTE |           |             |             |
|-------------------|-----------|-------------|-------------|
| ZONA C            |           |             |             |
| MUESTRA           | HORIZONTE | PROFUNDIDAD | D A (gr/ml) |
| 1                 | AP        | 0 - 20 cm   | <b>0,85</b> |
|                   | A         | 20 - 50 cm  | <b>1,07</b> |
| 2                 | AP        | 0 - 50 cm   | <b>0,83</b> |
| 3                 | AP        | 0 - 50 cm   | <b>0,71</b> |

**Fuente.** Autores.

**Gráfica 19.** Densidad aparente por unidad de pendiente en la zona C



**Fuente.** Autores

#### - Potencial de hidrógeno pH

En la zona alta de la vereda se encontró variación de pH ácidos, estos oscilan entre 5.44 a 6.33, es decir entre ligeramente a fuertemente ácidos, esto se debe por causas de uso del suelo y porque el desarrollo del suelo en esta zona es fluctuante, es decir que es un suelo variable, primero porque se evidenciaron procesos erosivos y segundo por el uso actual que se le da. Por ejemplo, el punto A se presentan actividades de ganado (pH fuertemente ácido) mientras en el punto 3 hay presencia de cultivos de herbáceos (pH ligeramente ácido).

**Tabla 31.** Potencial de hidrogeno en la Zona C

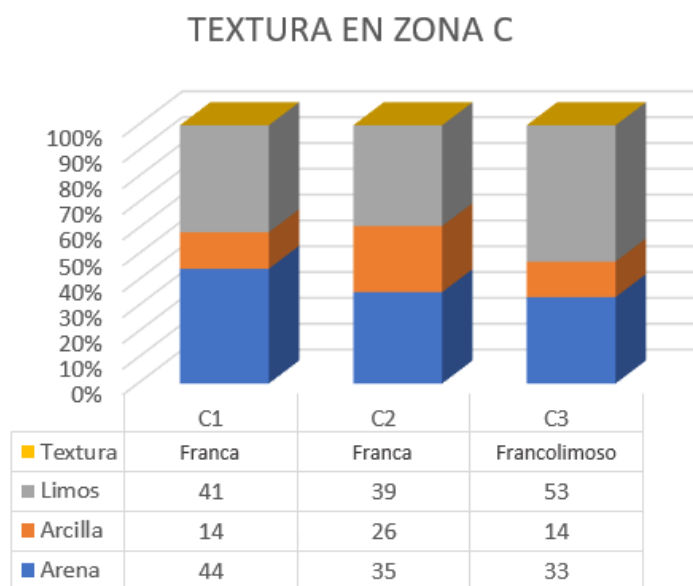
| Ph      |      |                    |  |
|---------|------|--------------------|--|
| ZONA C  |      |                    |  |
| MUESTRA | pH   |                    |  |
| 1       | 5,44 | Fuertemente Ácido  |  |
| 2       | 5,64 | Medianamente Ácido |  |
| 3       | 6,23 | Ligeramente Ácido  |  |

**Fuente.** Autores.

## - Textura

El resultado a partir del método de Bouyoucos en la zona C es representada en la Gráfica 20, Los puntos cuentan con características de suelos francos (arcilla 10-25%, limo 25-50% y arena 50-65%), Estos suelos son considerados como textura balanceada por presentar una tendencia uniforme a la retención de agua y oxígeno y lo más importante es que es la textura adecuada para suelos fértiles. En conclusión, los suelos en la zona alta de la vereda alto del ramo según su textura son óptimos para uso agrológico.

**Gráfica 20.** Textura en la zona C.



**Fuente.** Autores.

En la zona más alta de la vereda Alto del ramo, se encontró que toda la zona es ideal para el desarrollo óptimo de la planta en cuanto a que sus raíces tienen el espacio poroso ideal para crecer. Por consiguiente, se dedujo que los suelos de la parte alta son estables ya que poseen una textura y densidad aparente adecuada.

**Tabla 32.** Relación densidad aparente y textura del suelo en la zona C

| MUESTRA | TEXTURA       | DA   | Desarrollo radicular |
|---------|---------------|------|----------------------|
| C1      | Franca        | 1,07 | Ideal                |
| C2      | Franca        | 0,83 | Ideal                |
| C3      | Franco limosa | 0,71 | Ideal                |

**Fuente.** Autores

#### - % Porosidad

Como se evidenció en el parámetro de textura, esta zona es ideal para el desarrollo radicular de la planta, de esta misma forma se evidenció con el porcentaje de porosidad pues el porcentaje mínimo que cuenta la zona es de 50%, ver Tabla 32. Por tal motivo se establece que son suelos favorables para la penetración de las raíces y la infiltración y drenaje adecuado del agua.

