



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE POSGRADOS**

**METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN
DE DISTRITOS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS EN COLOMBIA.
ESTUDIOS DE CASO EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ**

**Tesis de doctorado
Ciencias Agrarias
Línea De Investigación: Suelos Y Aguas**

Guillermo López Pérez

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE POSGRADOS
BOGOTÁ D. C.
2017**

**METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN
DE DISTRITOS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS EN COLOMBIA.
ESTUDIOS DE CASO EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ**

Guillermo López Pérez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Ciencias Agrarias, Área de Suelos y Aguas
Línea De Investigación: Suelos Y Aguas

DIRECTOR

Fabio Rodrigo Leiva Barón PhD.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE POSGRADOS
BOGOTÁ D. C.
2017**

A las Marías (Pilar y Paz).

A mis hermanos.

A la memoria de mis padres (Benedicta y Luis Alfredo).

AGRADECIMIENTOS

Al maestro y consejero permanente PhD. Fabio Rodrigo Leiva Barón, que con su desmedida y gran dedicación, al igual que sus constantes aportes, me permitieron sacar adelante la investigación.

Al PhD. Carlos Escobar Ch, por ser una persona que me orientó y aconsejó en los momentos claves, durante el proyecto.

Al profesor PhD. Franco Obando, de quien recibí grandes aportes, los cuales fueron claves en la construcción final de la investigación.

Al PhD. Luis Alberto López y al MSc. Esneyder Guerrero, por el gran apoyo, direccionamiento y construcción de los procesos estadísticos.

Al Ingeniero Esp. Javier Ruiz B, quien permanentemente me apoyó en la construcción de los Sistemas de Información Geográfica y la cartografía del proyecto.

Al PhD. Ciro Gardi, por su dedicación y sugerencias oportunas.

Al Dr. Reinaldo Sánchez y la Dra. María Saralux Valbuena L, del IDEAM, por su confianza y apoyo técnico durante el desarrollo de la investigación.

A muchas personas de las instituciones del Ministerio de Agricultura, Minambiente, Servicio Geológico Colombiano; CAR-Cundinamarca, IGAC, Unidad de Restitución de Tierras, por sus constantes apoyos.

RESUMEN

Con el advenimiento de las normas ambientales colombianas, particularmente en el año 1974, mediante el artículo 324 del decreto ley 2811 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente), se ordenó identificar los distritos de conservación de suelos (DCS) del país, para definir áreas con algún grado de susceptibilidad al deterioro del suelo o en estado crítico que ponga en riesgo su aprovechamiento y el de los demás recursos naturales.

En la actualidad los DCS han tenido renovada importancia, particularmente desde el 2015 cuando se formuló para el país la Política para la Gestión Sostenible del Suelo (PGSS), que busca “promover la gestión sostenible del suelo en Colombia, en un contexto integral en el que confluyan la conservación de la biodiversidad, el agua y el aire, el ordenamiento del territorio y la gestión de riesgo, contribuyendo al desarrollo sostenible y al bienestar de los colombianos” (MADS,2015).

Para la presente investigación se planteó como hipótesis que: “se puede generar una metodología rigurosa y confiable que permita identificar y caracterizar los DCS del territorio Colombiano, a partir de las interrelaciones entre parámetros geomorfológicos, variables climáticas, propiedades del suelo (físicas y químicas), estados de alteración, cobertura vegetal, uso del suelo y su manejo, analizadas a través de técnicas estadísticas y geoespaciales idóneas”.

El objetivo general fue generar una metodología que permita la identificación y caracterización de los DCS en Colombia, mediante estudios de caso en la cuenca del río Bogotá. Los objetivos específicos fueron: 1. Elaborar el marco conceptual de la metodología a proponer, para la identificar y caracterizar los DCS en Colombia; 2. Realizar la caracterización biofísica de los suelos de la cuenca del río Bogotá; 3. Diseñar y desarrollar la metodología de identificación y caracterización de los DCS y, 4. Validar y ajustar la metodología mediante estudios de caso en la cuenca del río Bogotá.

Inicialmente se realizó una amplia recopilación de información secundaria a nivel nacional e internacional, para precisar diferentes conceptos asociados al suelo y a los DCS; esto mostró que hay muy poca información conceptual asociada a esos distritos, y no se encontró metodología alguna o proceso propuesto que faciliten su identificación y caracterización. Así, basados en los lineamientos legales y normativos, se planteó una definición de DCS y se seleccionaron indicadores, que posteriormente fueron depurados a través de las técnicas de expertos, como punto de partida para la propuesta de una metodología que permite identificar y caracterizar los DCS en el territorio colombiano.

La caracterización biofísica de los suelos de la cuenca del río Bogotá mostró la descripción del mosaico de suelos de esa cuenca en un área de 547.583,56 hectáreas. Las características más

sobresalientes fueron: predominio de suelos de baja a mediana evolución (entisoles, inceptisoles); más del 70% de los suelos de la cuenca se ubican en pendientes menores al 25%; las coberturas y usos del suelo con dominio marcado de los territorios agrícolas en más del 58% en la cuenca; el 69% de los suelos presentan algún grado de erosión actual y potencialmente pueden ser afectados en más del 90% si se siguen manejando bajo las condiciones actuales; en un 74.42% los suelos están afectados por alguna condición de aridez; el 12,45% de los suelos presentan niveles medios o altos de compactación; el 65.67% de los suelos se ubican en climas frío, templado y cálido seco, muy seco o árido; cerca del 72% de los suelos se ubican en paisajes de montaña y lomerío; los suelos en un 36% son superficiales y en más del 60% se identifican como profundos; menos del 4% de los suelos se encuentran afectados por sales o sodio; en más del 60% los niveles de materia orgánica en el suelo son altos y el 68% de los suelos presenta niveles de fertilidad moderada a baja.

La metodología propuesta para identificar y caracterizar los DCS es un modelo lógico que se estructuró en 5 grandes etapas: la primera, hace una selección de los indicadores a ser aplicados en el modelo metodológico, a partir de 11 criterios (zona climática, índice aridez, geomorfología, pendiente, fertilidad, salinidad, materia orgánica, profundidad efectiva, compactación, erosión, usos y coberturas del suelos), con su respectiva parametrización categórica; la segunda consistió en la caracterización o identificación de las condiciones en que se midió dicho indicador, en un área o zona determinada dentro de un territorio, haciendo uso de métodos de evaluación cuantitativa acordes con cada indicador evaluado; la tercera estandariza los niveles categóricos de cada indicador a través de índices de impacto definidos por el método estándar 10-E₁₀; en la cuarta se analiza la interacción de los indicadores por sus diferentes categorías, a través de técnicas estadísticas de análisis probabilísticos, categórico de datos y de índices compuesto por el método Monte Carlo, para posteriormente ser estructurados y analizados geoespacialmente a través de Sistemas de Información Geográfica -SIG; la última etapa muestra la información estadística y espacial depurada a través de índices críticos, que a través de su interacción múltiple permitió finalmente identificar las áreas que pueden ser consideradas como DCS. Posteriormente, la metodología así definida se validó y ajustó en la cuenca del río Bogotá, Esto permitió, seleccionar diferentes áreas que pueden ser consideradas como como DCS a partir de la metodología propuesta. En consecuencia, con base en los resultados obtenidos de la investigación se pudo probar la hipótesis propuesta.

La investigación hace un aporte importante a la generación de conocimiento en ciencias del suelo, en particular en su conservación, y propone una metodología científicamente rigurosa y validada, para identificar y caracterizar los DCS, como contribución a la sostenibilidad de los sistemas productivos. Se pretende que esta metodología se convierta en una herramienta que haga un aporte a las entidades pertinentes y a la sociedad en general en la implementación de la PGSS, así como en aspectos pertinentes a políticas de ordenamiento territorial y aquellas orientadas a la conservación ambiental del país.

Palabras Claves: Calidad del suelo, sostenibilidad, ordenamiento territorial, calidad ambiental, conservación

ABSTRACT.

With the advent of Colombian environmental standards, particularly in 1974, by article 324 of decree law 2811 (National Code of Renewable Natural Resources and Environmental Protection), it was ordered to identify the soil conservation districts (DCS) of the country in order to define soil areas of with some degree of susceptibility to deterioration or in critical state that puts under risk their use and that of other natural resources.

At present, the DCS have had renewed importance, particularly from 2015 when it was formulated the Colombian Policy for Sustainable Soil Management (PGSS), which seeks to promote the sustainable management of soils, in an comprehensive context in which the conservation of biodiversity, water and air, territorial planning and risk management come together, contributing to sustainable development and well-being of Colombians" (MADS, 2015).

For this research it was hypothesized that it was possible to generate a rigorous and reliable methodology to identify and characterize the DCS of Colombian territories, based on the interrelations between geomorphological parameters, climatic variables, soil properties (physical and chemical), modification states, vegetation cover, and use and management of soils, examined through appropriate statistical and geospatial techniques.

The general objective was to generate a methodology that allows the identification and characterization of DCS in Colombia, through case studies in the Bogotá river basin. The specific objectives were: 1. To elaborate the conceptual framework of the proposed methodology, to identify and characterize the DCS in Colombia; 2. To undertake the biophysical characterization of the soils of the Bogotá river basin; 3. To design and develop the methodology to identify and characterize the DCS and, 4. To validate and adjust the methodology through case studies in the Bogotá river basin.

Initially it was undertaken a compilation of secondary information at the national and international level in order to define some concepts associated with soil and DCS. That review showed that there was very little conceptual information associated with DCS and it was not found any proposed methodology or process that facilitates their identification and characterization. Then considering legal and normative guidelines, it was proposed a definition of DCS, and some indicators were chosen and subsequently refined through expert techniques, as a starting point for the proposed methodology to identify and characterize the DCS in the Colombian territory.

The biophysical characterization of the soils of the Bogotá river basin showed the description of the mosaic of soils of the basin in an area of 547.583,56 hectares. The most outstanding features were: predominance of young and medium developed soils (entisols, inceptisols); more than 70% of soils are located on slopes under 25%; cover and land use with marked domain of agricultural territories in more than 58% of the basin; 69% of the soils have some degree of current erosion and

can potentially be affected over 90% of the soils if they continue being managed under current conditions; 74.42% of soils are affected by some condition of aridity; 12.45% of the soils show medium to high levels of compaction; 65.67% of the soils are located in cold, temperate and warm, dry, very dry or arid climates; about 72% of the soils are located in landscapes of mountain and low hills 36% are shallow soils and over 60% are deep; less than 4% of the land are affected by salts or sodium; over 60% of soil organic matter levels are high and 68% of the soils have moderate to low fertility levels.

The proposed methodology is a logical model structured in 5 major stages: the first one, makes a selection of the indicators to be applied in the methodological model, based on 11 criteria (climatic zone, index aridity, geomorphology, slope, fertility, salinity, organic matter, effective depth, compaction, erosion, uses and coverage of soils) with their respective categorical parameterization; the second one consisted of carrying out an identification and a characterization of the conditions in which the indicators were measured, in a specific area or zone within a territory, by using quantitative evaluation methods according to each indicator under scrutiny; the third standardizes the categorical levels of each indicator through the impact indices by the standard method 10-E₁₀ proposed by this research; the fourth consisted in analyzing the interaction of the indicators by their different categories, through statistical techniques of probabilistic analysis, categorical data and indexes composed of the Monte Carlo method, and then to structure and analyze them geospatially through Geographical Information Systems -GIS; the last stage shows the statistical and spatial information refined through critical indexes, which through their multiple interaction, finally allowed defining the areas that can be considered DCS. The methodology was proved and adjusted in the Bogotá river basin, and it allowed to choose different areas that may considered as DCS according to the proposed methods. Consequently, the hypothesis stated for this research was proved to be true.

The present research makes an important contribution to the generation of knowledge in soil science, in particular in terms of conservation, and proposes a scientifically rigorous and validated methodology to identify and characterize the DCS, as a contribution to the sustainability of the production systems. It is anticipated that this methodology becomes a tool that makes a contribution to the relevant institutions and society, in the implementation of the PGSS, as well as in terms of policies of land-use planning policies and those oriented to the environmental conservation of the country.

Key Words: Soil quality, sustainability, territorial ordering, environmental quality, conservation.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE TEMÁTICO	PÁGINA
RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	III
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Planteamiento del problema y justificación.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. General.....	3
1.2.2. Específicos.....	4
1.3. Hipótesis.....	4
1.4. Resultados aportados.....	4
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. Degradación de suelos.....	7
2.1.1, Degradación química de suelos.....	8
2.1.2. Degradación física y mecánica de suelos.....	9
2.1.3. Degradación biológica de suelos.....	11
2.2. Conservación del suelo.....	12
2.3. Calidad de suelo.....	13
2.3.1. Calidad del suelo según su función.....	14
2.3.2. Calidad del suelo y salud del suelo.....	18
2.3.3. Calidad del suelo y calidad de la tierra.....	18
2.4. Indicadores de calidad de suelos.....	18
2.4.1. Definición de indicador.....	18
2.4.2. Modelos para definir indicadores.....	19
2.4.3 Los indicadores en la calidad del suelo.....	21
2.5. Conceptos relacionados con los indicadores que permiten caracterizar e identificar DCS.....	23
2.5.1. Suelo.....	23
2.5.2. Clima.....	24
2.5.3. Zona climática.....	24
2.5.4. Aridez.....	25
2.5.5. Geomorfología.....	25
2.5.6. Pendiente.....	26
2.5.7. Fertilidad.....	27
2.5.8. Salinidad.....	28
2.5.9. Materia orgánica – MO.....	30
2.5.10. Profundidad efectiva.....	30

2.5.11. Compactación.....	31
2.5.12. Erosión.....	32
2.5.13. Coberturas y usos del suelo.....	34
2.5.14. Cuenca hidrográfica.....	34
2.6. Conceptos asociados a los mecanismos de evaluación de DCS.....	35
2.6.1. Método estadístico Monte Carlo.....	35
2.6.2. Concepto de Sistemas de información geográfica.....	36
2.7. Distritos de conservación de suelos.....	36
2.7.1. Los distritos de conservación de suelos en el mundo.....	36
2.7.2. Distritos de conservación de suelos en Colombia.....	38
➤ Experiencias de áreas declaradas como DCS.....	40
➤ Definición de DCS adoptada por la investigación.....	43

3. METODOLOGÍA

3.1. Revisión de información básica.....	44
3.2. Selección, estructura y métodos de caracterización de los indicadores para la construcción de la metodología que permite la identificación de distritos de conservación de suelos-DCS para Colombia.....	45
3.2.1. Selección de posibles indicadores a entrar en el modelo.....	46
3.2.2. Indicadores seleccionados.....	52
3.3. Metodología para la caracterización de las variables o indicadores seleccionados para identificar DCS en Colombia.....	55
3.3.1. Metodología para la definición del área de estudio o interés.....	55
3.3.2. Metodología para la identificación básica del mosaico de suelos.....	56
3.3.3. Metodología para la caracterización de la zona climática.....	56
3.3.4. Metodología para la caracterización del índice de aridez.....	57
3.3.5 Metodología para la caracterización de la Geomorfología.....	57
3.3.6. Metodología para la caracterización de la Pendiente.....	57
3.3.7. Metodología para la caracterización de la fertilidad del suelo.....	58
3.3.8. Metodología para la caracterización de la salinidad del suelo.....	60
3.3.9. Metodología para la caracterización de la materia orgánica del suelo.....	61
3.3.10. Metodología para la caracterización de la profundidad efectiva del suelo...	61
3.3.11. Metodología para la caracterización de la compactación del suelo.....	61
3.3.12. Metodología para la caracterización de la erosión del suelo.....	63
➤ Metodología de cálculo erosión actual.....	63
➤ Metodología de cálculo erosión actual.....	64
3.3.13. Metodología para la caracterización de la cobertura y uso del suelo.....	64
3.4. Metodología para la espacialización de las variables o indicadores seleccionados para identificar DCS.....	65

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa I. Metodología concebida para identificar y caracterizar distritos de conservación de suelos-DCS para Colombia.....	66
4.1. Parametrización de los indicadores seleccionados con sus categorías.....	68
4.1.1. Zona climática.....	72
4.1.2. Índice de Aridez.....	73
4.1.3. Geomorfología.....	74
4.1.4. Pendiente.....	80

4.1.5. Fertilidad.....	81
4.1.6. Salinidad.....	83
4.1.7. Materia Orgánica – MO.....	84
4.1.8. Profundidad efectiva.....	85
4.1.9. Compactación.....	86
4.1.10. Erosión.....	87
➤ Erosión actual.....	87
➤ Erosión potencial.....	89
4.1.11. Coberturas y usos del suelo.....	90
4.2. Caracterización de los indicadores seleccionados en el proceso de identificación de DCS.....	94
4.2.1. Caracterización de la zona Climática.....	95
4.2.2. Caracterización del índice de aridez.....	95
4.2.3. Caracterización de la geomorfología.....	95
4.2.4. Caracterización de la pendiente.....	95
4.2.5. Caracterización de la fertilidad.....	96
4.2.6. Caracterización de la salinidad.....	96
4.2.7. Caracterización de la materia orgánica – MO.....	96
4.2.8. Caracterización de la profundidad efectiva.....	96
4.2.9. Caracterización de la compactación.....	96
4.2.10. Caracterización de la erosión.....	97
4.2.11. Caracterización de la coberturas y usos del suelo.....	97
4.3. Asignación de índices a los indicadores por el método del estándar 10 (E ₁₀)...	98
4.3.1. El método del estándar 10-E ₁₀	98
4.3.2. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de la zona climática.....	101
4.3.3. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de aridez	104
4.3.4. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de geomorfología...	106
➤ Índice geomorfológico por tipo de paisaje.....	107
➤ Índice geomorfológico por ambiente morfogenético.....	109
4.3.5. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de pendiente.....	112
4.3.6. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de fertilidad.....	114
4.3.7. . Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de salinidad	115
4.3.8. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de materia orgánica – MO.....	117
4.3.9. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de profundidad efectiva.....	118
4.3.10. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de compactación.....	120
4.3.11. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de erosión.....	121
➤ Erosión Actual.....	121
➤ Erosión potencial.....	123
4.3.12. Asignación del índice E ₁₀ , a las categorías del indicador de coberturas y usos del suelo.....	124

4.4. Análisis categórico de datos y definición de distritos de conservación de suelos.....	130
4.4.1. Métodos estadísticos para determinar distritos de conservación de suelos...	130
➤ Indicadores analizados en función de la reestructuración categorías del estándar 10.....	131
➤ Prioridad en la estructura de indicadores en el proceso de identificación y caracterización DCS.....	132
➤ Análisis cuantitativo de datos.....	134
➤ Evaluación múltiple de indicadores y calificación de distritos de conservación de suelos.....	136
4.4.2. Métodos cartográficos para determinar distritos de conservación de suelos.	140
➤ Estructuración de un del Sistema de Información Geográfica (SIG).....	140
• Modelo conceptual.....	140
• Modelo lógico.....	142
4.5. Los Distritos de conservación de suelos – DCS, por tipos de interés.....	143
4.5.1. Expansión urbana.....	144
4.5.2. Interés científico.....	144
4.5.3. Interés cultural.....	144
4.5.4. Interés ambiental.....	145
Etapa II. Aplicación del proceso metodológico para identificar y caracterizar distritos de conservación de suelos-DCS.....	147
4.6. Caracterización del área de estudio.....	147
4.6.1. Localización del área de estudio.....	148
➤ Construcción de la cartográfica básica de la cuenca.....	149
➤ Escala de análisis de los DCS.....	149
4.6.2. Descripción del mosaico de suelos de la cuenca.....	152
➤ Aspectos relevantes de los suelos.....	160
• Por su distribución taxonómica.....	160
• Por su ubicación en el paisaje.....	161
• Por el tipo de clima.....	162
• Por dominio de clase textural.....	163
4.6.3. Caracterización de la pendiente en la cuenca del rio Bogotá.....	164
4.6.4. Caracterización de las coberturas y usos del suelo.....	166
4.6.5. Caracterización de la erosión.....	171
➤ Erosión actual en la cuenca.....	171
• Origen de la erosión en la cuenca.....	171
• Tipo de erosión.....	171
• Agentes causantes.....	171
• Grados de erosión presentes en la cuenca.....	172
➤ Erosión potencial en la cuenca por el método USLE – RUSLE.....	178
• Origen de la erosión en la cuenca.....	178
• Tipo de erosión.....	179
• Agentes causantes.....	179
• Análisis de los factores involucrados en la modelación con la ecuación universal de pérdida de suelo.....	179
Erosividad de la lluvia “R”.....	180