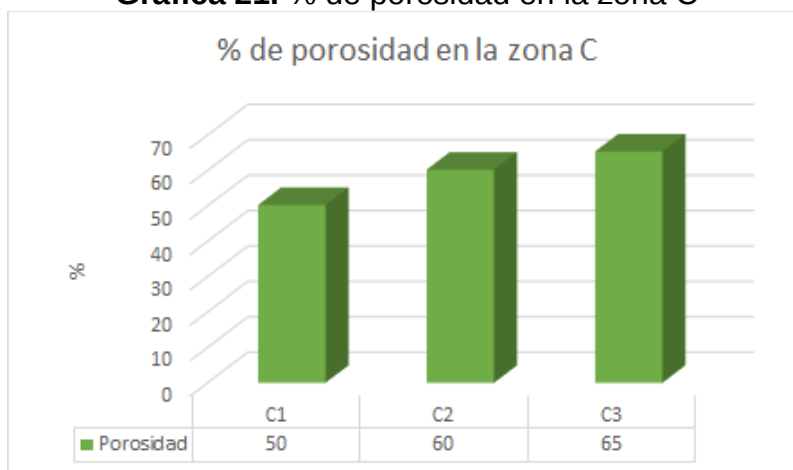
**Tabla 33.** Interpretación del % de porosidad en la zona C.

| MUESTRA | % POROSIDAD | INTERPRETACIÓN |
|---------|-------------|----------------|
| C1      | 50          | Alta           |
| C2      | 60          | Muy alta       |
| C3      | 65          | Muy alta       |

**Fuente.** Autores.

El punto C1 cuenta con un porcentaje de porosidad más bajo (50%) con respecto a los otros puntos de la zona, esto dado a que se encuentra en un gradiente de pendiente e entre 25-50%. Mientras que el punto C3 fue tomado en un cultivo de hortalizas por ende es el porcentaje más alto en la Gráfica 21.

**Gráfica 21.** % de porosidad en la zona C



**Fuente.** Autores.

#### - % MATERIA ORGÁNICA

El porcentaje de materia orgánica para la zona alta (C) difiere entre el punto 1 con los puntos 2 y 3, pues el primero cuenta con un porcentaje de materia de 3,6 el cual fue un punto tomado en una pendiente fuertemente inclinada, por lo tanto, el suelo no cuenta con condición de retener la materia orgánica ya que por su pendiente los nutrientes pueden ser removidos por gravedad o riego. En cambio, en los puntos C2 y C3 se encontró un nivel de materia orgánica medio.

**Tabla 34.** Interpretación de materia orgánica en la zona C

| MUESTRA | % MATERIA ORGÁNICA | INTERPRETACIÓN |
|---------|--------------------|----------------|
| C1      | 3,6                | Bajo           |
| C2      | 5,2                | Medio          |
| C3      | 5,6                | Medio          |

*Fuente. Autores.*

### 5.3.1 Prueba estadística

Después de realizada la prueba de ANOVA se comprobó la hipótesis nula para las siguientes variables, densidad aparente, materia orgánica, porosidad, pH. La tabla que se presenta a continuación permite observar que las varianzas son iguales para cada uno de los parámetros analizados ya que el valor de significancia se encuentra dentro del nivel de confianza de 95%.

**Tabla 35.** Prueba de comparación para las diferentes variables.

| Pruebas de efectos inter-sujetos                         |                               |    |                  |        |      |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------|----|------------------|--------|------|
| Variable dependiente: DA                                 |                               |    |                  |        |      |
| Origen                                                   | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F      | Sig. |
| Modelo corregido                                         | ,195 <sup>a</sup>             | 4  | ,049             | ,337   | ,841 |
| Intersección                                             | 10,240                        | 1  | 10,240           | 70,841 | ,001 |
| BLOQ                                                     | ,186                          | 2  | ,093             | ,644   | ,572 |
| TRAT                                                     | ,009                          | 2  | ,004             | ,030   | ,971 |
| Error                                                    | ,578                          | 4  | ,145             |        |      |
| Total                                                    | 11,013                        | 9  |                  |        |      |
| Total corregido                                          | ,773                          | 8  |                  |        |      |
| a. R al cuadrado = ,252 (R al cuadrado ajustada = -,496) |                               |    |                  |        |      |

| Pruebas de efectos inter-sujetos                        |                               |    |                  |         |      |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------|----|------------------|---------|------|
| Variable dependiente: MO                                |                               |    |                  |         |      |
| Origen                                                  | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F       | Sig. |
| Modelo corregido                                        | 172,178 <sup>a</sup>          | 4  | 43,044           | 1,158   | ,445 |
| Intersección                                            | 4190,404                      | 1  | 4190,404         | 112,753 | ,000 |
| Bloq                                                    | 111,209                       | 2  | 55,604           | 1,496   | ,327 |
| Trat                                                    | 60,969                        | 2  | 30,484           | ,820    | ,503 |
| Error                                                   | 148,658                       | 4  | 37,164           |         |      |
| Total                                                   | 4511,240                      | 9  |                  |         |      |
| Total corregido                                         | 320,836                       | 8  |                  |         |      |
| a. R al cuadrado = ,537 (R al cuadrado ajustada = ,073) |                               |    |                  |         |      |