Factor “K” de erodabilidad del suelo.....	181
Factor “LS” de longitud y grado de la pendiente.....	183
Factor “C” de cobertura vegetal Factor “.....	184
Factor “P” de prácticas de conservación de suelos.....	186
Calculo de la erosión potencial.....	186
4.6.6. Caracterización del índice aridez.....	188
4.6.7. Caracterización de la compactación.....	190
4.6.8. Caracterización de la zona climática.....	196
4.6.9. Caracterización de la geomorfología.....	197
4.6.10. Caracterización de la profundidad efectiva.....	201
4.6.11. Caracterización de la salinidad.....	206
4.6.12. Caracterización de la materia orgánica - M.O.....	211
4.6.13. Caracterización de la fertilidad.....	217
4.7. Asignación de índices por el método del estándar 10-E ₁₀ , y distribución espacial de los indicadores para la identificación de DCS, en la cuenca del río Bogotá.....	222
4.7.1. Asignación del índice a las categorías de pendiente, siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	222
4.7.2. Asignación del índice a las categorías de cobertura y uso del suelo, siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	224
4.7.3. Asignación del índice a las categorías de erosión, siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	227
4.7.4. Asignación del índice a las categorías de aridez, siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	229
4.7.5. Asignación del índice a las categorías de compactación, siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	231
4.7.6. Asignación del índice a las categorías de la zona climática, siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	236
4.7.7. Asignación del índice a las categorías de geomorfología – paisaje siguiendo, el método estándar 10-E ₁₀	238
4.7.8. Asignación del índice a las categorías de profundidad efectiva siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	242
4.7.9. Asignación del índice a los parámetros de salinidad siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	246
4.7.10. Asignación del índice a las categorías de M.O, siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	251
4.7.11. Asignación del índice a las categorías de fertilidad siguiendo el método estándar 10-E ₁₀	255
4.8. Análisis categórico de datos y definición final de áreas como distritos de conservación de suelos, en la cuenca del río Bogotá.....	260
4.8.1. Interacciones categóricas de los indicadores utilizados en el modelo, aplicables a la cuenca.....	260
4.8.2. Organización de las variables por niveles de impacto dentro del estándar 10-E ₁₀	261
4.8.3. Análisis estadístico de datos.....	262
➤ Probables combinaciones.....	264
➤ Evaluación múltiple de indicadores.....	266

4.8.4. Análisis de datos cartográficos.....	269
➤ Niveles de impacto críticos para el indicador de pendiente.....	270
➤ Niveles de impacto críticos para el indicador de usos y coberturas del suelo.....	271
➤ Niveles de impacto críticos para el indicador de erosión.....	271
➤ Niveles de impacto críticos para el indicador de aridez.....	272
➤ Niveles de impacto críticos para el indicador de compactación.....	273
➤ Niveles de impacto críticos para el indicador de zona climática.....	274
➤ Niveles de impacto críticos del indicador de geomorfología.....	275
➤ Niveles de impacto crítico del indicador de profundidad efectiva.....	276
➤ Niveles de impacto críticos del indicador de salinidad.....	277
➤ Niveles de impacto críticos del indicador de materia orgánica.....	278
➤ Niveles de impacto críticos del indicador de fertilidad.....	279
➤ Análisis múltiple de indicadores.....	280
4.9. Área final definida como distritos de conservación de suelos-DCS, en la cuenca del río Bogotá.....	283
➤ Cuenca parte alta.....	283
➤ Cuenca parte media.....	284
➤ Cuenca parte baja.....	284
5. CONCLUSIONES.....	288
BIBLIOGRAFÍA.....	292

ÍNDICE DE TABLAS	PÁGINA
Tabla 2.1. Principales funciones para evaluar calidad del suelo.....	17
Tabla 2.2. Distritos de conservación de suelos registrados en Colombia.....	41
Tabla 3.1. Indicadores variable básicos analizados.....	47
Tabla 3.2. Indicadores seleccionados para la clasificación de los distritos de conservación de suelos.....	54
Tabla 3.3. Métodos a ser utilizados en la identificación de los elementos (iones), del suelo.....	58
Tabla 3.4. Evaluación y cálculo de la fertilidad de suelos, método IGAC, 2010.....	60
Tabla 3.5. Métodos a ser utilizados en la identificación de los elementos salinos de un suelo.....	60
Tabla 3.6. Métodos a ser utilizados en la identificación de la Materia orgánica del suelo.....	61
Tabla 3.7. Determinación indirecta de la compactación de un suelo a través de la relación general entre densidad aparente y la textura.....	62
Tabla 3.8. Metodologías para la determinación de los parámetros de textura y densidad, utilizados indirectamente para determinar compactación de un suelo...	62
Tabla 3.9. Métodos de identificación y medición de la erosión y su intensidad...	63
Tabla 3.10. Métodos para identificar y evaluar la erosión potencial de un suelo...	64
Tabla 4.1. Indicadores seleccionados para los procesos de identificación y clasificación de los DCS para el territorio Colombiano.....	68
Tabla 4.2. Clasificación del tipo de clima por zonas climáticas.....	73
Tabla 4.3. Clasificación del índice de aridez.....	74
Tabla 4.4. Clasificación geomorfológica por categorías de paisaje.....	76
Tabla 4.5. Clasificación geomorfológica por categorías de ambiente morfogenético.....	77
Tabla 4.6. Clasificación de la pendiente por categorías según su grado de inclinación.....	81
Tabla 4.7. Clasificación de la fertilidad por rangos.....	82
Tabla 4.8. Clasificación de los tipos de suelos salinos según su categoría.....	83
Tabla 4.9. Clasificación categórica de la cantidad de materia orgánica presente en el suelo.....	85
Tabla 4.10. Clases categóricas por profundidad efectiva.....	86
Tabla 4.11. Clasificación categórica por compactación- Resistencia a la penetración.....	87
Tabla 4.12. Grado de erosión del suelo en función de la pérdida del horizonte A.	88
Tabla 4.13. Grado de erosión del suelo en función del área afectada.....	89
Tabla 4.14. Rangos por intensidad o grado de la erosión potencial en T/ha/año...	90
Tabla 4.15. Niveles categóricos de la cobertura y usos de la tierra.....	91
Tabla 4.16. Productos necesarios para construir el modelo de DCS.....	98
Tabla 4.17. Categorías establecidas en los indicadores o variables seleccionadas para identificar DCS.....	99
Tabla 4.18. Índices (E ₁₀) de los parámetros del tipo de clima por zonas climáticas.....	102

Tabla 4.19. Índices (E ₁₀) de los parámetros de aridez.....	105
Tabla 4.20. Índices (E ₁₀) de los parámetros de geomorfología por tipo de paisaje.....	107
Tabla 4.21. Índices (E ₁₀) de los parámetros de geomorfología por ambiente morfogenético.....	109
Tabla 4.22. Índices (E ₁₀) de los parámetros de pendiente por su grado.....	113
Tabla 4.23. Índices (E ₁₀) de los parámetros de fertilidad por rangos.....	114
Tabla 4.24. Índices (E ₁₀) de los niveles de salinidad de los suelos.....	116
Tabla 4.25. Índices (E ₁₀) de los parámetros de materia orgánica.....	117
Tabla 4.26. Índices (E ₁₀) de los parámetros por profundidad efectiva.....	119
Tabla 4.27. Índices (E ₁₀) de los parámetros por compactación.....	120
Tabla 4.28. Índices (E ₁₀) de los parámetros de erosión del suelo en función de la pérdida del horizonte A.....	122
Tabla 4.29. Índices (E ₁₀) de los parámetros de erosión del suelo en función del área afectada.....	122
Tabla 4.30. Índices (E ₁₀) de los parámetros de erosión según su intensidad en T/ha/año.....	123
Tabla 4.31. Índices (E ₁₀) de los parámetros de coberturas y usos del suelo.....	125
Tabla 4.32. Indicadores con la reestructura categórica establecida por el método del estándar 10 – E ₁₀	132
Tabla 4.33. Modelo de tabla de datos por niveles de importancia de las categorías de las variables, para identificar los escenarios de las áreas a ser consideradas como DCS.....	138
Tabla 4.34. Matriz de calificación de impactos, por cada variable o indicador....	139
Tabla 4.35. Leyenda de suelos de la cuenca del río Bogotá.....	153
Tabla 4.36. Ubicación de los suelos de la cuenca por su paisaje.....	162
Tabla 4.37. Áreas de suelo por piso térmico.....	163
Tabla 4.38. Distribución de los diferentes rangos de pendiente, extensión territorial y porcentual para la totalidad de la cuenca del río Bogotá.....	165
Tabla 4.39. Coberturas y usos de los suelos presentes al interior de la cuenca del río Bogotá.....	168
Tabla 4.40. Resumen de las coberturas del suelo de la cuenca.....	170
Tabla 4.41. Grado de erosión actual presente en la cuenca.....	172
Tabla 4.42. Resumen de los valores promedio de los parámetros requeridos para estimar el factor K de acuerdo con el grado de susceptibilidad a la erosión.....	182
Tabla 4.43. Clasificación de los rangos del factor C en relación al tipo de cobertura y la susceptibilidad a la erosión.....	185
Tabla 4.44. Grado de erosión potencial (USLE -RUSLE) presentes en la cuenca...	186
Tabla 4.45. Índices de aridez presentes en la cuenca del río Bogotá.....	189
Tabla 4.46. Identificación de los niveles de compactación de los diferentes suelos presentes en la cuenca.....	191
Tabla 4.47. Distribución de los niveles de compactación de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.....	194
Tabla 4.48. Tipos de zona climática presentes en la cuenca del río Bogotá.....	196
Tabla 4.49. Geomorfología de la cuenca del río Bogotá.....	199
Tabla. 4.50. Distribución del paisaje al interior de la cuenca del río Bogotá.....	200

Tabla 4.51. Identificación de los niveles de profundidad efectiva de los diferentes suelos presentes en la cuenca.....	201
Tabla 4.52. Distribución de los niveles de profundidad efectiva de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.....	205
Tabla 4.53. Identificación de los niveles de salinidad de los diferentes suelos presentes en la cuenca.....	207
Tabla 4.54. Distribución de los niveles de salinidad de suelos por categorías, en la cuenca del río Bogotá.....	210
Tabla 4.55. Identificación de los niveles de materia orgánica de los diferentes suelos presentes en la cuenca.....	212
Tabla 4.56. Distribución de los niveles de materia orgánica de los suelos por categorías, en la cuenca del río Bogotá.....	216
Tabla 4.57. Identificación de los niveles de fertilidad de los diferentes suelos presentes en la cuenca.....	217
Tabla 4.58. Distribución de los niveles de fertilidad de suelos por categorías, en la cuenca del río Bogotá.....	220
Tabla 4.59. Índices del estándar 10-E ₁₀ , para los parámetros de pendiente en la cuenca del río Bogotá.....	222
Tabla 4.60. Impacto del índice de pendiente y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	223
Tabla 4.61. Índices del estándar 10-E ₁₀ para los parámetros de uso y cobertura del suelo.....	224
Tabla 4.62. Impacto del índice de uso y cobertura del suelo y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	226
Tabla 4.63. Índices del estándar 10-E ₁₀ para los parámetros de erosión.....	227
Tabla 4.64. Impacto del índice de erosión y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	228
Tabla 4.65. Índices del estándar 10-E ₁₀ para los parámetros de aridez.....	229
Tabla 4.66. Impacto del índice de aridez y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	230
Tabla 4.67. Índices del estándar 10-E ₁₀ para los parámetros de compactación.....	231
Tabla 4.68. Impacto del índice de compactación y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	235
Tabla 4.69. Índices del estándar 10-E ₁₀ , para los parámetros de la zona climática...	236
Tabla 4.70. Impacto del índice climático y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	237
Tabla 4.71. Índices del estándar 10-E ₁₀ , para los parámetros de geomorfología – paisaje.....	239
Tabla 4.72. Impacto del índice de geomorfología-paisaje y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	241
Tabla 4.73. Índices del estándar 10-E ₁₀ para los parámetros de profundidad efectiva.....	242
Tabla 4.74. Impacto del índice de profundidad efectiva y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	245
Tabla 4.75. Índices del estándar 10-E ₁₀ para los parámetros de salinidad.....	246
Tabla 4.76. Impacto del índice de salinidad y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	250

Tabla 4.77. Índices del estándar 10-E ₁₀ para los parámetros de materia orgánica...	251
Tabla 4.78. Impacto del índice de materia orgánica y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	254
Tabla 4.79. Índices del estándar 10-E ₁₀ para los parámetros de fertilidad.....	255
Tabla 4.80. Impacto del índice de fertilidad y su distribución por áreas en la cuenca del río Bogotá.....	259
Tabla 4.81 Número de niveles categóricos básicos presentes en la cuenca del río Bogotá.....	261
Tabla 4.82. Niveles de impacto del estándar 10-E ₁₀ en cada variable en la cuenca del río Bogotá	263
Tabla 4.83. Número de categorías por niveles dentro del estándar 10-E ₁₀ de cada variable.....	263
Tabla 4.84. Identificación de los niveles de impacto por cada indicador, en la identificación de los DCS.....	267
Tabla 4.85. Modelo de resultado de evaluación de las interacciones entre los niveles de las variables, para definir DCS.....	268
Tabla 4.86. Áreas clasificadas por niveles categóricos, con fines de identificación de distritos de conservación de suelos.....	282

ÍNDICE DE MAPAS	PÁGINA
Mapa 2.1. Áreas actuales del territorio Colombiano, declaradas como distritos de conservación de suelos.....	42
Mapa 4.1. Localización del área de estudio.....	150
Mapa 4.2. Modelo de alturas de la cuenca del río Bogotá.....	151
Mapa 4.3. Visión general de la Cobertura y uso de la tierra al interior de la cuenca del río Bogotá.....	151
Mapa 4.4. Suelos cuenca río Bogotá.....	160
Mapa 4.5. Pendientes cuenca del río Bogotá.....	166
Mapa 4.6. Coberturas y usos de los suelos presentes al interior de la cuenca del río Bogotá.....	170
Mapa 4.7. Distribución espacial de la erosión actual de los suelos de la cuenca.	177
Mapa 4.8. Distribución espacial de las niveles de erosión potencial en la cuenca del río Bogotá.....	187
Mapa 4.9. Distribución espacial de los índices de aridez de los suelos, presentes en la cuenca del río Bogotá.....	190
Mapa 4.10. Distribución espacial de la compactación de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.....	195
Mapa 4.11. Distribución espacial de las zonas climáticas presentes en la cuenca del río Bogotá.....	197
Mapa 4.12. Geomorfología de la cuenca del río Bogotá.....	200
Mapa 4.13. Distribución espacial de la profundidad efectiva de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.....	206
Mapa 4.14. Distribución espacial de la salinidad de suelos, en la cuenca del río Bogotá.....	211
Mapa 4.15. Distribución espacial de la materia orgánica de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.....	216
Mapa 4.16. Distribución espacial de la fertilidad de suelos, en la cuenca del río Bogotá.....	221
Mapa 4.17. Distribución espacial del índice de pendiente, en la cuenca del río Bogotá.....	224
Mapa 4.18. Distribución espacial del índice de uso y cobertura del suelo, en la cuenca del río Bogotá.....	227
Mapa 4.19. Distribución espacial del índice de erosión, en la cuenca del río Bogotá.....	229
Mapa 4.20. Distribución espacial del índice de aridez en la cuenca del río Bogotá.....	231
Mapa 4.21. Distribución espacial del índice de compactación, en la cuenca del río Bogotá.....	236
Mapa 4.22. Distribución espacial del índice climático en la cuenca del río Bogotá.	238
Mapa 4.23. Distribución espacial del índice de geomorfología-paisaje, en la cuenca del río Bogotá.....	241
Mapa 4.24. Distribución espacial del índice de profundidad efectiva, en la cuenca del río Bogotá.....	246

Mapa 4.25. Distribución espacial del índice de salinidad, en la Cuenca del río Bogotá.....	250
Mapa 4.26. Distribución espacial del índice de materia orgánica, en la cuenca del río Bogotá.....	255
Mapa 4.27. Distribución espacial del índice de fertilidad, en la cuenca del río Bogotá.....	259
Mapa 4.28. Índices críticos del indicador de pendiente, para definir DCS.....	270
Mapa 4.29. Índices críticos del indicador de usos y coberturas del suelo, para definir DCS.....	271
Mapa 4.30. Índices críticos del indicador de erosión, para definir DCS.....	272
Mapa 4.31. Índices críticos del indicador de aridez, para definir DCS.....	273
Mapa 4.32. Índices críticos del indicador de compactación, para definir DCS.....	274
Mapa 4.33. Índices críticos del indicador de zona climática, para definir DCS...	275
Mapa 4.34. Índices críticos del indicador de geomorfología, para definir DCS...	276
Mapa 4.35. Índices críticos del indicador de profundidad efectiva, para definir DCS.....	277
Mapa 4.36. Índices críticos del indicador de salinidad, para definir DCS.....	278
Mapa 4.37. Índices críticos del indicador de materia orgánica, para definir DCS...	279
Mapa 4.38. Índices críticos del indicador de fertilidad, para definir DCS.....	280
Mapa 4.39. Áreas clasificadas por niveles categóricos, con fines de identificación distritos de conservación de suelos.....	282
Mapa 4.40. Distritos de conservación de suelos al interior de la cuenca del río Bogotá.....	285

ÍNDICE DE GRÁFICAS	PÁGINA
Gráfica 2.1. Esquema conceptual de los distritos de conservación de suelos.....	43
Gráfica 4.1. Índices de los parámetros del tipo de clima por zonas climáticas...	104
Gráfica 4.2. Índices de los parámetros de aridez.....	105
Gráfica 4.3. Índices de los parámetros de geomorfología por tipo de paisaje....	108
Gráfica 4.4. Índices de los parámetros geomorfológica por ambiente morfogenético.....	112
Gráfica 4.5. Índices de los parámetros de pendiente por grado.....	113
Gráfica 4.6. Índices de los parámetros de fertilidad por rangos.....	115
Gráfica 4.7. Índices de los niveles de salinidad de los suelos.....	116
Gráfica 4.8. Índices de los parámetros de materia orgánica.....	118
Gráfica 4.9. Índices de los parámetros por profundidad efectiva.....	119
Gráfica 4.10. Índices de los parámetros por compactación- resistencia a la penetración.....	121
Gráfica 4.11. Índices de los parámetros de erosión del suelo en función del área afectada.....	123
Gráfica 4.12. Índices de los parámetros de erosión según su intensidad en T/ha/año.....	124
Gráfica 4.13. Índices de los parámetros de coberturas y usos del suelo.....	129
Gráfica 4.14. Metodología para el proceso de análisis estadístico para la definición de los distritos de conservación de suelos.....	131
Gráfica 4.15. Categorías de niveles de riesgo de las áreas de suelo, para ser consideradas como DCS.....	139
Gráfica 4.16. Modelo conceptual SIG, para la identificación de los DCS.....	141
Gráfica 4.17. Modelo lógico del SIG, aplicable a los DCS.....	142
Gráfica 4.18. Dominio de suelos por taxonomía en la cuenca.....	161
Gráfica 4.19. Dominio de la clase textural de los perfiles modales de suelos presentes en la cuenca.....	164
Gráfica 4.20. Distribución porcentual de las clases del factor LS, dentro de la cuenca del río Bogotá.....	184
Gráfica 4.21. Profundidad efectiva de los suelos cuenca río Bogotá.....	204
Gráfica 4.22. Contenido de MO del horizonte superficial, suelos cuenca río Bogotá.....	215
Gráfica 4.23. Niveles categóricos de identificación de distritos de conservación de suelos.....	269
Gráfica 4.24. Proceso de análisis de interacción de variables en la determinación de DCS.....	281

ÍNDICE DE FIGURAS	PÁGINA
Figura 3.1. Enfoque metodológico concebido para la identificación y caracterización de los indicadores.....	46
Figura 3.2. Estructura de selección de los indicadores para identificar distritos de conservación de suelos, en función de los atributos naturales.....	54
Figura 4.1. Modelo general que muestra los pasos metodológicos para identificar y caracterizar DCS.....	67
Figura 4.2. Estructura de los indicadores para identificar DCS, bajo el modelo FPEIR.....	70
Figura 4.3. Esquema de agrupación de las variables cualitativas por niveles importancia.....	133
Figura 4.4. Esquema de agrupación de las variables cualitativas por niveles importancia, en la cuenca del río Bogotá.....	262

ÍNDICE DE FOTOS	PÁGINA
Foto 4.1 Áreas sin erosión visible.....	173
Foto 4.2. Área de la cuenca con erosión ligera.....	174
Foto 4.3. Área de la cuenca con erosión moderada.....	175
Foto 4.4. Área de la cuenca con erosión severa.....	176
Foto 4.5. Área de la cuenca con erosión muy severa.....	177

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las normas de ordenamiento del territorio Colombiano, en el año 1974, mediante el artículo 324 del decreto ley 2811 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente- CNRNR), se ordenó hacer la identificación de los distritos de conservación de suelos (DCS) del país. Con posterioridad, en la ley 388 de 1997 y su decreto reglamentario 2201 del 2003, se previeron algunos determinantes ambientales entre ellos los DCS. También en el decreto 2372 de 2010, donde se estructuran las áreas protegidas del país, se incluyen como una de sus categorías los DCS, como uno de los elementos que contribuyen a armonizar el ordenamiento del territorio. Más recientemente el decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, ratifica la importancia de los DCS. Su valor estratégico como estructura de las áreas del país a ser protegidas, igualmente se destaca en la “Política para la Gestión Sostenible del Suelo (GSS)” en Colombia, formulada por la Universidad Nacional de Colombia, en convenio con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (MADS, 2015).

No obstante, estos mandatos los DCS en Colombia han tenido muy poco desarrollo.

1.1. Planteamiento del problema y justificación

La plataforma continental del territorio Colombiano asciende a 114'174.800 hectáreas (IGAC, 2009), con multiplicidad de suelos y ecosistemas que lo hacen multidiverso y con una gran riqueza en recursos naturales, privilegio que pocas áreas del mundo poseen. Esta diversidad fue una de las bases para ordenar la creación de los DCS en 1974, pero esa diversidad se encuentra en riesgo debido a que los suelos están siendo afectados negativamente en diferentes magnitudes por las acciones naturales o antrópicas, contribuyendo de forma directa a dinámicas de degradación ambiental que reducen las funciones y servicios ecosistémicos asociados al suelo (MADS;2015).