| Pruebas de efectos inter-sujetos                         |                               |    |                  |         |      |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------|----|------------------|---------|------|
| Variable dependiente: Porosidad                          |                               |    |                  |         |      |
| Origen                                                   | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F       | Sig. |
| Modelo corregido                                         | 158,667 <sup>a</sup>          | 4  | 39,667           | ,306    | ,861 |
| Intersección                                             | 25600,000                     | 1  | 25600,000        | 197,176 | ,000 |
| Bloq                                                     | 114,000                       | 2  | 57,000           | ,439    | ,672 |
| Trat                                                     | 44,667                        | 2  | 22,333           | ,172    | ,848 |
| Error                                                    | 519,333                       | 4  | 129,833          |         |      |
| Total                                                    | 26278,000                     | 9  |                  |         |      |
| Total corregido                                          | 678,000                       | 8  |                  |         |      |
| a. R al cuadrado = ,234 (R al cuadrado ajustada = -,532) |                               |    |                  |         |      |

| Pruebas de efectos inter-sujetos                        |                               |    |                  |          |      |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------|----|------------------|----------|------|
| Variable dependiente: pH                                |                               |    |                  |          |      |
| Origen                                                  | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F        | Sig. |
| Modelo corregido                                        | ,668 <sup>a</sup>             | 4  | ,167             | 1,192    | ,435 |
| Intersección                                            | 298,483                       | 1  | 298,483          | 2128,560 | ,000 |
| Bloq                                                    | ,417                          | 2  | ,208             | 1,486    | ,329 |
| Trat                                                    | ,252                          | 2  | ,126             | ,898     | ,476 |
| Error                                                   | ,561                          | 4  | ,140             |          |      |
| Total                                                   | 299,713                       | 9  |                  |          |      |
| Total corregido                                         | 1,229                         | 8  |                  |          |      |
| a. R al cuadrado = ,544 (R al cuadrado ajustada = ,087) |                               |    |                  |          |      |

**Fuente:** Autores.

Esta afirmación de la hipótesis nula permitió rectificar que el área de estudio ubicado en la vereda Alto del ramo no cuenta con grandes diferencias fisicoquímicas en sus suelos. Por tal motivo no se consideró realizar una prueba de comparación múltiple para este caso.

## 5.4 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS

- **ESTRATEGIAS DE CONTROL DEGRADACIÓN DEL SUELO MEDIANTE REPLANTACIÓN DE ESPECIES NATIVAS**

En el análisis de erosión se estimó que la vereda cuenta con un grado de ligera a moderada, dado que se presentaron evidencias de surcos y erosión por terraceo, debido a esto y a los precedentes con los que cuenta la vereda, se propone realizar una reforestación para la retención de suelos y mitigar la pérdida de horizontes superficiales.

**Figura 13.** Proceso de propuesta de reforestación.



**Fuente:** Autores.

Para la propuesta de reforestación se planteó primero determinar las zonas a intervenir, esto depende de las actividades que se realicen en el lugar y la topografía del terreno. Segundo se identifican las especies nativas que se van a plantar, en el municipio de Chipaque se encuentran especies como roble, sauco, morita y magnolias el lugar de su plantación es dependiente a la pendiente del terreno. [38]

**Tabla 36.** Especies a plantar según su pendiente

| Pendiente    | Especie a plantar  |
|--------------|--------------------|
| Alta         | Morita y magnolias |
| Media y Baja | Roble y sauco      |

**Fuente:** Autores.

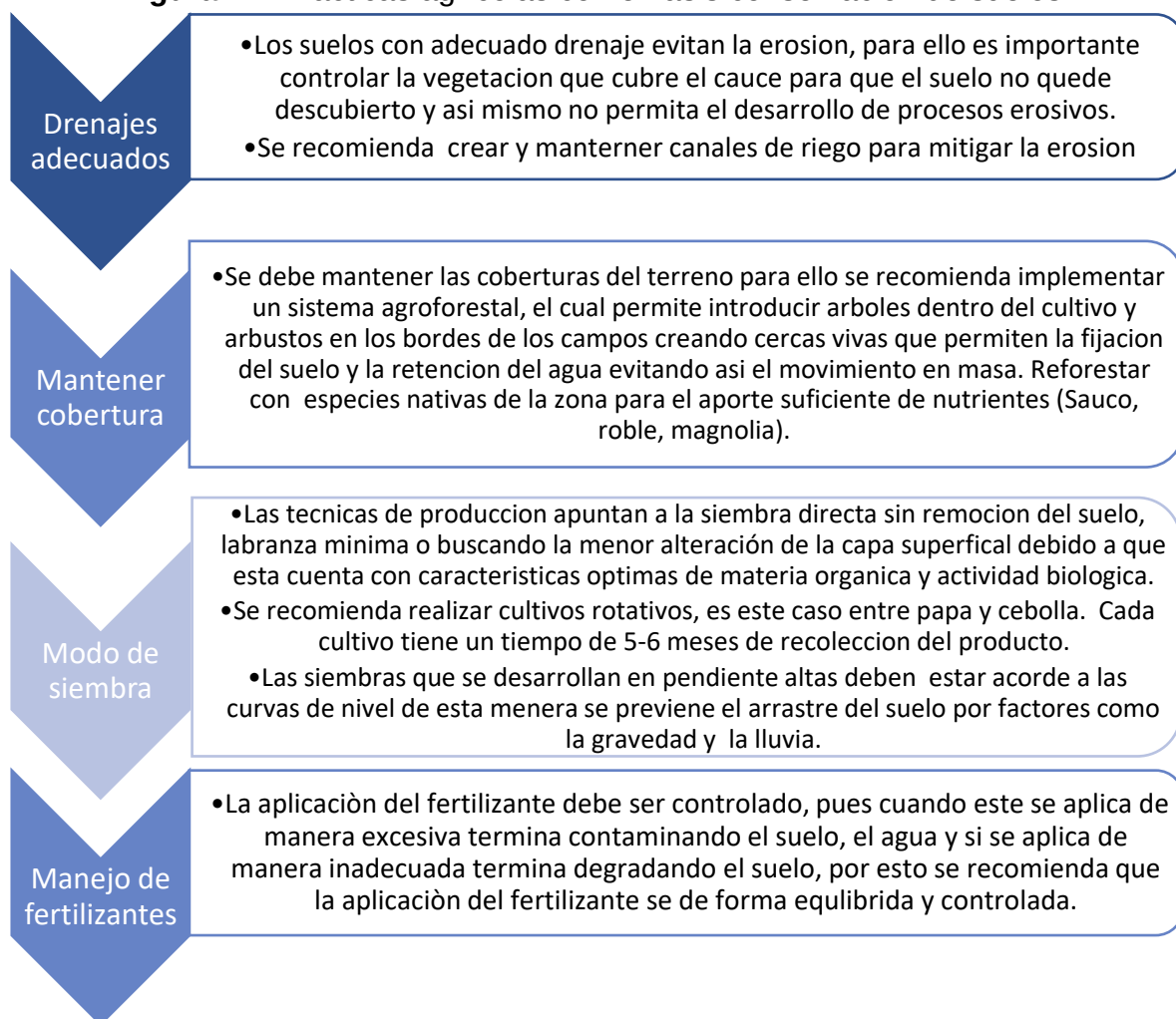
Es muy importante verificar la aceptabilidad que tendrá el eventual programa de restauración, en función al entorno socioeconómico que prevalece en el área, por ello es necesario lograr que las comunidades se apropien de las actividades de reforestación para garantizar efectividad y continuidad del proyecto, para lo cual es muy importante la capacitación a la comunidad y el apoyo de organizaciones locales y departamentales. [39] Además, teniendo en cuenta la incidencia de ganadería, las diferentes plantaciones se pueden llevar a cabo a través de esquemas silvopastoriles y agroforestales donde se beneficie no solo el suelo si no también la vida animal y vegetal.

Durante un proceso, el monitoreo consiste en el seguimiento y evaluación de los cambios que experimenta el área intervenida por medio de indicadores que permiten la efectividad de los objetivos planteados en el proceso. [40]

## INDUCCIÓN DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA MITIGAR LA DEGRADACIÓN DEL SUELO

Con base a los resultados del presente trabajo, se dedujo que la actividad principal de la vereda Alto del ramo es la agricultura, donde el producto potencial de la zona es papa, cebolla y hortalizas y el uso inadecuado del suelo para llevar a cabo esta actividad conlleva a que éste se deteriore de forma acelerada. Por consiguiente, se ve la necesidad de plantear propuestas de buenas prácticas agrícolas enfatizadas en la preservación y cuidado del suelo, con la intención de mitigar la degradación del mismo en la vereda Alto del ramo. El manejo sostenible del suelo se realiza con el fin de conservar la fertilidad del suelo para generar un uso prolongado del mismo, minimizar la contaminación y así cumplir con la inocuidad del producto y evitar la erosión. [41].

**Figura 14.** Prácticas agrícolas con énfasis conservación de suelos



**Fuente:** Autores

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la zona de estudio de la vereda Alto del ramo de Chipaque Cundinamarca, se realizó el análisis de la cobertura vegetal para los años 1941, 1985, 2007 y 2019, se encontró que los territorios agrícolas se acentúan en la zona de topografía ligeramente inclinada a lo largo del tiempo. Sin embargo, en los años 2007 se observó presencia de actividades agrícolas en pendientes altas-media, pero finalmente en el año 2019 su presencia es notoriamente en pendientes bajas con pequeñas coberturas en pendientes altas. El cultivo de tierras en lugares con pendiente aumenta la posibilidad de agotamiento del suelo fértil, ya que es muy fácil el arrastre de tierra por acción de la lluvia, además de esto el arado de los cultivos se encuentra en dirección contraria a las curvas de nivel lo cual aumenta la posibilidad de arrastre de nutrientes y fácil escurrimiento de materiales por efecto del riego y de la gravedad. [42], [43]

De acuerdo con la cobertura de mosaico de pastos y cultivos que también predominan en la vereda, se determinó que no existe relación con el gradiente de pendiente, dado que la distribución de esta cobertura se evidenció en las diferentes zonas de la vereda. Por otra parte, se considera que en esta cobertura hay presencia de actividades agrícola y ganadera que han afectado el suelo principalmente por la pata de vaca y el manejo inadecuado del suelo por la actividad agrícola.