Los procesos de degradación de los suelos ocurren por fenómenos relacionados con deforestación (IDEAM, 2004), lluvia ácida (Glynn et al 1999), uso inadecuado de plaguicidas (Colin, 2004), presencia de metales pesados (Duffus, 2002), excesiva e inadecuada aplicación de fertilizantes, (FAO, 2002), riego con aguas contaminadas (Pesda et al, 2001), mecanización inadecuada (López, 2002) y el cambio climático que conlleva modificaciones en temperatura y régimen de lluvia (Oreskes, 2004). Lo anterior ha traído como consecuencias problemas de erosión (Porta et al, 2003; López, 1994), compactación (UNESCO – MAB, 2001), contaminación (López, 2002), inundaciones (Thompson et al, 2002; IDEAM, 2010), e incluso desertificación de los suelos (IDEAM, 2005), con lo cual se degrada o pierde este valioso recurso.

Estos procesos de degradación de suelos tienen enormes repercusiones negativas en los ecosistemas (Jimenez et al, 2005), en los sistemas agrícolas (Lal, 1998), y en general, en las actividades humanas (Ortega-Gaucin, 2012), puesto que se afectan negativamente las funciones ecológicas del suelo y el desarrollo de actividades económicas (Blum, 1998). El análisis de dichos fenómenos en un territorio específico es la herramienta fundamental en la obtención de parámetros que facilitan la construcción de métodos que permitan identificar y delimitar los DCS.

En Colombia, luego de expedido el CNRN, el Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables y del Ambiente-INDERENA en el año de 1974 autorizó al Instituto Colombiano de la Reforma Agraria- INCORA posteriormente transformado en el Instituto Colombiano para el Desarrollo Rural-INCODER y actualmente Agencia Nacional de Tierras, la creación del DCS y Aguas del Caquetá con un área 300.000 hectáreas; posteriormente con la emisión de la Ley 99 de 1993, que crea el Ministerio del Ambiente y las Corporaciones Autónomas Regionales - CAR, y hasta el año 2015, se han declarado a través de ellas 10 zonas como DCS, cubriendo un área de 43.701,59 ha, a saber: Guacas Rosario; Ciénaga de Bano; Barbas Bremen; Campoalegre; Distrito de Conservación de Suelos Barbas Bremen; Distrito de conservación de suelos Alto del Nudo; Cañon de Rio Grande; Distrito de conservación de suelos La Marcada; Distrito de Conservación De Suelos Kirpas Pinilla La Cuerera y Tibaitatá. En total el área declarada como DCS antes y después de la Ley 99 de 1993 asciende a 343.701.59ha, de ellos no se tiene ninguna referencia metodológica sobre su delimitación, tan solo la resolución o el acto administrativo de su creación y la ubicación geográfica.

Lo anterior muestra que el país carece de una definición precisa de los DCS y por consiguiente de una metodología técnico-científica que permita hacer su identificación y caracterización, además se adolece de una reglamentación adecuada y poco se sabe acerca de su administración. Pese a que el ordenamiento jurídico del país los estableció desde 1974 (decreto ley 2811), y que esto ha sido ratificado por la ley 388 de 1997 y los decretos 2201 del 2003, 2372 de 2010 y 1076 de 2015, las autoridades ambientales encargadas del ordenamiento del territorio Colombiano muy poco han hecho para el desarrollo de acciones tendientes a dar lineamientos en esta materia, siendo una necesidad apremiante en el ordenamiento y administración de los suelos en el país, tal y como lo destaca la política para para la Gestión Sostenible del Suelo (GSS) (MADS, 2015).

Tener una metodología adecuada y validada para la identificación y delimitación de DCS, en el territorio colombiano, permitirá contar con un instrumento que facilite la planificación del recurso, su uso y manejo con fines múltiples. La metodología aportará a la ciencia del suelo y facilitará la toma de decisiones a las diferentes entidades para la construcción de lineamientos de políticas específicas de conservación de la calidad del suelo, establecer planes, programas y proyectos de prevención de su degradación y recuperación , y ajustar los procesos de zonificación y ordenamiento del territorio, que conduzcan a mantener el equilibrio y la sostenibilidad del recurso, dentro de la estrategia integral de la sostenibilidad del ecosistema.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Generar una metodología que permita la identificación y caracterización de los distritos de conservación de suelos (DCS) en Colombia, mediante estudios de caso en la cuenca del río Bogotá.

1.2.2. Específicos

1. Elaborar el marco conceptual de la metodología a proponer, para identificar y caracterizar los DCS.
2. Realizar la caracterización biofísica de los suelos de la cuenca del río Bogotá.
3. Diseñar y desarrollar la metodología de identificación y caracterización de los DCS para el territorio Colombiano.
4. Validar y ajustar la metodología mediante estudios de caso en la cuenca del río Bogotá.

1.3. Hipótesis

Se puede generar una metodología rigurosa y confiable que permita identificar y caracterizar los DCS del territorio Colombiano, a partir de las interrelaciones entre parámetros geomorfológicos, variables climáticas, propiedades del suelo (físicas y químicas), estados de alteración, cobertura vegetal y uso del suelo y su manejo, analizadas a través de técnicas estadísticas y geoespaciales idóneas.

1.4. Estructura del documento

Esta investigación desarrolló el marco teórico que se presenta en el capítulo 2, contempla una revisión detallada de conceptos a partir de fuentes bibliográficas especializadas del orden nacional e internacional, allí se incorporan los conceptos de degradación, conservación, calidad del suelo e indicadores; además se describen otros conceptos relacionados con el uso de indicadores para la caracterización metodológica de DCS como son los de suelo, zona climática, índice aridez, geomorfología, pendiente, fertilidad, salinidad, materia orgánica, profundidad efectiva, compactación, erosión, usos y coberturas del suelos, al final de este capítulo, se analizan los conceptos de DCS y su estado actual a nivel nacional e internacional; también siguiendo los

lineamientos legales y normativos y con base en las necesidades del país, se propuso una definición conceptual de DCS, que fue un eje fundamental para avanzar en la investigación.

Dentro de la estructura metodológica básica que se observa en el capítulo 3, se describe los procesos que permitieron hacer una selección de indicadores para ser considerados en la estructura de la construcción de los DCS; seguidamente se muestra la metodología para definir aquellos que bajo los criterios técnicos, fueron seleccionados y que son la base para la construcción del estructura metodológica generada, que es un modelo que permitió hacer la identificación y caracterización de los DCS. Posteriormente se muestran los métodos más apropiados para realizar el diagnóstico de las variables seleccionadas como son las taxonómicas de suelos, clima, índice aridez, geomorfología, pendiente, fertilidad, salinidad, materia orgánica, profundidad efectiva, compactación, erosión y los usos y coberturas del suelo, que a su vez permiten caracterizar adecuadamente un área determinada.

El capítulo 4, contempla dos partes: La primera muestra la metodología concebida para identificar y caracterizar distritos de conservación de suelos-DCS para el territorio Colombiano, dicha metodología es un modelo lógicamente estructurado en 5 grandes etapas: en la primera se realizó una selección de los indicadores a ser aplicados en el modelo metodológico con su respectiva parametrización categórica al interior de cada uno de ellos; en la segunda, se hizo una caracterización o identificación de las condiciones en que se presenta cada indicador en el área de estudio de un territorio, haciendo uso de métodos técnicos de evaluación cuantitativa propios de cada indicador; la tercera, toma los resultados de la caracterización de cada indicador de acuerdo a los niveles categóricos en que se presentan y los estandariza a través del índices de impacto por el método estándar 10-E₁₀ propuestos por esta investigación; la cuarta, consistió en analizar la interacción de los indicadores por sus diferentes categorías, a través de técnicas estadísticas de análisis probabilísticos, categórico de datos y de índices compuesto por el método Monte Carlo, para posteriormente ser estructurados y analizados geoespacialmente a través de Sistemas de Información Geográfica -SIG; la última etapa, muestra los resultados de los análisis realizados a los diferentes indicadores a través de las técnicas estadística y espacial ya depurados y calificados por índices críticos, que a través su interacción múltiple, permite visualizar las áreas que finalmente pueden ser consideradas como DCS.

En la segunda parte de los resultados, se muestra la aplicación de la metodología generada o el modelo propuesta para identificar y caracterizar DCS, comprobación práctica que se realizó específicamente en la cuenca hidrográfica del río Bogotá, empezando por la caracterización de las variables o indicadores que componen el modelo, su categorización, la medición de los impactos a través del E₁₀ y la interacción entre ellos, para finalmente definir a través de un análisis integral, con las técnicas estadísticas y geoespaciales y su posterior espacialización en cartografía temática, las áreas definidas como de los DCS.

La escala de trabajo para identificar y caracterizar los diferentes indicadores analizados al interior de la cuenca del río Bogotá, que permitió a través de este ejercicio práctico comprobar la metodología expuesta, se realizó a escala 1:50.000, con formatos de salida cartográfica a escala 1:100.000.

2. MARCO TEÓRICO

Al abordar los Distritos de Conservación de Suelos (DCS), y con el fin de estructurar una metodología para su identificación y caracterización, se requiere tener presente los conceptos básicos relacionados con dicha temática, incluyendo degradación de suelos, conservación de suelos, calidad del suelo, indicadores de calidad del suelo, conceptos relacionados con la caracterización de los suelos, métodos estadísticos, conceptos asociados a los sistemas de información geográfica y el concepto mismo de DCS. En este capítulo se revisan esos conceptos y se presentan algunas experiencias relevantes con DCS en el mundo y en Colombia.

2.1. Degradación de suelos

La degradación del suelo ha sido definida de muchas maneras, la mayoría están relacionadas con la función (agro) productiva del suelo (López, 2002). La FAO (1993), es considerada la degradación de suelos como la suma de los factores climáticos, geológicos, biológicos y humanos que conducen a la degradación física, química y del potencial biológico de un suelo, y que ponen en peligro la biodiversidad, su uso y por tanto la supervivencia de las comunidades humanas. Para Lal (1998), es la pérdida de la productividad actual y potencial del suelo, para producir bienes y servicios y para realizar sus funciones de regulación ambiental.

Desde un punto de vista más ecológico, Blum (1998) aborda la degradación del suelo como una pérdida o reducción de la energía del suelo, en vista de que todas las funciones y los usos del mismo son basados en esta. La red nacional de conservación de suelos (UNAL, 2012), relaciona la degradación del suelo con la disminución de su capacidad para soportar vida, no solo la vegetal y animal en superficie, sino también la microflora y la fauna propia del mismo.

De lo anterior se deduce que la degradación del suelo se manifiesta en una condición desfavorable de este, originada por acciones naturales o antrópicas afectando las propiedades físicas, químicas o biológicas originales de una manera negativa y reduciendo el potencial productivo del suelo.

En ocasiones se describe la degradación de los suelos o de tierras, como si fueran un solo concepto, pero hay diferencias, debido a que el suelo es un componente de la tierra. En consecuencia IGAC, IDEAM, MAVDT (2010), afirman que “La degradación de las tierras corresponde a aquellas condiciones que reflejan una pérdida del equilibrio natural reflejado en la disminución de las funciones ambientales, que a su vez repercute en el debilitamiento de la economía y en el cambio de la estructura social, ocasionado por la ocupación del territorio, el cual propicia la erosión, salinización y/o compactación entre otras; cuando estas condiciones se evidencian en zonas áridas, semiáridas, subhúmedas a secas se denomina Desertificación”

La causa principal de los problemas biofísicos, socioeconómicos y su trascendencia en el calentamiento global se atribuye a la degradación de los suelos, son varios los tipos de degradación destacándose la erosión, la contaminación química asociada a la acidificación, salinización y alcalinización (Gabriels, 2005), la compactación y la disminución y afectación biológica (Loveland & Webb, 2003; Vega & Febles, 2005).

2.1.1. Degradación química de suelos. Se presenta por la acumulación o pérdida de sustancias o elementos químicos que se almacenan o extraen de este. De La Rosa, 2(008); Lee et al (1980); Duffus, (2002), asocian el deterioro químico del suelo a la extracción excesiva de nutrientes o por adiciones de compuestos extraños a ese sistema, generalmente no degradables. Por ejemplo en zonas cercanas a sitios de emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y óxido de nitrógeno (N₂O₄, NO₂), los suelos son afectados por lluvia ácida (Glynn et al, 1999). De otro lado, el uso excesivo de plaguicidas en actividades agrícolas, principalmente productos derivados de los grupos químicos organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides, considerados estos como cuatro como los de mayor acumulación, conllevando a riesgo de degradación de los suelos (Waliszewski et al, 2003; Albert, 1990). El aporte de los plaguicidas a la degradación de los suelos, radica fundamentalmente en su uso extensivo, ya que se aplican en una tercera parte de los cultivos plantados del mundo. (FAO, 2002).

Los metales pesados, relacionados básicamente con los elementos arsénico, cadmio, mercurio, plomo y selenio también contribuyen a la degradación química de los suelos, cuando se acumulan por encima de los niveles normales; pero otros metales pesados como bismuto, indio, y antimonio también pueden causar degradación. El aporte puede provenir de procesos de formación del suelo o por acción antrópica (Fergusson, 1990; Hernández, & Domínguez. 2012; Duffus, 2002; Leiva et al, 2007).

Para la FAO (2002), el aporte permanente e inadecuado al suelo de nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, puede causar acumulación y degradación de los suelos. Pesda et al. (2001), indican que el nitrógeno es uno de los principales contaminantes del agua dada su movilidad en el suelo, en tanto que la acumulación de fosfatos y de potasio tienen efecto salinizante en los suelos.

2.1.2. Degradación física y mecánica de suelos. Se refiere a todos aquellos procesos que resultan en cambios adversos que puedan afectar las condiciones y propiedades físicas de estos. Para López (2002); Christian et al. (2005) y FAO (1994), la preparación de suelos y el uso de maquinaria agrícola son causas principales de la degradación física, que conllevan entre otras a una reducción de la porosidad, y en consecuencia a un deterioro de las relaciones aire-agua en el suelo. Adicionalmente, el exceso de la labranza conlleva a la degradación de la estabilidad estructural del suelo (Lal, 2000). Por efectos de la dinámica de la humedad natural o el manejo del agua en el suelo, puede resultar una capa con un significativo incremento en resistencia a la penetración comúnmente denominada “encostramiento o costra de suelo”, afectando físicamente al suelo (Chartres et al, 1998; Leiva, 1998). Tanto la compactación como el encostramiento impiden el normal desarrollo radical y la emergencia de las plantas, reducen la penetración del agua a través del perfil, aumentan la escorrentía y pueden conllevar a la erosión de las tierras (UNESCO – MAB, 2001).

Para McLauchlan (2006), pese a que se considera la erosión y la sedimentación como procesos naturales, su aceleración por las acciones humanas, debido a fenómenos relacionados con la deforestación, prácticas agrícolas inapropiadas y el sobrepastoreo.

Igualmente, el suelo se degrada físicamente cuando agentes inductores, como el agua (Almorex, et al 2010), el viento (Fraume, 2007), el hielo (Olien, 2002) o el hombre, ejercen presión causando su desprendimiento y arrastre, fenómeno conocido como la erosión. Esta entendida esta como la pérdida gradual del material que constituye el suelo, disminuyendo la profundidad efectiva del perfil (Porta et al, 2003), es usualmente irreversible y resulta ser uno de los peores tipos de degradación (IDEAM, 2010). La erosión conlleva riesgo ambiental (p. ej. contaminación) en áreas aledañas y afecta la producción agrícola (Cadena et al, 2012). Para Gómez (2002), la erosión igualmente está asociada a la pérdida de estabilidad de laderas, cauces y taludes, con grave riesgo para las comunidades cercanas a focos de erosión. Este tipo de degradación es probablemente la de mayor impacto en el país, donde aproximadamente el 50 % de sus tierras están afectadas, principalmente aquellas con producción agropecuaria.

En estudios sobre susceptibilidad de los suelos a la erosión, el IDEAM, identifica que para el año 2000 en Colombia, el 48% de la superficie continental es susceptible a este proceso, igualmente manifiesta que Colombia pierde anualmente 429 millones de t/ha/año (IDEAM 2012).

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente-PNUMA calcula que cerca de 1.200 millones de hectáreas de suelos agrícolas sufren procesos de degradación, de estos, algo más de un millón de hectáreas lo son por efectos de la erosión (Thompson & Troeh, 2002).

La degradación física relacionada con la desertificación que se acentúa en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, reviste la mayor importancia ya que en ellas se pierden prácticamente todas las funciones y servicios ecosistémicos asociados al suelo y por consiguiente es un estado de máxima degradación (LADA,2003; Nachtergaele, et al. 2008.). Esto conlleva a la pérdida de la productividad y a procesos prácticamente irreversibles (o reversibles en el largo plazo). Los datos para Colombia identifican que cerca del 24 % de sus tierras son susceptibles a desertificación. (IDEAM, 2010).

De igual manera, la degradación del suelo depende de fenómenos relacionados con la dinámica del clima, lo cual puede ser particularmente crítico en zonas áridas, semiáridas y sub húmedas secas o en proceso de desertificación (Cabrera, 2011). Las inundaciones también degradan los suelos ya que suprimen temporal y en ocasiones totalmente el área para su producción, cambian

la dinámica de los fenómenos de óxido-reducción, potencial redox), disminuyen el aire del suelo, producen cambios en el pH e inducen una dinámica marcada de la fauna edáfica propia de aéreas bajas en oxígeno (Thompson & Troeh, 2002). Estos procesos se ven acelerados, como lo expresa López, et al. (2008), como resultado de la destrucción de su cubierta vegetal, la erosión y la falta de agua.

El cambio climático genera un impacto ambiental global, de los cuales no se escapa el suelo, es un detonante de los procesos de desertificación y aceleración de la degradación de las tierras agrícolas, es la modificación del clima con respecto al historial climático a una dimensión global o regional (Oreskes, 2004). Son cambios que se producen a diversas escalas de tiempo sobre todos los parámetros meteorológicos: temperatura, presión atmosférica, precipitaciones, nubosidad, etc. En teoría, (son debidos tanto a causas antropogénicas como naturales, (Crowley & North, 1991).

2.1.3. Degradación biológica de suelos. Consiste en la pérdida de materia orgánica por disminución de aportes vegetales, y por el aumento de la tasa de mineralización, que trae como consecuencias la disminución de la macro, meso y microfauna del suelo, afectando las tasas de mineralización, la disponibilidad de nutrientes, la estructura, consistencia y color del suelo entre otras, dicha condición se debe a los malos manejos del suelo en agricultura, el sobrepastoreo y la deforestación (JALDA, 2002), igualmente la disminución de la capacidad de retención de humedad y pérdida de la capacidad de mitigación del cambio climático por la disminución considerable de captura de carbono. (FAO, 2007a).

Como lo manifiesta Havilicek, (2011), el suelo es un ser vivo y se constituye en el hábitat de una gran cantidad de organismos vivos que a su vez son factor clave en la formación y propiedades del mismo. No obstante, esa gran biodiversidad al recibir un aporte de sustancias extrañas bien sea por aguas de riego o por suministro directo o indirecto de metales pesados, detergentes, hidrocarburos o la lluvia acida, entre otros, que causan graves daños y pérdidas a la población biótica del suelo, lo que se traduce en una pérdida de la calidad del mismo.

2.2. Conservación del suelo

La conservación del suelo surge como consecuencia del continuo uso que se le da, busca su protección y la sostenibilidad (FAO, 2003). Inicialmente, los programas de conservación de suelos pretendían casi de manera exclusiva limitarse al control de erosión y a la implementación de algunas prácticas adicionales para la recuperación del recurso. Con el tiempo, estas condiciones han cambiado y se busca establecer programas de prevención de deterioro del suelo, más que actividades de recuperación de este. (SWCS, 1996).

Según Hernández et al. (2009), la conservación del suelo en la agricultura, la ganadería o la silvicultura, es un conjunto de prácticas aplicadas para promover el uso sostenible del mismo. En el mismo sentido, la Sociedad de Ciencias del Suelo de América (SSSA, 2008) precisa la conservación de los suelos como la práctica de usar de manera adecuada el suelo para que este no se deteriore. El programa de desarrollo productivo agrario-rural del Ministerio de Agricultura del Perú (2012) define la “conservación de suelos como un conjunto de actividades inmersas en el enfoque global del manejo del suelo, el agua y la explotación agrícola. Trasciende más allá de los trabajos de control de la erosión ya que contribuyen también al objetivo general de mejorar y mantener la capacidad productiva del suelo, para a su vez lograr incrementar en forma significativa los rendimientos, hacer sostenible la agricultura y en última instancia en función de las aptitudes, limitantes y potencialidades del suelo, evitar su pérdida y/o degradación”.

Para la Universidad de Chile-Ciencias Agronómicas, la conservación de suelos “corresponde al uso de la tierra, dentro de los límites prácticos económicos, de acuerdo a sus capacidades y necesidades, para así mantenerla permanentemente productiva. Es un programa completo de estudios, investigaciones, proyectos, métodos y técnicas conectadas, para remediar, prevenir o reducir la degradación del suelo en una localidad en particular o bajo circunstancias definidas”. (<http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio>. Consultado en abril de 2015).

La política para la gestión sostenible del suelo define la conservación del suelo como el “mantenimiento de sus múltiples funciones y propiedades. La conservación es el resultado de adelantar acciones de generación de conocimiento, preservación, restauración, manejo y

uso sostenible en el territorio, con el fin de prevenir la degradación del suelo y restaurar, recuperar o rehabilitar aquellos degradados. En consecuencia, los suelos deben usarse y manejarse adecuadamente de acuerdo con su aptitud para garantizar su calidad, su diversidad e integridad ecosistémica y ambiental para las generaciones presentes y futuras”. (MADS, 2015).