En cuanto a la identificación de pendientes, se determinó que el gradiente de pendiente más relevante es la pendiente *e* (25–50%), debido a que ésta aumenta desde el año 1985 considerablemente en la zona alta de la vereda. En esta zona, para el año 1941 se encontraban pendientes menos inclinadas por lo que se estima que existe una presión en el suelo que ha generado el aumento del gradiente de pendientes en dicha zona, para ello se evidencia en la actualidad afloramientos rocosos. [44] Así mismo en la zona baja de la vereda se encontró que el gradiente de pendiente disminuye a lo largo del tiempo, esta acción indica que por parte de la zona alta de la vereda se está formando una presión hacia la zona baja generando acumulaciones evidentes en la zona límite con la cabecera municipal, hoy en día se observa la afectación de infraestructuras en gran parte del casco urbano.

Por otro lado, la calidad de los suelos de la vereda Alto del ramo es ideal para el crecimiento de las plantas y desarrollo de actividades agrícolas, ya que se componen generalmente de francos en su gran totalidad, cuenta con porosidades altas, y pH medianamente ácido, estos factores permiten el óptimo desarrollo radicular por la disponibilidad de nutrientes, materia orgánica y el buen drenaje. Para verificar que el suelo cuenta con características similares en toda el área de la vereda Alto del ramo en cuanto a sus características fisicoquímicas se realizó una prueba ANOVA, la cual dio como resultado la afirmación de la hipótesis nula, puesto que a un nivel de confianza del 95% el valor de las variables se encuentra por encima de 0,05 por lo que se estimó que todas las variables son iguales; dado lo anterior, el suelo de la vereda alto del ramo no cuenta con grandes cambios en sus características, haciendo referencia en que los parámetros no se ven afectados por

la remoción de la capa superficial y por consiguiente, este resultado demuestra que en la vereda no hay desprendimientos de materiales en las zonas altas; al contrario, existe la posibilidad de un movimiento en masa por bloque, lo que quiere decir que la zona se mueve conjuntamente, haciendo una presión en el casco urbano del municipio, habiendo afectaciones en las infraestructuras y riesgo para las habitantes, como ya se ha evidenciado.

Finalmente, en la zona de estudio se determina que existe un grado de erosión que va en transición de ligera a moderada, dado por los procesos erosivos que se manifiestan en formación; actualmente, en las áreas donde se identificaron los procesos erosivos, se realizan actividades agrícolas y ganaderas que influyen en la degradación del suelo, debido a las prácticas inadecuadas como suelos descubiertos, falta de zanjas para la correcta conducción del agua de riego y el tipo de arado el cual va en dirección opuesta a las curvas de nivel y presencia de ganadería en pendientes altas.

## **7. IMPACTO SOCIAL**

Debido a las evidencias erosivas del suelo que el municipio presenta actualmente, serán planteadas propuestas preventivas y de mitigación mediante prácticas sostenibles y sustentables para el sector agrícola como rotación de cultivos (cebolla y papa), creación de zanjas y lo más importante recubrimiento con plantaciones nativas (Roble, Sauco), debido a que estas sirven como soporte protegiendo al suelo y aportando nutrientes y así mismo mitigar movimientos que puedan conllevar afectaciones a la cabecera municipal y perjuicio en la integridad de la comunidad

Estas buenas prácticas generan reducción de costos económicos derivados de la pérdida de suelo, reducción de la presión ambiental y eficiencia en la producción garantizando el bienestar de la población en términos económicos y ambientales. De acuerdo con esto, los beneficios no solo se verán reflejados en los terrenos afectados y a sus propietarios, también las infraestructuras de la cabecera municipal, vías y sus habitantes, dado que con las diferentes recomendaciones que con urgencia se deben implementar, se estará mitigando el presente movimiento en masa.

Por tal motivo, éste estudio será de gran importancia debido a que se suministrará alternativas sostenibles e información apropiada, para que a futuro contribuyan al desarrollo sostenible del municipio de Chipaque dentro de sus principales actividades económicas como lo son la agricultura y la ganadería y se logre contrarrestar la problemática actual que afronta el municipio, de igual forma este estudio podrá servir como insumo para el desarrollo del EOT y otros estudios similares.

## 8. CONCLUSIONES

A partir del proceso de fotointerpretación se puede afirmar que en la zona de estudio no se evidenciaron cambios significativos en cuanto a su cobertura, la variación en el uso es debido a la naturaleza de las actividades agropecuarias que se presentan en ésta, a la estacionalidad de los cultivos y la dinámica de asentamiento normal de la población. Sin embargo, la cobertura más predominante es territorios agrícolas, se aclara, que las actividades agrícolas tienden a posicionarse en topografías ligeramente inclinadas a lo largo del tiempo, pero actualmente una pequeña área de territorios agrícolas se acentúa en las zonas con mayor inclinación, contribuyendo así al movimiento en masa dado el arrastre del suelo por acción de la lluvia y la pérdida de fertilidad. Se recomienda que la siembra se realice acorde a las curvas de nivel para evitar a la acumulación de suelo en la parte baja.

Del mismo modo, se puede afirmar que existe un movimiento en masa evidenciado por la estereoscopia realizada para las pendientes de la vereda, dando como resultado la influencia del gradiente de pendiente  $e$  (25-50%) en la zona alta, la cual aumenta su área desde el año 1985 hasta el año actual, considerándose así la existencia de una presión desde la parte alta a la parte baja.

En este sentido se puede afirmar que la transformación y la degradación que se ha visto sometida la vereda Alto del Ramo, está influenciada principalmente por el inadecuado uso del suelo dada las actividades agropecuarias y la desprotección del suelo permitiendo así la filtración de agua y el humedecimiento de la masa que por acción de la gravedad origina un movimiento en masa. Por consiguiente, se sugiere a la vereda Alto del ramo incorporar un sistema de reforestación que permita el reforzamiento del suelo, especialmente en las zonas alta y baja las cuales se ven involucradas la primera por generar la presión, y la última por recibir las acumulaciones de la zona alta. Es indispensable que, en estas estrategias de mitigación, el 100% de la comunidad participe del desarrollo y sean capacitadas para evitar el aumento de la degradación de los suelos y futuros movimientos en masa de gran magnitud.

Por otro lado, considerando los tipos de indicadores químicos y físicos estudiados, se determinó con ayuda de análisis estadístico univariable que el suelo tiene la misma composición alrededor de toda la vereda; por consiguiente, se concluye que el suelo de la vereda alto del ramo no tiene desprendimientos de material, sino un movimiento uniforme de todo el suelo con presiones desde la parte alta. Se recomienda que las actividades agrícolas que se presentan en la vereda Alto del ramo deben aplicar prácticas adecuadas que conserven el recurso de suelo para evitar degradar y/o contaminarlo. Por un lado, la rotación de cultivos de papa y cebolla en la vereda es de suma importancia para la mejora de contenido de materia orgánica, regeneración de nutrientes y por otro lado la construcción de drenajes que permitan la dirección adecuada del flujo de agua

Además, se pudo constatar que la vereda Alto del ramo cuenta con un grado de erosión de ligera a moderada, con procesos erosivos en formación como surcos y terraceo. La prevención de estos procesos incluyen la aplicación de políticas a favor

de la reforestación, ya que es fundamental para sostener y aportar nutrientes al suelo; también se recomienda llevar la planificación y el ordenamiento del territorio teniendo en cuenta la capacidad de uso de tierras y su adecuado manejo, incentivando a la población la ejecución de buenas prácticas agrícolas, todo ello para evitar la degradación del suelo y por ende el aumento del grado de erosión que por consiguiente está contribuyendo a la acción de movimiento en masa.

Finalmente, este proyecto se convierte en una base de información para la realización de otros estudios, por ejemplo se recomienda explorar otras zonas fuera del alcance del proyecto con el fin de evaluar otro tipo de causas y afectaciones, ya que el problema puede derivarse de la parte más alta del municipio, de fallas geológicas, entre otros; de la misma manera se recomienda realizar un estudio detallado del movimiento en masa que se está presentando haciendo análisis de lluvias registrados en los últimos treinta años y estudios específicos sobre licuefacción; también se sigue tomando como insumo para la evaluación del riesgo en la zona alta y actualización del EOT, ya que este documento carece de información en cuanto a la clasificación y uso del suelo de la vereda y por tanto se consideró como una desventaja para analizar la cercanía de esta vereda con futuros procesos de expansión urbana.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] IDEAM, U.D.C.A., "Protocolo para la identificación y evaluación de suelos por erosión", Bogotá D.C., Colombia., 2015, pp. 47-75
- [2] J. Horacio and R. Posada, "Control De Derrumbes Y Negativos En Carreteras, Mediante Tratamientos De Tipo Biológico," *Cenicafe*, pp. 1–8, 1999.
- [3] L. do P. W. & M. da Veiga, "Erosión y pérdida de fertilidad del suelo," Fao, 2015. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s06.htm>.
- [4] Alcaldía de Chipaque Cundinamarca, "Plan de desarrollo 2016-2019"
- [5] Alcaldía de Chipaque, "Esquema de ordenamiento territorial", 2016.
- [6] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, "diagnostico por erosión," pp. 1–56, 2012.
- [7] Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en el municipio de Chipaque en el departamento de Cundinamarca. Consorcio Tiving. 2017
- [8] E. Ávila, "Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca". IGAC, 2000, Tomo II
- [9] E. Ávila, "Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca". IGAC, 2000, Tomo III
- [10] Díaz, "Alternativas para el control de la erosión mediante uso de coberturas convencionales", Ingeniería en investigación, vol. 31, pp. 80-90, Diciembre 2011.
- [11] E. O. (IDEAM) Javier Otero (IDEAM), Reinaldo Sánchez (IDEAM), H. C. Claudia Milena Álvarez (IDEAM), Carlos Eduardo Gómez (IDEAM), M. A. (IDEAM), Carlos Enrique Castro (IGAC), Alejandro Palacios (IGAC), and C. (IGAC). PROTOCOLO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE SUELOS Y TIERRAS POR EROSIÓN. 2010.
- [12] Degradación de suelos, "Sistema de información Ambiental de Colombia SIAC", [En línea]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/erosion>
- [13] G. R. Guillermo Ávila, Carlos Cubillos, Alejandro Granados, Enif Medina, Edgar Rodríguez, Carlos Rodríguez, Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá: Imprenta nacional de Colombia.

[14] Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. Mundi- Prensa, España, 2000

[15] UNIVERSIDAD DE MANIZALES, "Análisis Del Cambio De La Cobertura Entre 1999 Y 2015 Del Páramo De Chiles - Cumbal a Través De La Utilización De Herramientas SIG," 2015.