2.3. Calidad de suelo

El suelo actualmente se debe abordar de manera integral como un componente de un sistema complejo que interactúa armónicamente con los demás elementos que conforman la tierra. Asociado a esa integridad, se involucra el concepto de calidad de suelo, que permite analizarlo más allá de su individualidad, sus interrelaciones con los demás componentes del ambiente de acuerdo a las funciones y usos que se le designen.

El término calidad del suelo se ha venido utilizando desde hace décadas (Alexander, 1971; Warkentin et al, 1977), pero el concepto, como lo expresa Nortcliff (2002), tiene su origen en los años 90, sin que se tenga una definición única. La calidad del suelo con fines de planificación del uso de la tierra para las varias funciones específicas del suelo, es más reciente (Pla, 2012).

La SSSA, (1995; 2008) define oficialmente la calidad de suelo como la capacidad de una clase específica de suelo para funcionar, dentro de fronteras de ecosistemas naturales o manejados, sostener la planta y la productividad, mantener o incrementar el contenido de agua y la calidad del aire, apoyar la salud humana y la vivienda. Concordante con esta definición, Doran et al. (1994) y Doran et al. (1996) plantean que la calidad del suelo es la capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas y el uso del suelo, para sostener la productividad biológica, mantener calidad del medio ambiente, y promover las plantas, los animales y la salud humana.

Harris (1994); Andrews et al (2004); Núñez et al (2010); Sojka et al (2003), coinciden en que la calidad del suelo depende de la dinámica de los elementos que constituyen su formación y del manejo, para que cumpla funciones tanto ecológicas como de productividad.

En términos más simples, Karlen et al (1994) y Larson et al (1994) definen la calidad del suelo como "la capacidad de este para funcionar". Indican que el recurso suelo debe ser reconocido como un sistema dinámico y vivo que emerge a través del equilibrio y la interacción de sus componentes biológicos, químicos y físicos. La calidad del suelo debe conceptualizarse en función de la productividad biológica, la calidad del medio ambiente y la sanidad vegetal y animal.

La calidad hace referencia también a los servicios ecosistémicos que este ofrece y a las funciones que cumple el suelo; estos dos conceptos están íntimamente relacionados pero no son iguales. Los servicios ecosistémicos, como lo plantea Millennium Ecosystem Assessment (2005), relacionan los ecosistemas y el bienestar humano, es decir el beneficio que obtienen las personas de los ecosistemas, especialmente provisión de alimentos y fibras; regulación climática; servicios culturales y servicios de soporte entendidos estos como fotosíntesis, ciclo de nutrientes, formación del suelo, entre otros. En tanto, las funciones del suelo (Bone et al, 2010), se relacionan con producción de biomasa; protección de la humanidad y del ambiente; reserva de genes y base de la biodiversidad; soporte de la estructura socioeconómica.

En el documento de la Política para la Gestión sostenible del suelo - GSS, (MADS-UNAL, 2013; MADS, 2015), destaca la importancia de calidad de suelos dentro de una visión integral de este componente del ambiente y plantea que "los servicios ecosistémicos se refieren a los beneficios del ecosistema como un todo y no únicamente al suelo, mientras que las funciones enfatizan en el papel fundamental que tiene el suelo dentro de los ecosistemas, lo que permite dirigir acciones específicas hacia su conservación".

2.3.1. Calidad del suelo según su función. Los enfoques de calidad del suelo según su función se pueden agrupar en dos grandes categorías, dependiendo de su énfasis: las funciones ecosistémicas del suelo, y las funciones relacionadas con el uso que se le asigne al mismo. La definición del suelo "función" subraya servicios ecológicos del suelo, mientras que la definición del suelo "uso" implica especificaciones de la forma en que se le asigna o determina un tipo de utilidad, de acuerdo al contexto económico o industrial del suelo (Garrigues et al, 2011), p. ej., agricultura, carreteras y construcciones, entre otros. Las concepciones que miran el suelo como

un integrador ecosistémico, están dirigidas básicamente a los procesos de conservar los bienes y servicios ambientales y la preservación integral del recurso.

La calidad inherente resulta de las propiedades innatas del suelo, determinadas por los factores que guían su formación, como el clima, la topografía, la biota y el material parental; su calidad está dada por la evaluación de su vocación, (Garrigues et al, 2012).

Para los ambientalistas, la calidad del suelo puede significar la capacidad para mantener o mejorar la biodiversidad, la calidad del agua, rendimiento del ciclo de nutrientes y biomasa (Mausback et al, 1998; Black et al 2010). En sentido similar, Astier-Calderón et al (2002), indican que “la calidad del suelo y sus parámetros de referencia se pueden ligar al concepto de funcionalidad del ecosistema”, ya que integra e interconecta los componentes y procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo, en una situación determinada. Como lo expresa Nortcliff (2002), la productividad del suelo se refiere a la habilidad de este para promover la productividad del ecosistema, sin perder o alterar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

En esta óptica ecosistémica, según los planteamientos de Navarrete et al, (2011); Nortcliff (2009); Karlen et al (2001), abordaron la calidad del suelo como del ambiente biofísico de este o su capacidad para atenuar los contaminantes ambientales, los patógenos, y cualquier posible daño hacia al exterior del sistema, incluyendo también los servicios ecosistémicos que ofrece como: reservorio de carbono, mantenimiento de la biodiversidad, recarga de acuíferos, entre otros.

Las funciones de uso reflejan la capacidad específica que tiene un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema, para sostener o mejorar la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat, tal como lo plantea el USDA-NRSC (2001). Así, las funciones relacionadas con el uso económico que se le da al suelo se asocian con la producción agraria y demás actividades que prestan servicios sociales y beneficios económicos.

Desde el nacimiento del concepto de calidad del suelo, diferentes enfoques lo relacionaron con las diversas propiedades de este, que contribuyen a su productividad (Canter et al, 1997). En este

sentido, la calidad del suelo para la productividad, comúnmente se define e en términos de suelo su capacidad para la producción agraria y específicamente a la capacidad para sostener y fomentar el crecimiento de plantas con valor comercial. Este concepto también permite definir alertas tempranas de tendencias adversas y problemas potenciales en zonas de cultivo (Bindraban et al, 2000; Veronese et al, 2006), y por lo tanto mejorar la sostenibilidad de la agricultura (Xia et al, 2015).

Garrigues et al (2012), relacionan la calidad dinámica del suelo en los cambios que se derivan de las condiciones y propiedades de este, influenciadas por el uso y por el tipo de utilización específica, principalmente la agrícola.

Desde esta perspectiva, la calidad del suelo puede definirse como "la capacidad o idoneidad del suelo para apoyar el crecimiento del cultivo, sin que se produzca la degradación del suelo o se dañe el medio ambiente". (Gregorich et al, 1995).

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible (MADS, 2015), no hace ninguna división, sino ve el suelo como un integrador eco sistémico, donde convive la parte productiva y la parte ecológica, expresa que existen diversos servicios ecosistémicos asociados al suelo a saber: de provisión (alimentos, agua, maderas y fibras); de regulación (climática, inundaciones, calidad del agua, enfermedades y plagas); servicios culturales (recreación, estética y beneficios espirituales) y servicios de soporte, que mantienen todos los demás servicios (fotosíntesis, ciclo de nutrientes, formación del suelo); reserva de genes y base de la biodiversidad.

Igualmente, el suelo bajo la óptica de los servicios eco sistémicos según lo establece Leiva (2016), permite relacionar los ecosistemas y el bienestar humano y el Millennium Ecosystem Assessment, (2005), lo definen como "los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas"

Las principales visiones de las funciones del suelo para evaluar su calidad, se relacionan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Principales funciones, para evaluar calidad del suelo.

Funciones del suelo para evaluar calidad	Referencia
<p>Medio para el crecimiento vegetal y la productividad. Creación de particiones y la regulación del flujo de agua en el medio ambiente. Memoria ambiental.</p>	(Larson et al, 1994)
<p>Medida de la actividad biológica, la diversidad y la productividad. Regulación y control del agua y el flujo de solutos. Filtración, amortiguación y desintoxicación de materiales orgánicos e inorgánicos. Almacenamiento y reciclaje de nutrientes y otros elementos dentro de la biosfera de la tierra.</p>	(SSSA,1995)
<p>Producción de biomasa. Reactor (filtros, amortiguadores, transformar la materia). Hábitat biológico y reserva genética.</p>	(Blum et al, 1994)
<p>Reciclaje de materiales orgánicos para liberar nutrientes y energía. Mantenimiento de la estructura estable para resistir la erosión hídrica y eólica. Almacenamiento de agua frente a los cambios bruscos de temperatura, humedad, y elementos químicos. El almacenamiento y la liberación gradual de nutrientes y agua. cantidad de energía en la superficie del suelo.</p>	(Warkentin,1995)
<p>Soporte de la estructura socioeconómica (industria, infraestructura, recreación y estética). Reserva de genes y base de la biodiversidad. Agua suministrada y filtrada por los suelos en zonas de recarga de acuíferos. Regulación del ciclo hidrológico, evitando o minimizando eventos extremos, almacenando aguas lluvias y distribuyendo aguas cuenca abajo incluso en épocas de no lluvias. Regulación del clima global y regional. Purificación del aire. Captura de CO₂. Soporte y mantenimiento de la biodiversidad. Producción de alimentos, fibras, medicinas bioenergía. Filtro de aguas lluvias. Mejoramiento de la calidad del aire y la calidad de las aguas subterráneas y superficiales. Hábitat fauna y flora. Conservación de la diversidad. Valor cultural, conservación del patrimonio histórico (conservación arqueológica, paleontológica. Rasgos de la historia humana y del planeta). Ciclado de nutrientes.</p>	(CCE,2002; Bastidas et al, 2008; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Blum, 2005; Bone et al, 2010; Oliveira, et al,2010)

2.3.2. Calidad del suelo y salud del suelo. Los términos "calidad del suelo" y "salud del suelo", han sido utilizados como sinónimos pero diferentes autores consideran que estos conceptos deben diferenciarse. (Karlen et al, 2001; Doran et al, 2000; Doran, 2002; Mueller, 2010).

Para Minami (2009), los términos pueden ser relacionados pero distintos; ese autor identifica calidad del suelo como una correspondencia directa con las posibles funciones y usos de este, y también con la localización y la escala de estudio. Por el contrario, la salud del suelo representa un enfoque más holístico para la comprensión del sistema de suelo, independiente del uso y de los usuarios del mismo.

El término salud del suelo según lo expresa (Doran et al, 2000), hace referencia a la integración de enfoques biológicos, químicos y físicos en el manejo del suelo, para la sostenibilidad a largo plazo de la productividad de los cultivos, con un impacto mínimo en el ambiente. Por su parte Pla (2012), describe los términos de calidad y salud del suelo; afirmando que “la salud del suelo debería utilizarse para referirse a la condición de un suelo como resultado de su manejo, mientras que calidad del suelo suele referirse a la condición y propiedades permanentes del suelo”.

2.3.3. Calidad del suelo y calidad de la tierra. En muchas publicaciones del pasado como lo expresa Pettapiece et al (1995), se han presentado confusiones en la separación de las definiciones de calidad del suelo frente a calidad de la tierra. Ahora se reconoce que los suelos son parte de un sistema medio ambiental más grande, y que la tierra es un término que refleja mejor la integración natural de los suelos, el agua, el clima, el paisaje y la vegetación (Hamblin, 1995; FAO, 1976), por tanto, calidad de suelo debe ser uno de los componentes de la calidad de la tierra.

No hay duda que el suelo debe ser tratado como un elemento más de la tierra, y la tierra como un elemento integrador del ecosistema.

2.4. Indicadores de calidad de suelos

2.4.1. Definición de indicador. El término indicador hace referencia a “Variables derivadas que resumen información sobre un proceso relativamente complejo, una tendencia o una situación, de

una manera fácilmente entendible”, esto es, estimadores objetivos del comportamiento de variables específicas. Los indicadores deben reflejar la dinámica de un problema en el tiempo, ser de fácil cuantificación, relevantes a la situación, confiables, reproducibles, comparables, de bajo costo para su determinación, aceptados y entendidos por el público. (Leiva et al, 2007).

Las ventajas de usar indicadores, como lo expresan el United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service (USDA-NCRS 2001); Leiva (2007), son las siguientes:

- Los indicadores suministran información confiable, y permiten su comparación con valores que tienen la connotación de umbral, de objetivo (meta), de referencia o de comparación.
- Los indicadores conllevan a la definición de un lenguaje común, la identificación de tendencias, generales y prioridades sobre donde se debe actuar o investigar en mayor detalle.

2.4.2. Modelos para definir indicadores. La formulación de indicadores requiere de metodologías científicas, y en ocasiones de procesos participativos con las comunidades.

El campo de la definición de indicadores es amplio, el diseño de estos depende del área de énfasis donde se esté trabajando, pero existen tres modelos de amplia aceptación internacional para estructurarlos:

- Presión-Estado-Respuesta. (P-E-R), (OECD, 1993).
- Fuerza motriz-Estado-Respuesta (F-E-R). (OECD, 2003).
- Fuerza motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (F-P-E-I-R). (AEMA, 2009).

El modelo P-E-R, como lo expresa Leiva et al (2007), se basa en la relación causa - efecto: el subsistema humano demanda recursos del subsistema ambiental, causando Presión sobre este, lo cual conlleva a un estado determinado del ambiente (contaminación, degradación, pérdida del recurso). Ante esta situación, ocurre una respuesta de la naturaleza o del propio ser humano.

Los indicadores de Presión, responden al: ¿Por qué? (causa)

Los indicadores de Estado responden a: ¿Que está ocurriendo? (magnitud)

Los indicadores de Respuesta responden a: ¿Que se hace al respecto? (acciones)

En la definición de indicadores, el P-E-R es un modelo bastante utilizado y relativamente sencillo de usar, en evaluaciones de impacto ambiental y en actividades agropecuarias, es considerado posiblemente el método más conocido para definir indicadores ambientales. (Quiroga, 2007).

En el modelo Fuerza motriz-Estado-Respuesta (F-E-R), los indicadores de Estado y Respuesta, tienen connotaciones similares al modelo P-E-R, pero incluye los indicadores de Fuerza motriz, es decir, aquellas fuerzas o incentivos que mueven a una persona a realizar una actividad. P. ej. Características de los suelos o tecnología disponible. (Leiva et al., 2007).

La ventaja del modelo F-E-R es la inclusión de las fuerzas motrices, que muestran los incentivos o motivaciones de los actores para tomar una decisión que influye en el estado del ambiente además, es un modelo con mayor cobertura, puesto que se pueden definir más fácilmente indicadores sociales, económicos e institucionales; su desventaja radica en no contar con indicadores de presión. (OECD, 2003).

El modelo Fuerza motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (F-P-E-I-R), ha sido desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), (AEMA, 2009). Se fundamenta en que el desarrollo social y económico plantea unas Fuerzas motrices que originan Presiones en el medio, y dan lugar a una serie de cambios en el Estado del ambiente. Consecuencia de estos cambios es la aparición de Impactos sobre la salud, la disponibilidad de recursos, los ecosistemas naturales, etc. Motivado por lo anterior, se producen una serie de Respuestas por parte de los agentes sociales y los poderes públicos destinadas a mejorar la gestión económica y social, a eliminar o reducir esas presiones, a restaurar y recuperar el estado del medio y las alteraciones derivadas de los impactos.

El modelo F-P-E-I-R involucra los modelos P-E-R y F-E-R, así como los efectos adversos de los cambios de estado detectados en la salud y en el comportamiento humano, el ambiente, la economía y la sociedad (impactos). Además permite plantear sistemas de indicadores coherentes

que contemplen de forma integral la problemática ambiental entre el origen de los problemas y sus consecuencias, es un modelo aplicable al análisis integral del ecosistema. (Leiva et al, 2007).

Los modelos antes analizados son de amplia aplicación en la definición de los indicadores de sostenibilidad principalmente en aspectos ambientales y agropecuarios, ya que facilitan la definición de un lenguaje común que orienta las tendencias y determina prioridades sobre dónde y cómo se debe actuar con un mayor grado de detalle.

El empleo de indicadores tratados y analizados bajo diferentes métodos y estructuras de análisis, identifican o reflejan de una u otra forma la calidad del suelo; dichos indicadores son funciones de las propiedades intrínsecas del suelo y factores extrínsecos. Entre las propiedades intrínsecas se tienen las físicas (densidad aparente, estructura, porosidad, textura, infiltración, contenido de agua, profundidad efectiva, compactación), las químicas (pH, conductividad eléctrica, contenido de carbono orgánico y otros nutrientes, contenido de sales) y las biológicas (macro, meso y micro fauna edáfica y terrestre). Entre los factores extrínsecos se destacan aquellos relacionados con el clima (y su cambio actual) y la topografía, y con factores dinámicos que dependen del uso y manejo del suelo, principalmente aplicación de sustancias externas a este, la labranza del suelo y el manejo del agua (Mausbach et al, 1997; FAO, 1997; Doran et al, 1994; Harris, 1994; Cowell, 2000; Lince-Salazar et al, 2012; Pla, 2012).

2.4.3 Los indicadores en la calidad del suelo. El United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service (USDA-NCRS, 2001), recomienda que las evaluaciones de la calidad del suelo se deben llevar a cabo mediante indicadores. Los indicadores de calidad de suelos pueden ser propiedades físicas, químicas, biológicas, procesos y condiciones morfológicas de los mismos, actividades antrópicas como uso de fertilizantes, control de erosión, entre otras.

Los indicadores útiles para evaluar calidad del suelo son aquellos que cumplen al menos las siguientes características. (USDA-NRCS, 2001).

- Fáciles de medir.
- Capaces de medir los cambios en las funciones en el suelo.
- Se miden en un tiempo razonable.
- Accesibles a muchos usuarios y aplicable a las condiciones de campo.
- Sensibles a las variaciones en el clima y la gestión.
- Abarcan las propiedades físicas, biológicas o químicas del suelo.
- Evaluados por métodos cualitativos y / o cuantitativos.
- Sensibles a las variaciones climáticas y de manejo.

Así mismo, como lo expresa Etchevers et al (1999), los indicadores de calidad del suelo deben permitir:

- Analizar la situación actual del suelo con respecto a la funcionalidad específica que se evalúa.
- Identificar los puntos críticos respecto de su sustentabilidad.
- Prever los impactos de una intervención y minimizarlos.
- Ayudar en la toma de decisiones.

Los indicadores de calidad del suelo deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan (Bautista et al, 2004). Así los indicadores se definen con relación al nivel de detalle de las funciones asignadas al suelo, donde cada función es el resultado de la interacción de las diversas propiedades de este; es decir, los indicadores de calidad del suelo son propiedades físicas, químicas y biológicas que pueden ser medidas cualitativa o cuantitativamente y que suministran información acerca de que tan adecuadamente funciona un suelo (Gregorich et al, 1995; SQI, 1996).

Algunos autores como (Lima, et al, 2013; Sánchez-Navarro et al, 2015; De Paul et al, 2015), identifican conjuntos de indicadores que permiten evaluar la calidad del suelo de acuerdo a la función otorgada, destacándose los grupos relacionados con el establecimiento de sistemas de producción, los parámetros limitantes para la caracterización de la calidad del suelo en ecosistemas y la identificación de calidad de suelos y sus rendimientos en cultivos.

2.5. Conceptos relacionados con los indicadores que permiten caracterizar e identificar DCS

2.5.1. Suelo. El suelo es un elemento natural que forma parte del planeta tierra que es un sistema integrado compuesto por la atmósfera, biosfera, hidrósfera y litosfera, cuya interacción entre ellas a través del tiempo forma el suelo. La Convención de las Naciones Unidas y Lucha Contra la Desertificación, por sus siglas en inglés -CCD, define la Tierra, como el sistema bioproductivo que comprende el suelo, la vegetación, otros componentes de la biota y procesos ecológicos e hídricos, que se desarrollan dentro del sistema (UNCCD, 1994).

Específicamente en lo que respecta al suelo, existen definiciones, desde los elementales, hasta las definiciones científicas, que es la que se contempla en adelante.

Como lo expone la Soil Survey Staff (2010), “en su significado tradicional, el suelo es el medio natural para el desarrollo de las plantas terrestres, ya sea que tenga o no horizontes discernibles. El suelo cubre a la superficie terrestre como un continuo, excepto en áreas con afloramientos rocosos, de congelamiento perpetuo, en aguas profundas, o sobre los hielos de los glaciares estériles. En ese sentido, el suelo tiene un espesor que está determinado por la profundidad de enraizamiento de las plantas”.

El suelo, visto bajo el contexto taxonómico, “es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de las tierras, que ocupa un espacio y se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural”.

La palabra "suelo", al igual que muchas palabras comunes, tiene varios significados. En su significado tradicional, el suelo es el medio natural, para el crecimiento de las plantas terrestres, ya sea que tenga o no horizontes discernibles. Este significado es aún el entendimiento común de la palabra, y el mayor interés por el suelo se centra en este sentido. La gente considera importante el

suelo, ya que es soporte de las plantas que suministran alimentos, fibras, medicamentos y otros deseos de los seres humanos y porque filtra el agua y recicla desechos. (Soil Survey Staff, 2014).

El suelo es un componente fundamental del ambiente, natural y finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y micro-organismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones vitales para la sociedad y el planeta. (MADS, 2015).

2.5.2. Clima. La climatología, según el Vocabulario Meteorológico Internacional de la Organización Meteorológica Mundial-OMM (Draghici et al, 2001), es el estudio del estado físico promedio de la atmósfera conjuntamente con sus variaciones estadísticas tanto en espacio como en el tiempo, reflejado en el comportamiento del tiempo atmosférico en un período de muchos años. Implícito en esta definición está la limitación del concepto de clima para el trasfondo atmosférico, un hecho que genuinamente refleja el surgimiento y el desarrollo histórico de la climatología.

Es el tiempo que hace normalmente en un lugar a lo largo de los meses y los años: El tiempo atmosférico se define como el estado en que se encuentra la atmósfera en un determinado lugar y momento constituido por la cantidad y frecuencia de lluvias, la humedad, la temperatura, los vientos, etc. (Rodríguez et al, 2012).

El clima no es un elemento aislado en la naturaleza sino se considera como un sistema climático, la OMM (2011), lo define como “un conjunto interactivo y complejo constituido por la atmósfera, la superficie terrestre, la nieve y el hielo, los océanos y otras masas de agua y organismos vivos”.

2.5.3. Zona climática. Identifica una extensión de territorio o de un lugar geográfico, que presenta unas condiciones de clima predeterminadas por los parámetros de precipitación, temperatura, vientos, relieve, evaporación, vegetación entre otros. En los lugares donde los parámetros climáticos son similares, se presenta una zona climática específica. (OMM, 2011). El clima influye directamente en los procesos básicos de los factores formadores del suelo en la actividad biológica y en el relieve; a nivel de la dinámica propias del recurso influye en la mayoría de los procesos edáficos, especialmente en la disponibilidad hídrica, flujo de nutrientes, actividad biológica, densidad, lavado de nutrientes y la erosión. El tipo de clima define tipos de vegetación,

desarrollo de ecosistemas y mantenimiento integral de los recursos naturales. La influencia del clima cuando se asocia a relieves de montaña, altas pendientes y pocas coberturas vegetales, puede conducir a fenómenos de erosión acelerados; cuando el clima se asocia a relieves planos, puede conducir a procesos de inundación. (Harmeling & Eckstein, 2013; IFPRI, 2009).

2.5.4. Aridez. Es una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región, verificado a través del Índice de Aridez (IA). Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial (IDEAM, 2010).

El índice de aridez está íntimamente relacionada con la desertificación, la cual ha sido definida en la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación UNCCD (1994), como la degradación de la tierra que ocurre en las zonas áridas, semiáridas, secas y subhúmedas causada por una combinación de factores climáticos y actividades humanas.

Las tierras o ecosistemas áridos se definen, según UNCCD, por un rango anual de P/ETP comprendido entre 0,05 y 0,75. Si bien existen objeciones científicas para el uso de estas relaciones, así como también para los rangos a que se aplican, se ha considerado que son aceptables. Es necesario notar que los verdaderos desiertos ($P/ETP < 0,05$) no son parte de las tierras áridas, excepto si reciben un abastecimiento adicional de agua (LADA 2003; FAO-GEF-UNCCD-UNEP. WOCAD, 2007; Nachtergaele et al, 2008). La aridez y su efecto en el suelo se ve reflejada por condiciones de escasa vegetación, zonas climáticas extremas relacionadas con altas temperaturas y bajas precipitaciones, suelos poco evolucionados, cuyo efecto se traduce en una disminución combinada del suelo, el agua, la flora, la fauna y la dinámica del medio natural, es decir, en una pérdida paulatina de los ecosistema y sus funciones ecológicas.

2.5.5. Geomorfología. Como lo expresa Duque (2003), la geomorfología está relacionada con elementos estructurales (que atiende a la arquitectura geológica) y climática (que se interesa por el modelado), incorpora las técnicas estadísticas sedimentológicas, en laboratorio y, sobre todo, es una ciencia que atiende múltiples factores e inserta el estudio del relieve al conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física.

Jungerius (1985), define el concepto de geomorfología como “el origen de las formas de terreno como una función de estructura, proceso y tiempo de formación”, excluía el suelo y la biota como factores integrantes de la geomorfología..

Una definición muy común la plantea Villota (1984), "Rama de la geografía general que estudia las formas superficiales de la tierra, describiéndolas, ordenándolas sistemáticamente e investigando su origen y desarrollo".

Desde un punto de vista práctico, se define la geomorfología como la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre; según las partes que la componen, "geo" es tierra, "morfo" es forma y "logía" es tratado o estudio. (Duque, 2014).

La geomorfología cubre una amplia parte del marco físico de formación de los suelos a través del relieve, la morfodinámica de superficie, el contexto morfoclimático, los materiales no consolidados o alterados que sirven de material parental a los suelos. (Elizalde, 2009).

Para Zinck (2012), Las geo formas se distribuyen generalmente en el paisaje en sistemas controlados por un agente principal de formación (p.e. agua, hielo, viento). De lo anterior resultan familias de geoformas asociadas en patrones que se repiten en el paisaje. La geomorfología contribuye con los suelos ofreciéndole balances de materiales en la superficie terrestre, un marco natural de formación y evolución, información sobre características de ellos como textura, estructura, estabilidad de agregados, contenido de hierro, entre otras, las cuales desempeñan un papel importante en la resistencia (o no) de los materiales de superficie a los procesos morfogenéticos, los cuales al asociarse al tipo de clima, sus condiciones de aridez, la pendiente y otros elementos, dinamiza o no su evolución y pérdida.

2.5.6. Pendiente. La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. La pendiente se mide calculando la tangente de la superficie. La tangente se calcula dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal. (Foote, 1995).

Pendiente del terreno en un punto dado como el ángulo que forma el plano horizontal con el plano tangente a la superficie del terreno en ese punto. Es, en definitiva, la inclinación o desnivel del suelo. La pendiente se mide en ángulo, pero es más común representar la pendiente del terreno como un valor de tanto por ciento o (%).

www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos. Consultado octubre 2015.

La pendiente es un indicador general de la ubicación del suelo en el paisaje y su grado evolutivo, a mayor pendiente menos evolución, determina algunas propiedades principalmente físicas de los suelos como la disponibilidad de agua en el perfil, la profundidad efectiva y el drenaje natural; desde el punto de vista de la degradación a mayor pendiente mayor susceptibilidad a la erosión, y remociones en masa. (Zúñiga, 2010), establece que a mayor pendiente, mayor dificultad en el laboreo y el establecimiento de prácticas agronómicas y culturales. Hay una correlación directa entre al pendiente y la clase agrológica, se define una mayor utilidad agrológica entre menor sea la pendiente que posea el suelo.

2.5.7. Fertilidad. Para Ojeda et al (1996), es la capacidad de un suelo para suministrar todos y cada uno de los nutrientes que necesitan las plantas en el momento, cantidad y forma adecuados. Otra definición planteada por Brulselma et al, (2008), citado por Sotomayor (2014), plantea que la fertilidad de suelos es la habilidad de un suelo (a través de la interacción de las numerosas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo) para proveer nutrimentos esenciales a una planta en crecimiento.

Según (Kass, 1998), un suelo aporta fertilidad o se considera fértil, cuando tiene la capacidad de proveer todos los nutrientes que necesitan las plantas en cantidad y en un balance adecuado; su textura, estructura y drenaje son satisfactorios para el desarrollo adecuado de las raíces y las sustancias tóxicas presentes en él están en cantidades que no pueden restringir el crecimiento de las plantas o su rendimiento.

La fertilidad de un suelo está en función del grado relativo de evolución de estos, a mayor grado de evolución, menor nivel de fertilidad (Jaramillo, 2004); en Colombia donde los Entisoles,

Inceptisoles y Oxisoles, cubren el 85.6 % del territorio nacional, la fertilidad juega un papel importante en el ciclo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas, igualmente está asociada al nivel de Carbono orgánico que a su vez se relaciona con el contenido de Materia Orgánica del Suelo- MOS y a la dinámica de su mineralización. Los suelos de Colombia poseen fertilidad muy baja en un 32.3%; baja 44.1%; moderada 13.5% y tan solo el 7.4% posee fertilidad Alta y muy alta (IGAC, 2016).

La fertilidad de un suelo se ve afectada por acciones de altas precipitaciones en zonas de lluvias tropicales los cuales se da un proceso muy activo de lixiviación, donde los nutrientes no son retenidos adecuadamente provocando el agotamiento y la reducción de la actividad biológica, lo cual a su vez provoca la disminución de toda clase de producción y el desarrollo de las plantas (Llano, 2006). En el mismo sentido, en Colombia, se evidencia que en suelos erosionados, en áreas donde se desarrolla la agricultura y ganadería extensiva, zonas en ampliación de la frontera agrícola y deforestación descontrolada, se ve un agotamiento en la nutrición natural del suelo, lo que se traduce en una degradación por fertilidad. (Campo, 2003).

2.5.8. Salinidad. La salinización se entiende como un proceso pedogenético natural, que puede ser incrementado por el hombre de acuerdo con sus actividades agronómicas (Hernández et al, 2006).

Suelos salinos son aquellos que tienen excesivas cantidades de sales al punto que perjudican el normal desarrollo de las plantas propias del entorno natural y en especial aquellas especies introducidas; pueden afectar macro y microorganismos o causar el deterioro de las propiedades hidrodinámicas y específicamente la permeabilidad del suelo, lo cual causa un efecto negativo al reducir los servicios ambientales. (PTND, 2010; en IGAC y/o, 2010).

Dehaan et al (2002), identifican la salinidad del suelo como la concentración de sales en su perfil que produce la disminución y pérdida de su capacidad productiva, por el efecto adverso en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Para el estudio de la salinidad, los suelos se clasifican en salinos, sódicos y salino – sódicos.

Suelos Salinos: Se definen como los que contienen en la zona radical una cantidad de sales disueltas en la solución del suelo (elevada Conductividad Eléctrica - CE) suficientemente alta para restringir el desarrollo de los cultivos. La reacción de estos suelos va de neutra a ligeramente alcalina. El pH puede variar entre 7 y menos de 8,5. El PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) se mantiene por debajo de 7, por lo que la estructura no se ve afectada. Dehaan et al (2002).

Suelos Sódicos: Se definen como los que contienen en la zona radical suficiente sodio adsorbido por el complejo de cambio para desarrollar propiedades físicas y químicas desfavorables, restringiendo el normal crecimiento de las plantas. La reacción de estos suelos varía según el PSI y la presencia o ausencia de CO^- ; o CO_3 . El pH va desde 8 hasta más de 9,5. El contenido en sales de estos suelos es generalmente bajo ($\text{CEe} < 2$ mmhos/cm). Dehaan et al (2002).

Suelos Salino Sódicos: Son aquellos que contienen una cantidad de sales solubles, (medidas por la CEe), y un PSI suficientes para restringir el crecimiento de las plantas. Como límite se adoptan: $\text{CEe} > 2$ mmhos/cm y $\text{PSI} > 7$. La reacción de estos suelos varía con su grado de salinidad, y con la presencia de CO ; o CO_3 . Dehaan et al (2002).

El instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM, indica que el problema de salinización en Colombia alcanzaba para el año 1981 aproximadamente el 7.7% del país (87.000 km^2). Se tomaron como puntos de referencia espacial los ecosistemas secos localizados en valles interandinos, altiplanos en la región caribe y en la región del pacífico. De acuerdo a la última medición y seguimiento a la degradación de los suelos en Colombia por salinización mostradas en el año 2015, las áreas calificadas con clase Alta, en donde los suelos presentarían procesos de salinización evidentes debido a condiciones ambientales extremas y en la mayoría de casos asociados a actividades antrópicas, requieren planes de uso, manejo y adaptación para mitigar los procesos de salinización, cubren 5.639.245 ha; los niveles de salinización Muy alto, en suelos donde los procesos de salinización son evidentes y más acelerados debido a condiciones naturales y a actividades antrópicas cubren un área de 260.055 ha. Ya existe una relación directa entre salinización y degradación de suelos y tierras. Estas áreas requerirían de planes de uso y manejo muy estrictos y posiblemente de alta inversión. Actividades antrópicas mal establecidas podrían acelerar fácilmente la degradación. (IDEAM, 2015).

2.5.9. Materia orgánica – MO. La materia orgánica se define como el total de compuestos orgánicos presentes en el suelo, incluida la biomasa microbiana y vegetal, pero excluyendo la macroflora y la macrofauna. Los componentes de la materia orgánica del suelo se pueden dividir en tres fracciones: Fracción orgánica biodegradable, las sustancias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina), y la biomasa microbiana. (Porta et al, 2014). La materia orgánica hace parte de la constitución pedogenética del suelo, favorece los procesos de estructura, porosidad, color, temperatura y conductividad hidráulica del suelo; es la fuente y energía básica de los organismos del suelo (macro, meso y microfauna; que descomponen los desechos vegetales y que los mineralizarlos convirtiéndolos en materia orgánica estable o humus, de tal forma que cumplen un papel fundamental en la bioformación de suelo y su contribución con los procesos de mineralización de los nutrientes y la capacidad de cambio de este.

La disponibilidad de la MO de un suelo está principalmente en función de la cobertura vegetal, la altura sobre el nivel del mar, su ubicación en la geoforma y el clima, a menor temperatura menor mineralización, en ambientes totalmente inundados, no hay mineralización y por el contrario se suceden procesos de acumulación y putrefacción. El contenido de materia orgánica y las diferentes fracciones presentes también varían de acuerdo al clima. En general, a mayor humedad y mayor temperatura, mayor grado de mineralización. A medida que los suelos pasan de bosques a matorrales, praderas y por último suelos agrícolas, la MO se ve disminuida, si esta no se repone. En Colombia, los suelos dedicados a agricultura intensiva, muy labrados, con altos niveles de precipitación y en climas cálidos, son los más deficitarios en materia orgánica. (Llano, 2006). Los niveles de MO de un suelo, se miden a través del contenido de Carbono Orgánico (CO), en Colombia los contenidos de CO extremadamente bajos están en el 17.3% de los suelo; contenidos de CO muy muy bajo cubren 28.9%; bajo 25.5% y medio 11.8%, tan solo el 12.5% tiene contenidos de CO alto o muy alto; en general los suelos Colombianos son deficientes en MO. (IGAC, 2016).

2.5.10. Profundidad efectiva. La definición original del solum se denominaba como la capa superficial del suelo (horizonte A) junto con el subsuelo (E y B). El horizonte C, se definía como estratos con poca formación edafogenética. De este modo, la profundidad efectiva del suelo fue considerada como el espesor del suelo. Sin embargo, la presencia de raíces y la actividad biológica que frecuenta a menudo en horizonte C, realza la importancia de incluir este horizonte en la

definición de profundidad del suelo. (<http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos>. Consultada noviembre de 2015).

De manera general, la profundidad efectiva del suelo se mide hasta donde se identifique su evolución, principalmente hasta el horizonte B, o hasta donde logren penetrar las raíces sin que tengan impedimentos significativos, como un nivel freático, una capa compactada, pedregosidad u otras.

Su importancia radica en que es el espacio que tiene las raíces de las plantas para disponer de agua, nutrientes y aire, y todos los procesos termodinámicos y bioquímicos que en él se desarrollan, a mayor profundidad, mayor volumen de suelo aprovechable. En un suelo profundo las plantas resisten mejor la sequía, debido a que tienen mayor capacidad de retención de humedad. Igualmente, la planta puede disponer de los nutrimentos almacenados en los horizontes profundos del subsuelo, si éstos están al alcance de las raíces.

La profundidad efectiva se ve limitada por los fenómenos de erosión, los niveles freáticos, la labranza inadecuada que produce fenómenos de compactación, el uso desmedido de maquinaria agrícola y el aporte de elementos externos que puedan trasladarse y trastocarse a través del perfil.

2.5.11. Compactación. El término “compactación de suelo” se refiere a un aumento en su densidad, o disminución de volumen, debido a fuerzas externas, que se presentan en el suelo superficial (capa arable), o más comúnmente a la profundidad de las repetidas labores de cultivo; es provocada por la combinación del deterioro gradual en los niveles de materia orgánica y de la actividad biológica en suelos cultivados, y por las labores mecánicas de cultivo, tráfico de maquinaria y animales (Pla, 1996).

El mismo autor señala que, el principal impacto de la compactación es la reducción del volumen y la redistribución del tamaño de poros. Estos cambios afectan en mayor o menor medida la capacidad de aireación e intercambio gaseoso, retención de agua, conductividad hidráulica, resistencia mecánica a la penetración, con el consecuente efecto sobre los procesos químicos y biológicos.

La compactación del subsuelo según lo manifiestan Lobo & Pulido (2013), favorece también la erosión en cárcavas, y los deslizamientos y movimientos en masa de suelo en zonas de alta pendiente y clima húmedo o con lluvias concentradas, al restringir la percolación profunda del exceso de agua infiltrada, que puede así llegar a saturar el suelo por encima de la capa compactada, favoreciendo los fenómenos de escorrentía.

Por otra parte, la compactación del suelo puede ser caracterizada evaluando varias propiedades físicas del suelo como: densidad aparente (mg m^{-3}), espacio poroso total (%), distribución de tamaños de poros (%), conductividad hidráulica saturada (cm h^{-1}), resistencia mecánica a la penetración (MPa). Los parámetros más directamente relacionados con el proceso son: la densidad aparente y la porosidad total, sin embargo, su uso como indicadores de compactación no permite comparar diferentes suelos, ni hacer las mismas interpretaciones para todos los suelos, entre otras porque esas propiedades dependen de la textura del suelo.

Como es la forma más seria de degradación de suelos causada por las actividades agrícolas convencionales, su ocurrencia es previsible y controlable, no solo es un problema del territorio Colombiano sino de carácter mundial.

En los suelos agrícolas; es un poco difícil de localizar y medir, dado que se da dentro de la superficie del suelo dañando la estructura y los demás procesos asociados a esta. Afecta directamente el desarrollo de las plantas empezando por la germinación de la semilla, el crecimiento y distribución radicular, con crecimientos característico, se afecta la cantidad y la dinámica biológica, concurrente con la mineralización de los nutrientes y por ende el crecimiento de las plantas. (Brammer, 2000).

2.5.12. Erosión. La erosión (del latín erosio = roedura), consiste en “una pérdida gradual del material que constituye el suelo, al ir siendo arrastradas las partículas (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que van quedando en superficie” (Porta et al, 2003). Para Fraume (2007), la erosión del suelo es la destrucción, deterioro y eliminación del suelo, por la acción de los elementos, como la abrasiva ejercida por el agua de escorrentía superficial, es decir ríos y torrentes.

En el mismo sentido Suárez (1980), define la erosión de forma amplia, como un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento.

La erosión natural o geológica es un proceso natural que y continuo, a pesar de todo aquello que haga el hombre para evitarlo; pero la erosión que usualmente interesa, es aquella cuyo proceso es anormal e indeseable, que la causa el hombre a través de su dinámica, y es susceptible de ser corregida (Sibello, 2013).

Algunos efectos asociados a los procesos erosivos los describen Lal (2000; Calatrava & Rosua (2004); Rajadel et al (2003); Vega (2006); Walling, et al (2002); Amézquita et al (2004), indican que la erosión puede convertir a regiones productivas en estériles y conllevar al desplazamiento de la población por fenómenos erosivos, desequilibrio de los ecosistemas, disminución de infiltración, pérdida de la fertilidad del suelo, pérdida de la cobertura vegetal del suelo, huellas en los terrenos como surcos, cárcavas, deslizamientos, socavones, sedimentación de ríos y embalses, eutrofización de las aguas, pérdida de la producción, daños en la infraestructura, migración de especies, y muchos costos económicos a las naciones, entre otros.

Para Colombia, los primeros datos generales sobre erosión los propuso en antiguo Instituto Nacional de los Recursos Naturales- INDERENA en el año de 1978, bajo el estudio denominado “Estudio de la Intensidad de la Erosión en Colombia”, allí se muestra que el país está afectado por algún grado de erosión en 860.000 km²; con una década más tarde, Montenegro y Olmos (1988), identificaron que 56’543.796 ha, del territorio Colombiano están afectadas por algún grado de erosión; con posterioridad (Mendivelso, et al 1998), identifican que el territorio de Colombia presenta algún grado de erosión en un área de 56’507.394 ha. Los datos más recientes de erosión en el país los dispuso el (IDEAM, 2001), donde identifica que 52’877.562 ha, están siendo afectados por algún grado de erosión, información que está en proceso de una nueva actualización en el momento.

2.5.13. Coberturas y usos del suelo. La cobertura de la tierra es una característica que se observa físicamente sobre la superficie terrestre e incluye tanto la vegetación como los cuerpos de agua y las construcciones, entre otras. El uso de la tierra se define como el conjunto de resultados originados por la intervención cíclica o permanente del hombre sobre los recursos que hacen parte de aquella, con el fin de satisfacer sus necesidades. (IGAC, 2007a)

En tanto, los usos del suelo hacen referencia a todas las actividades o las funciones que se desarrollan sobre la superficie del suelo realizadas por el hombre, de forma parcial o permanente, con la intención de cambiarla o preservarla, para obtener productos y beneficios. Por ejemplo: la minería, la agricultura, la pesca, etc. (<http://geocvc.co/pdf/GuiaCoberturaUso.pdf>, consultada en diciembre de 2015).

Para Colombia, los datos más consolidados de coberturas y usos del suelo registrados por el IGAC, (2016), identifican que del total del área del país que asciende a 114'174'800 ha, el área establecida en actividades agrícolas cubren el 4.7%; las actividades ganaderas ocupan 30.6%; las coberturas en bosque naturales el 53.3 % y en bosque fragmentado el 4.4%; las demás áreas que cubren el restante 11.5%, corresponden a aguas superficiales, áreas en nubes y zonas urbanas.

2.5.14. Cuenca hidrográfica. Entendida esta como “Unidad de territorio donde las aguas fluyen naturalmente conformando un sistema interconectado, en la cual interactúan aspectos biofísicos, socioeconómicos y culturales” (IDEAM, 2004). Desde el punto enteramente físico, la cuenca hidrográfica es un espacio del territorio drenado por un único sistema hídrico, que drena sus aguas a un río principal, a otro río más grande, a un lago o finalmente al mar; la divisoria de las aguas está definida por la línea de las partes más altas de un terreno (FAO,2007).