[16] G. Lehmann, Fotogrametría. España, Reverte, 1975

[17] F. B. Pozuelo, m. Núñez, J. Rodríguez, Fotogrametría analítica. Primera Edición. Universidad Politécnica de Catalunya. Febrero de 2003

[18] X. P. Gonzáles Vázquez, "Fotointerpretación de los usos del suelo," 2010.

[19] A. Ribeiro, D. O. S. Santos, W. R. Paradella, P. Veneziani, and M. C. D. E. Morais, "A ESTEREOSCOPIA COM IMAGENS RADARSAT-1: UMA AVALIAÇÃO GEOLÓGICA NA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS," vol. 29, no. 4, pp. 627–632, 1999.

[20] C. Quiroga, E. Adriana, M. Martín, L. Yolanda, and U. Caycedo, "La estereoscopia, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento," Revista científica General José María Córdoba. Vol. 13, núm. 16, julio-diciembre, 2015, pp. 201-219

[21] D. Carantón and V. J. Álvarez, "Aplicación de las fotografías aéreas en geografía," p. 60, 1988.

[22] I. Basterra, "Facultad de ingeniería universidad nacional del nordeste cátedra de fotointerpretación," Cátedra Fotointerpret., 2011.

[23] J. S. Rawat, "Monitoring land use / cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India," *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.*, vol. 18, no. 1, pp. 77–84, 2015.

[24] E. F. Lambin, H. J. Geist, and E. Lepers, "DYNAMICS OF LAND-USE AND LAND-COVER CHANGE IN TROPICAL REGIONS," 2003.

[25] D. Malangón, J. Chavarriaga, G. Ospina, S. Polo, Manejo de suelos colombianos, IGAC, Bogotá D.C., 2014

[26] L.F. Pinzón, H. Sotelo, "Análisis de las características fisicoquímicas de los suelos empleados como cobertura final en el relleno sanitario Doña Juana", presentado para su publicación.

[27] J.C. Gómez, "Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos", SENA, Espinal Tolima, 2013.

[28] A.S. Salamanca, "La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana", Cenicafé, 2005.

[29] A.M. Rubio, "La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales", Proyecto de grado, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2010, pp 68-79.

[30] FAO, Guía para la descripción de suelos, 4a ed, Roma: 2009 pp 34-44

[31] A. Carvajal, A. Colunje. M.F. García, "Determinación de color y porosidad del suelo" Presentado para su publicación.

[32] L. Flores, J. Alcalá. "Manual de procedimientos analíticos", Instituto de geología, 2010

[33] L.M. Thompson, F. R. Troeh, "*Los suelos y su fertilidad*", España, Editorial Reverté, 2002. p 199

[34] P.A. Sánchez, "*Suelos del trópico características y manejo*", Costa Rica, IICA, 1991. pp 226-254

[35] M. S. Garrido, *Interpretación de análisis de suelos*, Ministerio de Agricultura pesca y alimentación, Madrid, 2006, pp 23-26

[36] J. Núñez, *Fundamentos de Edafología*, Universidad estatal, Costa rica, 2003, pp 15-18

[37] P. Martin, Álvarez, "Prácticas de tratamiento estadístico de datos con el programa spss para Windows", Gamonal, Madrid, 2006

[38] O. V. Ríos, J. E. D. Triana, S. P. R. Bejarano, and P. A. G. Ruiz, "GUÍAS TÉCNICAS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LOS ECOSISTEMAS DE COLOMBIA," Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2012.

[39] U. Internacional and para la C. de la N. (UICN), "manual de técnicas," Montes de Oca, San José.

[40] Instituto Nacional de Ecología, Ed., "Manual de reforestación con especies nativas," México, 1994.

[41] *Buenas Prácticas Agrícolas: Lineamientos de Base*. Red de BPA. 26 de marzo, 2015

[42] J. Reyes, J. Porcuna, G Sánchez, "Guía de la agricultura ecológica en la comunidad valenciana, Seminario de agricultura Ecológica, Valencia, 1999, p179

[43] C.J. Porta, Introducción a la edafología: Uso y protección del suelo, Ediciones mundo prensa, 2008

[44] M. Ferrer, J. González, Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos, Instituto geológico y minero de España, Madrid, 2007