Para Colombia, según los lineamientos del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, se estableció el ordenamiento territorial ambiental estructurado a través de espacios geográficos naturales denominados Cuencas Hidrográficas, para ello a través del Instituto del IDEAM, en el año de 2004, se formularon los mecanismos para su ordenamiento en un documento de versión inicial del denominada “Guía Técnico Científica Para La Ordenación y Manejo De Cuencas Hidrográficas En Colombia”, un segunda versión más actualizada de este documento se

publicó en el año 2008 y una más actualizada en el año 2014, con el nombre de “Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCAS”. (IDEAM, 2014). Dicho documento da las orientaciones para el Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas, partiendo de un análisis inicial y documental llamado aprestamiento, como etapa anterior al ajuste de las condiciones ambientales (recursos naturales y sociales), en la etapa de diagnóstico, base fundamental para determinar la zonificación ambiental y posteriormente analiza los escenarios en función del estado actual de los recursos naturales y su potencial uso, para finalmente, hacer la formulación de proyectos que permitan hacer una adecuada administración y su uso sostenible de los recursos naturales que allí presentan.

2.6. Conceptos asociados a los mecanismos de evaluación de DCS

La evaluación de los DCS, es un procedimiento complejo donde las variables o indicadores utilizados poseen diferentes niveles categóricos que interactúen entre sí, de una forma acumulativa. Dado el volumen de información, el proceso de análisis exige una combinación de métodos estadísticos y espaciales, que finalmente permita definir zonas que cumplan con algunas condiciones para ser declarados DCS. La parte conceptual de los métodos utilizados se describe a continuación.

2.6.1. Método estadístico Monte Carlo. El método estadístico de Monte Carlo, es una técnica de análisis numérico que se basa en el uso de secuencias de números aleatorios para muestrear los valores de las variables de probabilidad de un problema determinado (Davison, 2003). En efecto, con mucha frecuencia el número de estados posibles del sistema es tan elevado que hace imposible calcular valores promedio sumando sobre todos los estados, por lo que se opta por tomar una muestra y estimar los valores promedio a partir de ella. Los valores muestreados se obtienen a partir de las distribuciones de probabilidad de cada variable. La solución al problema planteado se estima analizando los valores de la muestra a través de métodos estadísticos. (López, 2008).

2.6.2. Concepto de Sistemas de información geográfica. Conjunto de metodologías, herramientas y personas, que actúan lógicamente, coordinada y sistemáticamente para almacenar, desplegar, consultar, analizar y modelar datos geo - espaciales, de tal manera que sirva como información base para la toma de decisiones. (ICDE, 2016, IGAC. Oficina CIAF, 2010).

2.7. Distritos de conservación de suelos - DCS

No hay una definición universal de Distrito de Conservación de Suelos - DCS, pero si existe una conceptualización básica y genérica únicamente del término “distrito” desde el punto de vista gramatical y bajo la óptica del ambiente geográfico. De manera puntual el concepto de DCS, está propuesto para el ámbito del territorio Colombiano, condición que más adelante se detalla.

En términos amplios, el diccionario de la Lengua Española RAE (2011), define “Distrito” como una palabra que proviene del latín “*districtus*, de *distingere*”, separar. Indica que es cada una de las demarcaciones en que se subdivide un territorio o una población para distribuir y ordenar el ejercicio de los derechos civiles y políticos, o de las funciones públicas, o de los servicios administrativos. En sentido geográfico, el concepto de Distrito reconoce su origen en el vocablo latino medieval “*districtus*”, siendo su significado recoger. Sin embargo a su vez, “*districtus*” deriva del verbo latino “*distingere*” que se refiere a juntar lo que se encuentra disgregado. Se aplica a las zonas geográficas que presentan ciertas características comunes, sobre todo en su cercanía, lo que las reúne en unidades político-administrativas, como subdivisiones dentro de unidades jurídico-políticas y administrativas mayores, provincia, comarca o población. (SSSA, 2008).

2.7.1. Los distritos de conservación de suelos en el mundo. A nivel internacional, algunos países de América contemplan en su legislación la creación y mecanismos para la operación de los DCS, pero en muy pocos de ellos se han implementado. En el único país donde operan con amplia experiencia y cuya gestión ha permitido su consolidación es en los Estados Unidos. El Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), establecido por la ley de reorganización del Departamento de Agricultura (USDA) en 1994, a través de “La Asociación Nacional de Distritos

de Conservación (NACD), operan 3.000 distritos de conservación de suelos en todo el país. (http://www.nrcs.usda.gov/partners/for_homeowners.html. Consultado en Marzo de 2015).

Los distritos de Conservación de suelos en los Estados Unidos fueron inicialmente plasmados en una ley de 1.936 y se consideran una iniciativa organizacional de colaboración entre la sociedad civil y el Estado para trabajar de manera conjunta en el establecimiento de medidas referidas al uso de las tierras en el distrito de interés, con el fin de conservar el suelo, prevenir y controlar su erosión y mejorar la gestión y la productividad. Fueron desarrollados para proporcionar un esfuerzo coordinado para identificar temas prioritarios, encontrar soluciones y lograr un cambio en los suelos. Se entiende que los distritos de conservación de suelos complementan y apoyan los programas de conservación del Natural Resource Conservation Service - NRCS. En ese país los DCS se asocian principalmente con comunidades indígenas. (http://www.nrcs.usda.gov/partners/for_homeowners.html).

En Argentina, el boletín oficial de Leyes Nacionales de la República, mediante la ley 22.428 de 1981, en el artículo 1, establece: “Declarase de interés general la acción privada y pública tendiente a la conservación y recuperación de la capacidad productiva de los suelos”, y el artículo 3, “las respectivas autoridades de aplicación podrán declarar Distrito de Conservación de Suelos toda zona donde sea necesario o conveniente emprender programas de conservación o recuperación de suelos y siempre que se cuente con técnicas de comprobada adaptación y eficiencia para la región o regiones similares”. Sin embargo, bajo esta condición, en Argentina no se han identificado con precisión DCS.

En Chile, como se expuso en el Simposio Internacional Legislación y Derecho Ambiental (2005), se crearon mediante la ley 18.378 de 1.962 los “Distritos de Conservación de Suelos, Bosques y Aguas”, para los dueños, poseedores o tenedores de predios “erosionados o expuestos a un inminente riesgo de erosión”, pese a que se normatizaron hace más de 50 años, aún no están definidos. OEA- IICA (2001), consideran que un análisis más detallado de este instrumento y, posiblemente una modificación, podrían dar inicio a un manejo más adecuado de los suelos de ese país.

Cabral et al (1994), indican que dentro de las leyes estatales agropecuarias de México, existe la ley 171, de 1.962 “*Ley de Incremento y Protección del Maguey Fino para el Estado de Tlaxcala*”, y en sus apartes dice: ”La plantación del maguey fino será efectuada preferentemente por los ejidatarios y los propietarios agrícolas, en los terrenos comprendidos dentro de los Distritos de Conservación del Suelo y Agua, aprovechando los bordos a nivel trazados por el personal comisionado por el Gobierno Federal a través de las delegaciones de Conservación del Suelo y Agua de la Secretaría de Agricultura y Ganadería y del Departamento de asuntos Agrarios y Colonización, Gobierno Estatal, Ayuntamientos, Asociaciones Agrícolas y por los particulares”. Como se observa, en ese país es una norma muy puntual para un sistema productivo específico.

En la estructura de ordenamiento del territorio de Puerto Rico y Guatemala, se han identificado leyes que regulan los DCS, pero que aún no se tienen estadísticas ciertas del número de ellos ni del número de hectáreas que cubren. (OEA- IICA, 2001).

2.7.2. Distritos de conservación de suelos en Colombia. El primer concepto sobre DCS está descrito en la legislación Colombiana en el decreto ley 2811 de 1.974 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente). En el capítulo IV, artículo 324, se ordenó hacer la identificación de los distritos de conservación de suelos del país, entendidos como “El área que se delimite para someterla a manejo especial orientado a la recuperación de suelos alterados o degradados o la prevención de fenómenos que causen alteración o degradación en áreas especialmente vulnerables por sus condiciones físicas o climáticas o por la clase de utilidad que en ellas se desarrolla”.

Posteriormente, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR, mediante acuerdo 16 de 1.998, definió los Distritos de Conservación de Suelos y restauración ecológica como “Aquellos suelos que han sufrido un proceso de deterioro ya sea natural o antrópico, diferenciado de la explotación minera y que ameritan su recuperación con el fin de rehabilitarlos, para integrarlos a los suelos de protección natural o de producción”.

En las dos definiciones mencionadas, se toma como punto de partida el estado del suelo según su condición actual. Sin embargo, la ley 2811/74 los define en áreas de suelos que estén degradadas

y en aquellas vulnerables que pueden ser degradadas por fenómenos de origen natural o antrópico, mientras que la citada resolución de la CAR, los define solamente en áreas de suelos degradados.

Una tercera definición se encuentra en el decreto 2.372 de 2.010, ratificada en el decreto 1076 de 2.015, donde definen los DCS como: “Espacio geográfico cuyos ecosistemas estratégicos en la escala regional, mantienen su función, aunque su estructura y composición hayan sido modificadas y aportan esencialmente a la generación de bienes y servicios ambientales, cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su restauración, uso sostenible, preservación, conocimiento y disfrute. Esta área se delimita para someterla a un manejo especial orientado a la recuperación de suelos alterados o degradados o la prevención de fenómenos que causen alteración o degradación en áreas especialmente vulnerables por sus condiciones físicas o climáticas o por la clase de utilidad que en ellas se desarrolla”. Este enfoque de distritos de conservación de suelos, busca definir cualquier tipo de áreas de suelos estén o no estén degradadas, enfatizando en aquellas que deben cumplir la función de bienes ambientales, más que servicios económicos.

En general se puede decir que la definición de la ley 2811/74 integra de una u otra forma las definiciones de la CAR y el decreto 2372/2010 y 1076 de 2015. Todas buscan definir áreas de suelos, por una parte aquellos suelos degradados; por otra, definir áreas que por alguna condición puedan llegar a degradarse (acción preventiva - decreto Ley 2811/74), o para que cumplan la función específica de preservar y conservar los bienes servicios ambientales, como expresamente lo indica el decreto 2372/2.010 y 1076 de 2.015.

Las acciones específicas que ordena la ley para el gestor y administrador del recurso suelo en relación a los DCS, son las siguientes:

- a) Crear, administrar y reglamentar los DCS;
- b) Elaborar los planes de rehabilitación y manejo de esos distritos y velar por su correcta ejecución;
- c) Coordinar la ejecución de los planes de asistencia técnica y crédito en dichos distritos;

- d) Intervenir en las actividades que se realicen dentro del distrito, especialmente las de aprovechamiento de recursos naturales y la construcción de obras para evitar que contraríen los fines para los cuales se creó el distrito;
- e) Tomar las demás medidas que le asignen la ley o los reglamentos.

Además, se identifican las responsabilidades de los propietarios de terrenos ubicados en un DCS, que están obligados a aplicar las medidas y a ejecutar y mantener las obras previstas en los planes de rehabilitación y manejo.

➤ **Experiencias de áreas declaradas como DCS**

Como experiencias en la identificación de áreas definidas como DCS en Colombia, se tiene que en el año de 1974, recién expedido el Código Nacional de los Recursos Naturales, en su momento el Instituto Nacional de Recursos Naturales – INDERENA, autorizó al Instituto Colombiano de la Reforma Agraria- INCORA, posteriormente transformado en el Instituto Colombiano Para el Desarrollo Rural-INCODER y actualmente Agencia Nacional de Tierras, a través del acuerdo 20 del 23 de septiembre de 1974, para sustraer de la Zona de Reserva Forestal de la Amazonía y adjudicar un área de terreno baldío situado en jurisdicción de Caquetá y de la Comisaría Especial del Amazonas con un área de 1.500.000 ha, con esta sustracción, se autorizó la creación del Distrito de Conservación de Suelos y Aguas del Caquetá con un área 300.000 hectáreas. Sin embargo, desde la expedición de la norma no se han realizado reportes a cerca de esta área. (INDERENA, 1974; http://www.ideam.gov.co/informacion_ambiental.html. Consultado en mayo de 2015).

Sumando a lo anterior, después de la formulación de la Ley 99 de 1993 que crea el Ministerio del Ambiente y las Corporaciones Autónomas Regionales - CAR, se han declarado 10 zonas o áreas del territorio Colombiano como DCS, que son: Guacas Rosario, Ciénaga de Bano, Barbas Bremen, Campoalegre, Distrito De Conservación De Suelos Barbas Bremen-Quindío, Alto del Nudo, Rio Grande, La Marcada, Kirpas-Pinilla-la Cuerera, Tibaitatá, Ciénaga de Corralito y Distritos de conservación de Suelos y Aguas del Caquetá; cubriendo un área de 43.701,59 ha. En total el área declarada en el territorio Colombiano como DCS antes y después de la Ley 99 de 1993, asciende

a 343.701.59ha. Estos distritos solamente se identifican por resolución administrativa de creación del distrito, pero no fueron delimitados bajo un proceso metodológico. La mayoría indica razones para conservar las zonas en sus condiciones actuales, pero no se especifica puntualmente su actuación, ni que métodos se usaron en su delimitación. Ver tabla 2.2 y mapa 2.1.

Tabla 2.2. Distritos de conservación de suelos registrados en Colombia.

Distrito de Conservación de Suelos	Fecha del Acto	Autoridad Regional	Área (ha)
Distritos de conservación de Suelos y Aguas del Caquetá	29/10/1974	Corpoamazonía	300.000,00
Tibaitatá	09/10/2008	CAR	579,53
Guacas Rosario	07/05/2009	Corrocadas	992,53
Barbas Bremen	17/06/2011	Carder	4.361,10
Campoalegre	17/06/2011	Carder	21.129,57
Distrito De Conservación De Suelos Barbas Bremen	30/06/2011	CRQ	4.911,29
Distrito De Conservación De Suelos Kirpas Pinilla La Cuerera	30/06/2011	Cormacarena	294,22
Distrito de conservación de suelos Alto del Nudo	04/07/2013	Carder	2.802,69
Distrito de conservación de suelos La Marcada	04/07/2013	Carder	1.873,99
Ciénaga de Bano	12/12/2013	CVS	326,44
Canon de Rio Grande	29/01/2014	CVC	6.430,26
Total			343.701,59

Fuente: La investigación

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- (CAR, 1998), planteó en función de su ordenamiento, mediante acuerdo 16 de 1998, el uso que se debe dar a los DCS así: i) Uso Principal: Control de erosión, conservación de suelos, corrección torrencial y fluvial, revegetalización y readecuación geomorfológica; Usos Compatibles: Preservación de la naturaleza; ii) Usos Condicionados: Silvicultura, agropecuarios, institucionales, recreación general, centros vacacionales, vías de comunicación e infraestructura de servicios; iii) Usos Prohibidos: Rocería, quemas, tala rasa, urbanos, minería e industria. Una vez recuperadas dichas áreas, podrán ser objeto de nuevos usos.

➤ Definición de DCS adoptada por la investigación

Tomando como base los conceptos planteados sobre DCS en la legislación Colombiana, y para enmarcarla dentro del desarrollo metodológico tendiente a identificar y caracterizar DCS en nuestro país la investigación adoptó la siguiente definición:

Áreas de suelo que se delimitan dentro de un espacio geográfico por estar alterados o degradados principalmente por las acciones antrópicas; o áreas de suelo que por sus condiciones físicas, climáticas, bióticas, sean susceptibles o vulnerables a ser degradados por acciones antrópicas o naturales, o áreas de suelos que revistan algún tipo de interés científico, ambiental, cultural, o por la clase de utilidad que en ellas se desarrolla, para someterlas a manejo especial, a su recuperación, o a la prevención de fenómenos que causen alteración o degradación, para que cumplan sostenidamente su función ambiental o productiva. Gráfica 2.1.

Gráfica 2.1. Esquema conceptual de los distritos de conservación de suelos.



3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación tendiente a definir una metodología que permita identificar y caracterizar los distritos de conservación de suelos (DCS) en Colombia, se explica por una parte, el proceso de revisión de la información existente sobre lo conceptual y temático de los distritos de conservación de suelos y la segunda parte, la metodología que permite identificar los indicadores y caracterizarlos; como punto de partida para plantear en el siguiente capítulo, una estructura metodológica para definir, identificar y caracterizar los DCS.

3.1. Revisión de información básica

Como punto de partida para la investigación, se realizó una recopilación de información de las diferentes entidades del orden nacional e internacional, de tipo público y privado como universidades, centros de investigación, bibliotecas, institutos especializados, autoridades ambientales y de ordenamiento territorial, asociaciones de profesionales, revistas especializadas, gremios y demás entidades relacionadas directa o indirectamente con el tema.

Para el análisis se contemplaron diferentes tipos de información: documentos científicos, técnicos, legislativos, administrativos, y en general todos aquellos que se pudieron consultar de tipo general y especializados, relacionados con las temáticas de usos del suelo, conservación, degradación, calidad de suelos, erosión, geomorfología, clima, desertificación, indicadores y ecosistemas estratégicos entre otros. Adicionalmente se contó con información más puntual del área de la cuenca del río Bogotá donde se probó el modelo metodológico para la identificación y caracterización de los DCS, en temáticas de análisis de suelos, climas, geomorfología, pendientes, imágenes de sensores remotos, cartografía a escala 1:100.000 o mayores, y otros elementos que

se valoraron según su pertinencia, para la construcción y validación del modelo metodológico planteado para identificar y caracterizar los distritos de conservación de suelos.

3.2. Selección, estructura y métodos de caracterización de los indicadores para la construcción de la metodología que permitan la identificación de distritos de conservación de suelos – DCS para Colombia

Como el objetivo general de la investigación consiste en generar una metodología que permita la identificación y caracterización de los distritos de conservación de suelos, mediante estudios de caso en la cuenca del río Bogotá; lo que se esboza en esta etapa, es una metodología que explica la forma como se construyeron los indicadores básicos y los métodos para su caracterización, herramienta fundamental para abordar los resultados. Se aclara que lo que se plantea aquí, es la metodología que permite construir la metodología propiamente dicha que facilita la identificación y caracterización de los DCS. Se hace esta claridad, para poder entender que una cosa es la metodología de la investigación y otra los resultados de la investigación, que consiste en una metodología probada que pueda identificar DCS.

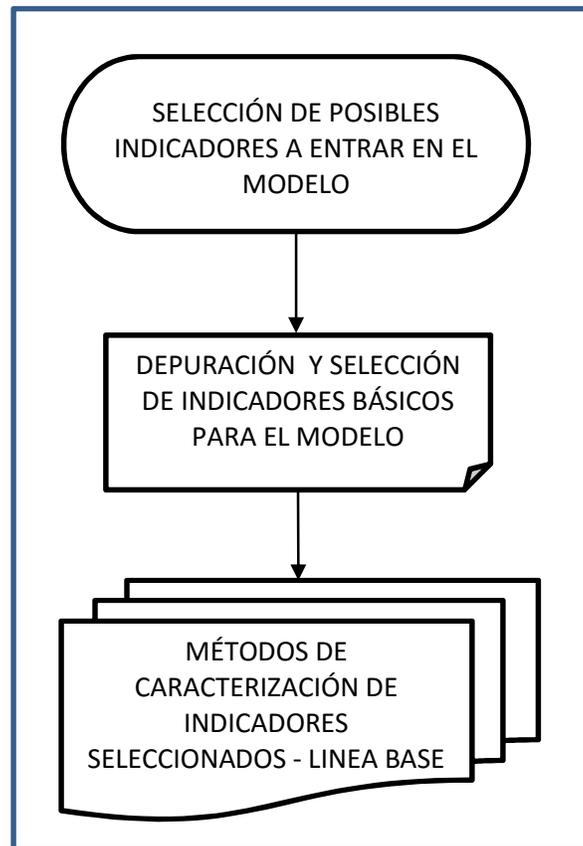
Por consiguiente en esta etapa, se plantea únicamente los procesos metodológicos iniciales que permitieron elegir los indicadores o variables que se seleccionaron para entrar al modelo, y los métodos para caracterizarlos (figura 3.1), que son el punto de partida para la propuesta de metodología final que facilita la identificación y caracterización de los DCS.

Se aclara que el término indicador, según la definición de hace referencia a “Variables derivadas que resumen información”, por lo que en esta investigación se puede en determinado momento tomar como sinónimos los términos de Indicador y Variable.

Se parte de una cantidad considerable de posibles indicadores los cuales se cree que pueden entrar a formar parte del modelo, luego se hace una depuración de ellos, y poder decidir cuáles entran en el proceso, de aquellos seleccionados, se establecen sus parámetros o unidades de medida con sus diferentes escalas o rangos de valores.

Es de anotar que en cada etapa pueden existir procesos más detallados o subetapas, que permiten precisar con mayor minucia el proceso, y serán descritas en detalle en cada acápite.

Figura 3.1. Enfoque metodológico concebido para la identificación y caracterización de los indicadores



Fuente: Investigación.

3.2.1. Selección de posibles indicadores a entrar en el modelo. Como punto de partida se realizó un análisis de los componentes más relevantes que intervienen directamente en los procesos de formación, evolución, manejo y dinámica del suelo; posteriormente se procedió a realizar el análisis, la depuración y la estructuración de los indicadores, para proponer una línea inicial de referencia, de los cuales en una segunda etapa se seleccionaron aquellos que se usaron para el modelo metodológico, y requirieron un análisis total de todas sus características.

En el proceso de selección de los indicadores que se tuvieron en cuenta en la construcción del modelo de identificación y caracterización de los DCS, se analizaron un número significativo de ellos y que forman parte de los atributos que caracterizan un suelo, o de aquellos que intervienen en su génesis, evolución y el manejo. En este proceso se usó el nombre técnico que comúnmente se le da a las diferentes variables del suelo, según lo adoptado por la institucionalidad a nivel nacional como él (IGAC, 2010; IDEAM, 2010), e internacional (FAO, 1996; USDA, 2014).

En primer lugar se tomaron aquellos indicadores identificables del medio natural que son externos al suelo e influyen en su génesis y evolución; en segundo lugar se tuvieron en cuenta aquellos atributos que tipifican y describen un suelo y en tercer lugar el estado y condiciones del suelo, que dado su manejo u otro tipo de alteraciones, le confieren su condición actual. Las variables inicialmente se organizaron por aspectos de geomorfología, clima, unidades cartográficas de suelos, taxonomía de suelos, fertilidad de suelos, atributos del horizonte del suelo, características fisicoquímicas y mineralógicas del suelo, alteraciones de la capa arable, degradación del suelo y por áreas de interés, como se identifican en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Indicadores o variables básicos analizados.

ASPECTOS GEOLÓGICOS		Eras geológicas
GEOMORFOLOGIA	Unidades Geomorfológicas. Categorías y Clases	Clases por geoestructura
		Clases por ambiente morfogenético
		Clases por paisaje
		Clases por ambiente morfogenético del paisaje
		Clases por tipos de relieve
		Clases por formas de terreno
		Rocas / formaciones superficiales / materiales parentales
		Clases por grado de alteración de las rocas
		Clases por consistencia de las rocas
		Clases por inclinación de los estratos rocosos
	Aspectos del relieve	Clases de pendientes
		Clases por longitud de la pendiente simple
		Clases por forma de la pendiente simple
		Clases por grado de disección
		Clases por forma de las cimas del relieve
		Clases de microrrelieves

CLIMA	Clima y Zonas de Vida	Tipos de clima ambiental
		Clases de pisos térmicos
		Clases de provincias de humedad
		Zonas de vida / formaciones ecológicas (holdridge)
	Aspectos Climáticos	Tipos de clima ambiental según koeppen
		Clases por distribución de lluvias
Clases por rangos de temperatura		
		Clases por frecuencia de heladas
UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELOS	Unidades	Clases de unidades cartográficas
TAXONOMÍA DE SUELOS	Criterios de fases taxonómicas	Criterios de fases
		Grupos texturales
		Clases texturales
		Clases por rangos (límites de variación) de las pendiente(s)
		Clases por presencia de sodio
		Clases por grado de salinidad
		Clases por clima (clima fase)
		Clases de sustrato
		Clases por espesor de solum
		Clases por ocurrencia de inundaciones y / o encharcamientos
		Clase por relleno artificial menor de 50cm de espesor
		Clases por humedad del suelo (drenaje natural alterado)
		Clases por depositaciones en superficie
		Características diagnósticas
	Clases de horizontes diagnósticos superficiales	
	Clases de horizontes diagnósticos subsuperficiales	
	Clases de características diagnósticas	
	Categorías y clases taxonómicas.	Ordenes, subórdenes y grandes grupos taxonómicos
		Elementos formativos del subgrupo
	Criterios de familia para suelos minerales	Clases por tamaño de partículas (ctp)
		Clases de regímenes de temperatura del suelo
		Clases por mineralogía
		Clases por actividad catiónica de cambio
		Clases por material calcáreo y reacción
		Clases por profundidad del suelo
		Clases por resistencia a la ruptura
		Clases por revestimientos (sobre arenas)
Clases por grietas permanentes		
Clases por tamaño de partículas		

		Clases por mineralogía		
		Clases por reacción		
		Clases por profundidad del suelo		
PERFIL DE SUELOS	Atributos del perfil de suelos	Tipos de perfiles de suelos		
		Clases por carácter del material litológico y depósitos superficiales / material parental		
		Clases de drenaje interno y externo		
		Clases de drenaje natural		
		Clases por naturaleza del nivel freático		
		Clases por tipos de nivel freático		
		Clases de frecuencias de las inundaciones y/o encharcamientos		
		Clases por duración de las inundaciones y/o encharcamientos		
		Clases por profundidades del nivel freático		
		Clases por orientación de grietas		
		Clases por abundancia de grietas		
		Clases de limitantes de la profundidad efectiva		
		Clases de agentes cementantes		
		Clases por grado de cementaciones/encostramientos		
		Clases por abundancia de afloramientos rocosos (rocosidad)		
		Tipos de fragmentos de roca en superficie		
		Clases por recubrimientos de fragmentos de roca en superficie (gravilla y cascajo)		
		Clases por volumen de fragmentos rocosos en el perfil de suelo		
		Clases por abundancia de fragmentos de roca de diámetro (d) mayor de 25 cm en la Superficie y su distanciamiento (piedras y pedregones)		
		Clasificación de suelos afectados por problemas de salinidad y sodicidad		
		Clases por grado de fertilidad		
		Grupos de uso de la tierra		
		Subgrupos de uso de la tierra		
		Clases por condición de humedad del suelo		
		ATRIBUTOS DEL HORIZONTE	Nomenclatura de los horizontes	Clases de horizontes maestros y capas
				Clases por características subordinadas a los horizontes
Colores principales y moteados	Colores (munsell)			
	Clases por cantidad de moteados			
	Clases por tamaño de moteados			
		Clases por nitidez de los moteados		

	Clases por forma de los moteados
	Clases por el contraste de los moteados
Aspectos de la textura del suelo	Grupos y clases texturales del suelo
	Clasificación de partículas por tamaño (separados del suelo)
	Clases por modificadores de la textura
	Tipos de fragmentos de roca en el suelo
	Clases por forma de los fragmentos de roca
	Clases por el grado de alteración de fragmentos de roca
	Clases por naturaleza los de fragmentos de roca
Materiales de suelos orgánicos	Clases de materiales orgánicos
	Clases por composición de los materiales orgánicos
	Contenidos de materia orgánica del suelo
Aspectos de la estructura del suelo	Tipos de estructura de suelo
	Clases de estructura de suelo (tamaño)
	Clases por grado de estructura
	Tipos y clases de estructuras del suelo
Aspectos de los peds	Clases por aspectos de los peds
	Clases por cantidad de aspectos de los peds
	Tipos de claridad de los aspectos de los peds
	Clases por localización de los aspectos de los peds
Consistencia del suelo	Clases por consistencia en seco
	Clases por consistencia en húmedo
	Clases por consistencia en mojado: pegajosidad
	Clases por consistencia en mojado: plasticidad
	Clases por consistencia en mojado: fluidez
	Clases por consistencia en mojado: tixotropía
	Resistencia a la fuerza aplicada en las pruebas de consistencia en seco y en húmedo
Concentraciones	Clases por cantidad de concentraciones
	Clases de concentraciones
	Clases por composición de las concentraciones
	Clases por forma de las concentraciones
	Clases por tamaño de las concentraciones
	Clases por consistencia de las concentraciones
	Clases por distribución de las concentraciones
Poros	Clases por cantidad de poros
	Clases por localización de los poros
	Clases por orientación de los poros
	Clases por continuidad de los poros
	Clases por tamaño de los poros

		Clases por forma de los poros
	Raíces	Clases por cantidad de raíces
		Clases por tamaño de las raíces
		Clases por estado de las raíces
		Clases por distribución de las raíces
		Clases por localización de las raíces
	Microorganismos	Clases por actividad de los macro organismos
		Clases de macro organismos
		Clases por meso organismos
		Clases por microorganismo
	Reacciones	Clases por rango de valores del pH
	Horizontes	Límites entre horizontes
		Clases por nitidez del horizonte
		Clases por topografía del horizonte
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS		Clases por abundancia de los minerales
		Especies minerales
		Frecuencias relativas de abundancia
		Evaluación de la fertilidad de los suelos
		Clasificación de la velocidad de infiltración
		Clasificación de la conductividad hidráulica
		Clases por contracción y expansión del suelo de acuerdo con el cole
		Calificación del estado de agregación de la estructura
		Clasificación de la permeabilidad
		Resistencia a la penetración del suelo
		Clasificación de la salinidad de los suelos
		Clases por alteración antrópica de la capa arable
ALTERACION CAPA ARABLE Y OBSERVACIONES EN CAMPO		
DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS		Clases por compactación de suelos
		Clases y tipos de erosión superficial
		Grados de erosión superficial
		Clases y tipos de movimientos en masa
		Clases por frecuencia de movimientos en masa
		Clases por desertificación
		Clases por pérdida de nutrientes
		Clases por salinización
		Clases por acidificación.
		Clases por contaminación – metales pesados
		Clases por desequilibrio geoquímico
		Reducción de micro y macrofauna
		Pérdida de la materia orgánica

	Reducción de la biomasa del suelo
POR ÁREAS DE INTERÉS	Urbanismo
	Científico
	Cultural
	Ambiental

Fuente: Construcción propia con base en indicadores en (IGAC, 2010; IDEAM, 2010; FAO, 1996; USDA, 2014).

3.2.2. Indicadores seleccionados. De los indicadores referenciados y analizados en la primera etapa, y a través de un análisis integral realizado por paneles de expertos (profesionales expertos en geomorfología, clima, reconocedores de suelos, usos y coberturas, degradación de suelos y ambientales), se seleccionaron aquellos indicadores que además de cumplir con las características propias de un indicador, se puedan integren en un proceso metodológico para delimitan áreas de suelo que dentro de un espacio geográfico por estar alterados o degradados principalmente por las acciones antrópicas o naturales; o áreas de suelo que por sus condiciones físicas, climáticas, bióticas, sean susceptibles o vulnerables a ser degradados por acciones principalmente antrópicas o naturales, o áreas de suelos que revistan algún tipo de interés científico, ambiental, cultural, o por la clase de utilidad que en ellas se desarrolla y de una u otro forma afecten su calidad, y que finalmente sean definidas como como DCS.

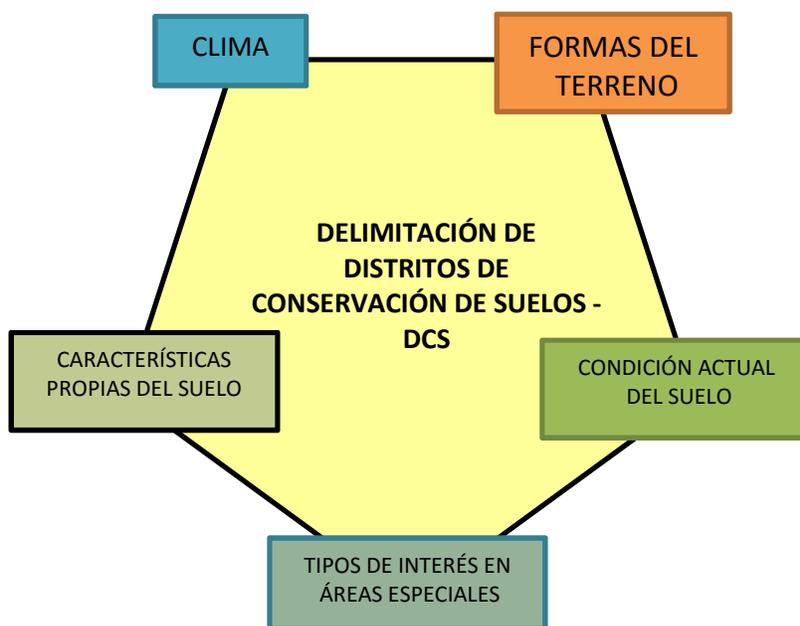
Adicionalmente, los criterios relevantes tenidos en cuenta por el panel de expertos para hacer una selección de los indicadores que van a sustentar el proceso metodológico que definen las áreas a ser declaradas como DCS, fueron:

CRITERIOS	PRECISIÓN
El concepto de distrito de conservación de suelos	El planteado por la investigación en el capítulo 2.
La escala de trabajo	1:100.000
El suelo como elemento de análisis para ser clasificado	Se debe tomar como base el tipo de suelo, clasificado taxonómicamente y estructurado en unidades cartográficas de suelos, espacialmente definidas, de un área geográfica determinada.
La cobertura del parámetro o indicador	Debe tener información de toda el área de suelos determinada para el análisis.

La representación del indicador dentro del ecosistema	Debe ser un indicador en el cual su dinámica o cambios afecten significativamente no solo al suelo sino su interacción con otros componentes del ecosistema.
La facilidad de medición	Que se pueda medir de forma cualitativa y cuantitativa mediante técnicas estandarizadas en campo o laboratorio.
La disponibilidad de los datos o su facilidad para obtenerlos.	Debe existir datos accesibilidad o poder realizar la toma de datos de una forma práctica, sin limitaciones por condiciones adversas o desfavorables
Cambios en el tiempo	Que sea un indicador que forme parte de la estructura evolutiva de este y a través del tiempo se conserva, es decir que su temporalidad no sea incipiente.
Extensión	Que se pueda identificar a lo largo del área seleccionada.
Que el parámetro o indicador se pueda cartografiar a la escala respectiva	Que mediante técnicas especializadas, se logre definir y espacializar su área de impacto.
Impacto en la degradación del suelo	Que se logren definir en el área de estudio las diferentes escalas de impacto del indicador, para determinar los DCS.
Facilidad de recuperación	Que se pueda calcular no solo las técnicas, sino el tiempo necesario que se requiere para recuperar el indicador.
Influencia en la producción	El impacto del indicador en la producción de bienes y servicios sociales que ofrece e del suelo, o la función que este deba cumplir.
Importancia en el desarrollo	Que se logre definir cuál es la impacto del indicador en mantener o no el equilibrio en la producción del recurso suelo, y su calidad.

Con ese referente, se analizaron y estructuraron los indicadores siguiendo los procesos que inducen a la formación del suelo y el manejo al cual se ha expuesto. Esto condujo a proponer indicadores de clima, geomorfología, características propias del suelo, las condiciones actuales del suelo según su estado de degradación y aquellas que por algún tipo de interés sean tenidas en cuenta para dejar un área de suelo bajo condiciones especiales como DCS. El proceso estructurado de la selección específica de indicadores se visualiza en la figura 3.2 y tabla 3.2

Figura 3.2. Estructura de selección de los indicadores para identificar distritos de conservación de suelos, en función de los atributos naturales.



Fuente: La investigación

Tabla 3.2. Indicadores seleccionados para la clasificación de los distritos de conservación de suelos.

COMPONENTE	VARIABLE	INDICADOR GENERAL	INDICADOR DETALLADO
ABIOTICO	CLIMA	TIPO DE CLIMA	ZONA CLIMÁTICA
		INDICE DE ARIDEZ	INDICE DE ARIDEZ
	GEOMORFOLOGICA	POR PAISAJE	TIPO DE RELIEVE
		POR AMBIENTE MORFOGENÉTICO	SUBAMBIENTE
		PENDIENTE	GRADO
	SUELOS	QUIMICO	FERTILIDAD
			SALINIDAD
MATERIA ORGÁNICA			
	FISICO	PROFUNDIDAD EFECTIVA	
MANEJO	CONDICION ACTUAL DEL SUELO	FISICO	COMPACTACIÓN
		EROSIÓN	ACTUAL
			POTENCIAL

	COBERTURA Y USOS DEL SUELO	USOS DEL SUELO	COBERTURA Y USO DEL SUELO
DINAMICA SOCIAL	CONURBACIÓN	EXPANSION URBANA	EXPANSION URBANA
	TIPO DE INTERÉS	INTERÉS CIENTIFICO	INTERÉS CIENTIFICO
		INTERÉS CULTURAL	INTERÉS CULTURAL
		INTERÉS AMBIENTAL	INTERÉS AMBIENTAL

Fuente: La investigación

3.3. Metodología para para la Caracterización de las variables o indicadores seleccionados para identificar DCS, en Colombia

Para la caracterización de los indicadores seleccionada en el modelo de DCS, es necesario reconocer y delimitar específicamente el área de estudio, hacer un diagnóstico e identificación de las características y condiciones en que se encuentra cada uno de ellos en dicha área. Para esto, se partió de una metodología específica para la delimitación, caracterización, distribución espacial de las variables que se describe a continuación, cuyo resultado final es un documento o memoria explicativa con los respectivos mapas a escala.

A continuación se describen los procesos metodológicos que permiten caracterizar los indicadores seleccionados, y que entran a formar parte de la estructura de identificación de los DCS.

3.3.1. Metodología para la definición del área de estudio o interés. Lo primero que se realizó fue la delimitación del área de estudio o de interés por límites naturales en la definición general de cuenca, área donde se definieron e identificaron los DCS. Esta delimitación se realizó haciendo uso de cartografía básica topográfica a escala 1:25.000 tomada del (IGAC, 2006), se apoyó en el modelo de elevación digital DEM-NASA (<http://www.asf.alaska.edu>, consultada en septiembre, 2016) y con apoyo del programa ARC-GIS, se muestra en un mapa digital a escala de trabajo predefinida, con las normas y procesos cartográficos adecuados, estructurado en un SIG.

3.3.2. Metodología para la identificación básica del mosaico de suelos. La base para la definición de los DCS es el mosaico de suelos del área de estudio o zona de interés. Por consiguiente, el primer paso para identificarlos es el mapa de suelos, donde se describen sus unidades cartográficas y taxonómicas, es decir la representación del mosaico edáfico del área con sus respectivas leyendas y memoria técnica, análisis de muestras, descripción de sus propiedades y la memoria explicativa. Se debe tener el mapa de suelos del área de interés, el cual debe estar descrito a escala 1:100.000 o mayores.

Para la construcción del mapa de suelos, se usó la metodología establecida por el USDA cuya última versión corresponde al año (2014), y que fue adoptada por el Instituto Geográfico “Agustín IGAC (2014), igualmente en su última versión, donde se toma como base el análisis de información secundaria e identificación de las áreas y otras propiedades a través del análisis de aerofotografías, imágenes de satélite, construcción de mapas base de geología, geomorfología y áreas de chequeo, para posteriormente hacer un reconocimiento directo en campo a través de chequeos y descripción técnica de calicatas, estas últimas son complementadas con los análisis de muestras de laboratorio, para que a través del uso de criterios técnicos, se detalle, construya y represente el mosaico edáfico a una escala determinada, según el tipo de levantamiento.

3.3.3. Metodología para la caracterización de la zona climática. Para determinar los diferentes niveles o zonas climáticas en un área se utilizó la metodología planteada por el IGAC (2010), modificada y adaptada del IDEAM (1998), donde relacionan los niveles de precipitación, temperatura y evaporación.

Para la identificación de los tipos de clima, primero se determinó la precipitación, la temperatura y la evaporación de la zona; se toman datos acumulados multianuales en períodos preferiblemente mayores a 10 años, con mediciones diarias de las variables mencionadas en las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de influencia o de interés.

Para determinar las zonas homogéneas en precipitación y temperatura y evaporación se usaron técnicas denominadas polígonas de Thiessen y de isoyetas o isotermas en el caso de la temperatura. (UNESCO, 2006; Ven et al 1994).

3.3.4. Metodología para la caracterización del índice de aridez. Los criterios con mayor amplitud utilizado para delimitar zonas climáticas para identificar el índice de aridez, es el coeficiente climático (Precipitación/Evapotranspiración Potencial) P/ETP, desarrollado por la FAO y la UNESCO en 1977, La precipitación se toma de la medida de la estación meteorológica de la zona de influencia y la evapotranspiración potencial se puede calcular haciendo uso de los métodos de cálculo propuesto por Thornthwaite (1948), Penman (1948) y el procedimiento propuesto por Meigs (1953). El índice expresa la relación entre la precipitación anual promedio y la evapotranspiración potencial en un área determinada (LADA, 2003; FAO et al, 2007).

3.3.5 Metodología para la caracterización de la geomorfología. Para la identificación de las unidades geomorfológicas para el territorio Colombiano por tipo de paisaje, se utiliza la metodología planteada por Zinck (1987), Villota, (1994), modificada por el IGAC (2007).

Para la identificación de las unidades geomorfológicas para el territorio Colombiano por tipo de proceso morfodinámico, se utiliza la metodología planteada por el IDEAM (2013).

3.3.6. Metodología para la caracterización de la pendiente. Para la determinación de los diferentes rangos de pendiente, se tomó como referente los datos obtenidos por la misión de la NASA SRTM-2001 del trasbordador espacial, ajustados y actualizados en fechas posteriores por esta y otras agencias espaciales, utilizando como base el modelo digital de elevación de precisión de 30 m, disponibles en: [CGIAR](#), [NASA](#), [USGS](#). Los datos pueden obtener tanto en formato GEOTIFF como en ASCII, sobre el cual se calcula la pendiente mediante el método de cuatro vecinos de (Zevenbergen & Thorne 1987; Felicísimo, 1999; Wood, 1996; Zhou et al, 2010). El valor de pendiente es asignado al punto central y su elevación no se utiliza en el cálculo de cualquier área de la superficie terrestre muestreada

en diversos puntos de distancia conocida (modelo raster); también han aportado información relativa a relaciones como son la distancia, la vecindad y el análisis de variables derivadas incluyendo la pendiente, la orientación y la curvatura. Los atributos de los modelos digitales de elevación digital son explicados por Felicísimo (1999), Weibel et al (1991).