## **ANEXO 1. DETALLE DE PUNTOS DE MUESTREO**

| ZONA   | PUNTO | ALTITUD      | COORDENADA                    | PENDIENTE      | HORIZONTES       | COLOR (10YR)                                  | ESTRUCTURA                                        | CONSIST.                                                   | POROS                   | RAICES                                  | LIMITES |
|--------|-------|--------------|-------------------------------|----------------|------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|---------|
| ZONA A | 1     | 2511<br>msnm | N 4°26'46"<br>W -74°2'48"     | b (3-7%)       | Ap (0-18)        | 3/2-<br>pardeo<br>grisaseo<br>muy<br>oscuro   | Bloque subangular,<br>gruesos a medios.<br>Fuerte | Húmeda -<br>dura-<br>ligeramente<br>plástica y<br>pegajosa | Alta-finos<br>a medios  | Alta-finos a<br>medios                  | Difuso  |
|        |       |              |                               |                | A (18-x)         | 2/2 - Café<br>muy<br>oscuro                   | Bloque subangular,<br>gruesos a medios.<br>Fuerte | Húmeda –<br>dura                                           | Alta-muy<br>finos       | Ligeramente<br>alta-medios<br>a finos   |         |
|        | 2     | 2516<br>msnm | W -<br>N 4°26'43"<br>74°2'54" | d (12-<br>25%) | Ap (0-15 cm)     | -                                             | -                                                 | -                                                          | -                       | -                                       | Nítido  |
|        |       |              |                               |                | A (15-28 cm)     | 6/6 -<br>Amarillo<br>pardo                    | Granular, mediana<br>a gruesa. Friable            | Humedad –<br>dura                                          | ligerament<br>e alta    | Abundante,<br>de finas a<br>medias      |         |
|        |       |              |                               |                | Ac (28-X cm)     | 2/1 -<br>Negro                                | Bloque subangular,<br>medios a finos.<br>Friable  | Húmeda -<br>ligeramente<br>plástica, poco<br>pegajosa      | Alta- finos<br>a medios | Abundante,<br>finas                     |         |
|        | 3     | 2495<br>msnm | N 4°26'38"<br>W -74°2'28"     | f (50-<br>70%) | Ap (0 -10cm)     | 4/3 - Café                                    | Bloque subangular,<br>medios a gruesos.<br>Fuerte | Húmeda -<br>ligeramente<br>pegajosa                        | Ligeramen<br>te alta    | Ligeramente<br>pocas, finas<br>a medias | Nítido  |
|        |       |              |                               |                | A (10 - X cm)    | 2/2 - Café<br>muy<br>oscuro                   | Bloque subangular,<br>medios a gruesos.<br>Fuerte | Húmeda –<br>dura                                           | Poca<br>porosidad       | Muy poca<br>raíz, finas                 |         |
| ZONA B | 1     | 2518<br>msnm | N 4°26'47"<br>W -74°2'53"     | b (3-7%)       | AP (0- 48<br>cm) | 3/2 -<br>Pardeo<br>grisaseo<br>muy<br>oscuro. | Bloque subangular,<br>gruesos a medios.<br>Fuerte | Húmeda                                                     | Alta-finos<br>a medios  | Abundante<br>medias a<br>gruesas        | -       |

|        |   |              |                              |                 |                  |                                               |                                                  |                                                   |                          |                                      |        |
|--------|---|--------------|------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------|
| ZONA B | 2 | 2554<br>msnm | W -<br>N 4°26'48"<br>74°3'1" | c (7 -<br>12%)  | Ap (0- 21<br>cm) | 3/2 -<br>Pardeo<br>grisaseo<br>muy<br>oscuro. | Bloque subangular,<br>medios a finos.<br>Friable | Húmeda -<br>Ligeramente<br>plástica y<br>pegajosa | Alta - finas<br>a medias | Abundante<br>de finas a<br>medias    | Nítido |
|        |   |              |                              |                 | Bw (21- x<br>cm) | 5/6 -<br>Pardeo<br>amarillent<br>o            | Bloque subangular,<br>finos a medios             | Húmeda -<br>Ligeramente<br>plástica y<br>pegajosa | Ligeramen<br>te baja     | Poca                                 |        |
|        | 3 | 2576<br>msnm | N 4°26'56"<br>W 74°2'41"     | g (> 75%)       | Ap (0-48 cm)     | 3/2 -<br>Pardeo<br>grisaseo<br>muy<br>oscuro. | Granular, fina.<br>Friable                       | Húmeda -<br>ligeramente<br>plástica y<br>pegajosa | Altamente<br>porosa      | Ligeramente<br>abundante,<br>finas   | -      |
| ZONA C | 1 | 2635<br>msnm | N 4°26'58"<br>W -74°3'4"     | e (25 -<br>50%) | Ap (0 -20<br>cm) | 2                                             | Migajosa, fina.<br>Friable                       | Húmeda -<br>Altamente<br>plástica                 | Moderada<br>- finas      | Ligeramente<br>abundante.<br>Gruesas | Difuso |
|        |   |              |                              |                 | A (20 -x cm)     | 2/1 -<br>Negro                                | Migajosa, mediana.<br>Friable                    | Húmeda -<br>Pegajosa y<br>ligeramente<br>plástica | Altamente<br>porosa      | Pocas - finas                        |        |
|        | 2 | 2661<br>msnm | N 4°27'4"<br>W -74°3'4"      | b (3-7%)        | Ap (0 -49<br>cm) | 2/2 - Café<br>muy<br>oscuro                   | Bloque subangular,<br>medios a finos.<br>Friable | Húmeda -<br>Ligeramente<br>pegajosa y<br>plástica | Altamente<br>porosa      | Abundante<br>de finas a<br>gruesas   | -      |
|        | 3 | 2619<br>msnm | N 4°27'4"<br>W -74°2'52"     | c (7 -<br>12%)  | Ap (0 -47<br>cm) | 4/3 - Café                                    | Granular, medios a<br>finos. Friable             | Húmeda- dura                                      | Altamente<br>porosa      | Pocas -<br>gruesas                   | -      |