3.3.7. Metodología para la caracterización de la fertilidad del suelo. La determinación de los niveles de fertilidad de un suelo se realizó en dos etapas: La primera consiste en la identificación de la cantidad de nutrientes disponibles en un suelo; para ello se toman las muestras de suelo de las unidades taxonómicas presentes en el área de estudio, se caracteriza la muestra de suelos y en laboratorio se determinan cada uno de los nutrientes de interés según la necesidad, los métodos específicos para cada caso se identifican en la tabla 3.3. La segunda consiste en determinar los niveles de fertilidad o rangos de fertilidad del suelo, en la presente investigación se utilizó la metodología de evaluación de la fertilidad de los suelos planteada por el IGAC (2010), la cual se identifica en la tabla 3.4.

Tabla 3.3. Métodos utilizados en la identificación de los elementos (iones), del suelo.

PARÁMETRO	MÉTODO	OBSERVACIONES
ELEMENTOS MENORES: Manganeso (Mn), hierro (Fe), cinc (Zn) y cobre (Cu)	Manganeso (Mn), hierro (Fe), cinc (Zn) y cobre (Cu): extracción con DTPA y cuantificación por Absorción Atómica (A.A.)	Para todo tipo de suelos
BORO DISPONIBLE	Extracción con agua caliente y cuantificación espectrofotométrica en el rango visible con Azometina H	Para todo tipo de suelos
AZUFRE DISPONIBLE	Extracción con Ca (HPO ₄).2H ₂ O 0.008M y cuantificación turbidimétrica	Para todo tipo de suelos
pH.	Potencio métrico en relación suelo/agua 1:1.	Para todo tipo de suelos
ACIDEZ INTERCAMBIABLE (A.I.)	Extracción con cloruro de potasio 1M y cuantificación por titulación volumétrica.	Se determina en suelos con pH menor o igual a 5,5
CIC (capacidad intercambio catiónico)	Extracción con acetato de amonio 1M pH 7 y cuantificación por titulación volumétrica	Para todo tipo de suelos.
BASES INTERCAMBIABLES (calcio, magnesio, potasio y sodio)	Extracción con acetato de amonio 1M pH 7 y cuantificación por absorcion-emision atómica.	Para todo tipo de suelos, excepto suelos calcáreos.

CARBONATO DE CALCIO	1) método cualitativo: reacción con HCl 10% y 2) método cuantitativo: disolución con HCl 0.5 M y cuantificación por titulación volumétrica	Se determina en suelos con pH > 7.0.
SULFATOS	Turbidimétrico con cloruro de bario (BaCl ₂)	Se determina en extractos de saturación de muestras de suelos
NITRATO Y AMONIO	Extracción con KCl 2M y cuantificación por titulación potenciométrica o volumétrica.	Para todo tipo de suelos
FOSFORO DISPONIBLE	Extracción con solución Bray II - y cuantificación espectrofotométrica en el rango visible. Modificado por el IGAC y adaptado	Para suelos ácidos y neutros, es decir suelos con pH < 6,5
CATIONES SOLUBLES (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ y Na ⁺)	Cuantificación por absorción atómica	Para suelos se determina en el extracto de saturación
ANIONES SOLUBLES (CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻)	Cuantificación para carbonatos, bicarbonatos y cloruros por titulaciones volumétricas o potenciométricas; para sulfatos turbidimétrica con BaCl ₂	Para suelos se determina en el extracto de saturación
ELEMENTOS TOTALES EN SUELOS (calcio, magnesio, silicio, hierro, aluminio, manganeso, cinc, cobre, cromo, plomo y cadmio)	Digestión en frío ácido fluorhídrico; cuantificación por absorción atómica.	Para todo tipo de suelos
NITROGENO TOTAL	Kjeldahl y titulación potenciométrica o Combustión (oxidación completa) en Analizador Elemental	Para todo tipo de suelos
CARBON ORGANICO	Walkley-Black y cuantificación por volumetría.	Para todo tipo de suelos
CARBONO TOTAL	Combustión (oxidación completa) y cuantificación por infra-rojo en analizador elemental.	Para todo tipo de suelos
AZUFRE TOTAL	A Combustión (oxidación completa) en Analizador Elemental	Para todo tipo de suelos,
FOSFORO TOTAL EN SUELOS	Fusión en mezcla nitrato de potasio (KNO ₃)/nitrato de sodio (NaNO ₃) y cuantificación espectrofotométrica en el rango visible.	Para todo tipo de suelos
HIERRO Y ALUMINIO EXTRACTABLES	-Extracción con pirofosfato de sodio 0,1M pH10 y cuantificación por absorción atómica. -Extracción con citrato- ditionito y bicarbonato de sodio y cuantificación por absorción atómica. -Extracción con citrato- ditionito y bicarbonato de sodio y cuantificación por absorción atómica.	Ninguna
RETENCION FOSFORICA	Fijación de fosforo y cuantificación por espectrofotometría en el rango visible.	Ninguna
HIERRO Y ALUMINIO ACTIVOS	Extracción con oxalato de amonio y cuantificación por absorción atómica	Ninguna
FOSFORO EXTRACTABLE	Extracción con ácido cítrico y cuantificación por espectrofotometría en el rango visible	Para todo tipo de suelos

Fuente: Adaptado de IGAC, 2006.

Tabla 3.4. Evaluación y cálculo de la fertilidad de suelos, método IGAC, 2010.

FT=	Fertilidad Total
F1=	Fertilidad 0 -25 cm
F2=	Fertilidad 25-50 cm
K=	0,285
X1=	Salinidad y/o sodio 0-25 cm
X2=	Salinidad y/o sodio 25-50 cm
1	Fertilidad en suelos normales:
	$FT=(0,7 f1 + 0,3 f2) K$
2	Fertilidad en suelos salinos y/o sódicos
	$FT= K[(0,7 (f1-X1) + 0,3 (f2-X2)]$ K

Fuente: (IGAC, 2010).

3.3.8. Metodología para la caracterización de la salinidad del suelo. Para identificar los niveles de salinidad en el suelo y determinar su categorización se utilizaron muestras de suelo tomadas en las diferentes unidades taxonómicas, en las cuales se evalúan las concentraciones de iones solubles que determinan las condiciones de salinidad de un suelo. Los enfoques más comunes, para identificar y clasificar los suelos afectados por sal, se basan en la información rigurosa de clases con fronteras nítidas, elaborado ya sea por las propiedades del suelo tales como el grado de acidez o alcalinidad del suelo (pH), la conductividad eléctrica (CE), el porcentaje intercambiable de sodio (PSI) y la relación de adsorción de sodio (RAS), o de las relaciones de aniones y cationes presentes en el extracto de saturación del suelo (Metternicht y Zinck, 2003). Los métodos de cuantificación de salinidad usados se ilustran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Métodos a ser utilizados en la identificación de los elementos salinos de un suelo.

PARÁMETRO	MÉTODO	OBSERVACIONES
SALINIDAD	En extracto de saturación, comprende conductividad eléctrica, cationes y aniones solubles	Para suelos no sódicos.
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)	Potenciométrico.	Para suelos se determina en el extracto de saturación

pH.	Potenciométrico en relación suelo/agua 1:1.	Para todo tipo de suelos
CATIONES SOLUBLES (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ y Na ⁺)	Cuantificación por absorción-emisión atómica.	Para suelos se determina en el extracto de saturación

Fuente: Adaptado de Metternicht y Zinck, 2003.

3.3.9. Metodología para la caracterización de la materia orgánica del suelo. Se determinó en las muestras de suelo de las unidades taxonómicas del área de influencia y se analizó a través de los métodos que se citan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Métodos a ser utilizados en la identificación de la Materia orgánica del suelo.

PARÁMETRO	MÉTODO	OBSERVACIONES
MATERIA ORGÁNICA	Calcinación a 550°C y cuantificación gravimétrica	Para todo tipo de suelos,
INDICE MELANICO	Extracción con hidróxido de sodio al 0,5% y cuantificación espectrofotométrica en el rango visible.	Para muestras de suelos con CO > 5.0%

3.3.10. Metodología para la caracterización de la profundidad efectiva del suelo. La profundidad efectiva se determina directamente en campo, a través de la observación y descripción de las calicatas y el grado de evolución de sus horizontes y otras propiedades diferenciales.

3.3.11. Metodología para la caracterización de la compactación del suelo. Hay métodos directos e indirectos que permiten identificar los niveles de compactación de un suelo. El método más directo, se realiza midiendo directamente con un aparato (penetrómetro de cono) que se opera en campo y determina en cada una de las unidades de suelo la resistencia a la penetración, como medida de la compactación. Cuando no se aplicó el método directo, se utilizó el método indirecto donde se interrelaciona la densidad aparente y la textura del suelo, como indicadores de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces (Arshad et al., 1.996 en USDA, 1.999). La interpretación de los valores de densidad aparente y textura, para identificar compactación, se puede realizar siguiendo la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Determinación indirecta de la compactación de un suelo a través de la relación general entre densidad aparente y la textura.

TEXTURA DEL SUELO	DENSIDADES APARENTES IDEALES (g/cm ³)	DENSIDADES APARENTES QUE PUEDEN AFECTAR EL CRECIMIENTO RADICULAR (g/cm ³)	DENSIDADES APARENTES QUE RESTRINGEN EL CRECIMIENTO RADICULAR (g/cm ³)
Arenosa, ArenoFrancosa	<1,60	1,69	>1,80
Franca, ArenosaFranca	<1,40	1,63	>1,80
FrancoArcilloArenosa, Franca; FrancoArcillosa	<1,40	1,6	>1,75
Limosa, FrancoLimosa	<1,30	1,6	>1,75
FrancoLimosa, FrancoArcilloLimosa	<1,40	1,55	>1,65
ArcilloArenosa, ArcilloLimosa; Algunas FrancoArcillosas(35- 45% de Arcilla)	<1,10	1,39	>1,58
Arcillosas (>45% de Arcilla)	<1,10	1,39	>1,47

Fuente: (Arshad et al., 1996 en USDA, 1999).

Para este método, en cada unidad de suelo analizada se debe tener clasificado la textura y la densidad aparente, por los métodos que se identifican en tabla 3.8, para luego ser contrastados y poder aplicar la correlación planteada en la tabla anterior.

Tabla 3.8. Metodologías para la determinación de los parámetros de textura y densidad, utilizados indirectamente para determinar compactación de un suelo.

PARÁMETRO	MÉTODO	OBSERVACIONES
TEXTURA DEL SUELO	Hidrómetro de Bouyoucos - Disimétrico. Método IGAC adaptado a los suelos colombianos.	Para suelos que dispersen sin aplicación de pretratamientos.
DISTRIBUCION DE PARTICULAS (GRANULOMETRIA)	Pipeta.	Ninguna
DENSIDAD APARENTE	Cilindro o Terrón parafinado	Ninguna
DENSIDAD REAL	Picnómetro - campana de vacío o Picnómetro de gas.	Ninguna

3.3.12. Metodología para la caracterización de la erosión del suelo

- **Metodología de cálculo erosión actual:** La identificación del grado de afectación de un suelo por erosión, evaluando la pérdida del horizonte A, se hace por observación directa en campo a través de la descripción de la calicata en la unidad de suelo afectada y en comparación con un perfil de suelos en una unidad de la misma taxonomía indisturbada. Se miden los espesores del horizonte A, tanto en el sector inalterado como el afectado por erosión, y se procede a determinar la cantidad en % de pérdida de dicho horizonte. Este procedimiento se repite para cada una de las unidades de suelos presentes en un área definida que estén afectados por erosión hídrica o eólica.

La determinación del grado de erosión utilizando el área de afectación, se hizo mediante el uso de imágenes de fotografías aéreas e imágenes de satélite, las cuales son interpretadas adecuadamente por expertos, con técnicas apropiadas según el tipo de imagen, generando una descripción preliminar del grado de erosión, para luego ir directamente a campo donde se hace una verificación y ajuste de datos, finalmente se determina el tipo y grado de erosión.

También se usan métodos de medición directa de largo tiempo, que facilitan la identificación de la intensidad de la erosión en una zona. Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Métodos de identificación y medición de la erosión y su intensidad.

METODO	INDICADOR	FUENTE.
La representación espacial o cartografía (Teledetección: fotos aéreas, Imágenes de satélite, Radar). A través de la Interpretación de dichas imágenes	Área afectada por erosión.	(IGAC y/o, 2010).
La medición directa de las pérdidas de suelos (Clavos, exposición de raíces, bastidores; parcelas de escorrentía; Modelos de caja Gerlach; Erosión por salpicadura.	Variaciones del nivel superficial del suelo	(León, D, J, 2001)
	Cantidad de suelo	(Hornung, 1990; (Ploey & Gabriels, 1984 en León, 2001); (Morgan 1986).
Medición con Radionucleidos (¹³⁷ CS, ⁵⁹ Fe, ⁴⁶ Sc, ¹¹ Ag, ¹⁹⁸ Au, ⁵¹ Cr).	Cantidad de suelos	(Ritchie et al, 1990; Walling, 1998; Walling & He, 2002; Wakiyama et al 2010; Sibello, 2013)

- **Metodología de cálculo erosión potencial:** Es relevante poder definir la erosión potencial de un suelo, ya que se puede planificar adecuadamente su manejo o prevenirla a través de diversas acciones; su cálculo se hace a través de fórmulas empíricas con múltiples análisis, que involucran principalmente propiedades de suelo, clima, cobertura vegetal, geomorfología y manejo. En ocasiones, también se contemplan aspectos geológicos relacionados con el material de origen o roca madre. Los métodos de identificación de la erosión potencial más comunes se identifican en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Métodos para identificar y evaluar la erosión potencial de un suelo.

METODO	INDICADOR	FUENTE.
Los modelos que estiman y simulan los procesos erosivos: Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE,EUPS); Ecuación universal de pérdida de suelo Revisada y (MUSLE , RUSLE); Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC); Soil and Water Assessment Tool (SWAT); Soil Loss Estimation Model for Southern Africa; Water Erosion Prediction Project (WEPP); Corine Risk Soil Erosion; Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation(ANSWERS).	Cantidad de suelo	(Wischmeier & Smith, 1978). (Williams, 1984). (Arnolt et al, 1990). (Elwell, 1981). (UE, 1992).

3.3.13. Metodología para la caracterización de la cobertura y uso del suelo. Mediante análisis interpretativo de expertos, y técnicas manuales y automatizadas de una o más tipos de imágenes provenientes de diferentes sensores, principalmente de satélite existentes (Spot 5, ASTER, ALOS, LANDSAT TM, LANDSAT ETM+, RAPIDEYE, EROS, QUICKBIR, IKONOS, RADAR); Aerofotografías y Aerofotografías orto rectificadas, todas lo más actualizadas posibles que comprendan las áreas de estudio, con este tipo de imágenes se hace la identificación de la cobertura y usos del suelo. El análisis se realiza no solo con profesionales expertos, sino con equipos de cómputo especializado con programas Software GIS experto como el ARC-GIS o el ERDAS, entre otros., con su

posterior ajuste y revisión en campo. (Knorn et al, 2009; Mallinis, 2011). Finalmente la forma de clasificar las coberturas y usos del suelo se utiliza la metodología planteada por CORINE Land Cover, adaptada para Colombia por le IDEAM (2010).

3.4 Metodología para la espacialización de las variables o indicadores seleccionados para identificar DCS

Para la espacialización de los resultados tanto de las unidades cartográficas de suelos-UCS; como los indicador que intervienen en el proceso para la identificación y caracterización de los DCS, los cuales se muestran espacialmente en polígonos diferenciales en mapas a escala, apoyados por la leyenda técnica predefinida según como se presentan sus condiciones, se utilizó el proceso se cartográfico partiendo de la orgazación de la colección de datos geográficos de varios tipos, almacenados en una carpeta de archivos común relacional del sistema PostgreSQL y se estructuró geográficamente en una geodatabase de ArcGIS, usando la herramienta de ArcGIS 10.4.

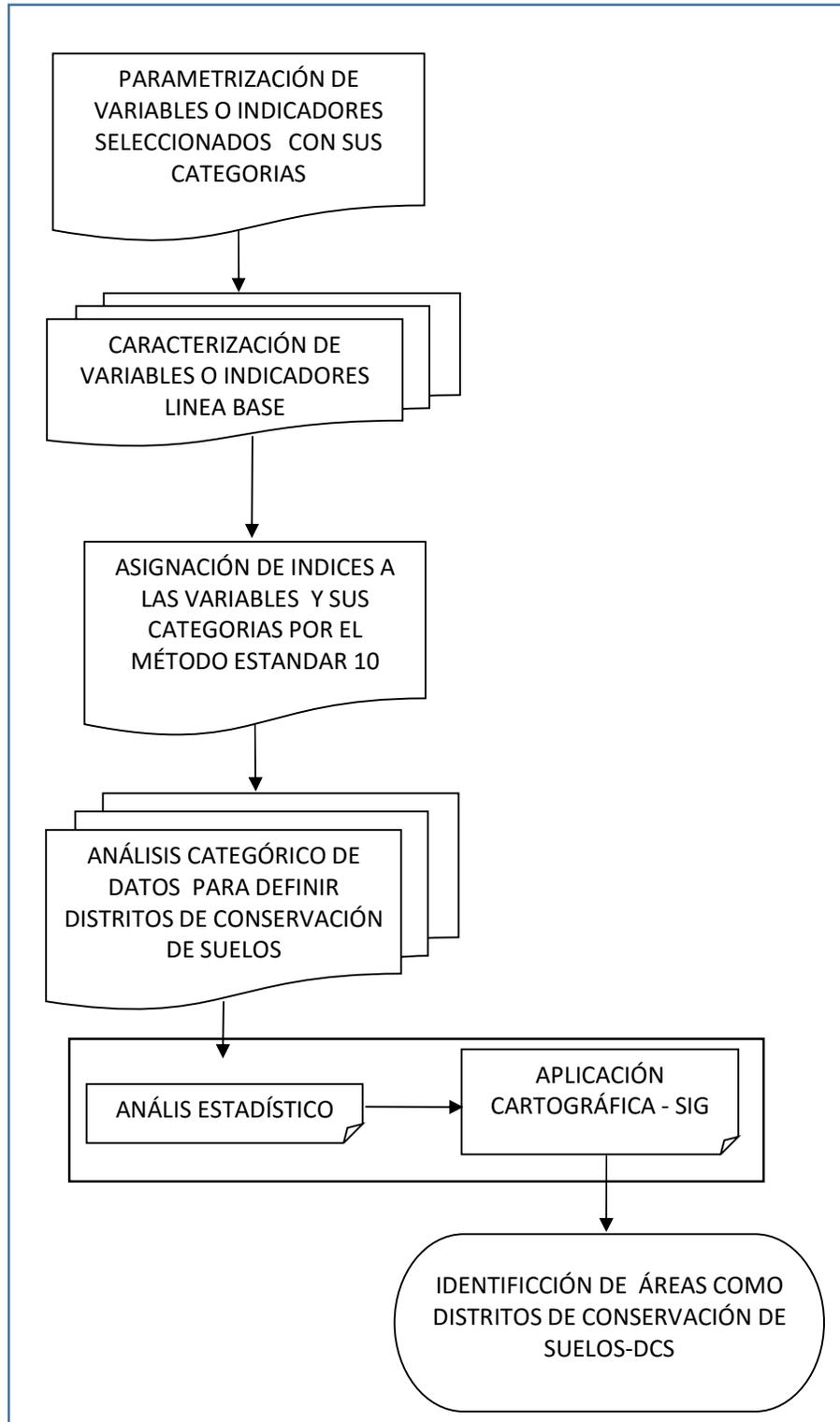
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación se presentan en dos etapas, la primera muestra la metodología generada para realizar la identificación y caracterización de los distritos de conservación de suelos-DCS, para Colombia. La segunda etapa muestra la aplicación del proceso metodológico concebido, en una zona del territorio colombiano y específicamente en la cuenca hidrográfica del río Bogotá, donde finalmente se definen áreas como DCS.

Etapas I. Proceso metodológico concebido para identificar y caracterizar distritos de conservación de suelos-DCS, para Colombia

El proceso metodológico planteado para identificar y caracterizar los DCS, se expresa a través de un modelo que se utiliza para describir cada una de las etapas que conlleva la propuesta, como se identifica en la figura 4.1. Este proceso necesariamente toma como punto de partida los indicadores o variables seleccionados, que son la base para la caracterización de la zona de estudio; seguidamente se establecen sus parámetros o unidades de medida con sus diferentes escalas o rangos al interior de ellos; posteriormente se caracteriza cada uno de los indicadores y se define la línea base (metodología de caracterización planteada en el capítulo anterior); posteriormente a las variables seleccionadas, se les establece un índice categórico haciendo uso de las técnicas empíricas de estándar 10 planteadas en esta investigación; en la última etapa se hace una interacción entre las variables y se mide su impacto, el cual se analiza utilizando técnicas estadísticas y de SIG, los resultados finalmente se muestran en mapas temáticos, en donde se identifican las áreas definidas según la metodología como DCS.

Figura 4.1. Modelo general que muestra los pasos metodológicos para identificar y caracterizar DCS, para el territorio Colombiano.



Fuente: La investigación

La descripción de los componentes de la etapa I se identifica a continuación, es de anotar que en cada componente pueden existir sub procesos o subcomponentes, que permiten precisar con mayor detalle el proceso general, y serán descritas con más profundidad en cada acápite.

4.1. Parametrización de los indicadores seleccionados con sus categorías

Una vez analizados todos los posibles indicadores con potencialidad de entrar en el modelo, y luego de hacer un análisis integral apoyados por reunión de expertos, se propusieron los indicadores de clima, geomorfología, características propias del suelo, las condiciones actuales del suelo según su estado de degradación y aquellas que por algún tipo de interés, sean tenidas en cuenta para delimitar un área de suelo como DCS. Los indicadores específicos seleccionados fueron los siguientes, como se identifican en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Indicadores seleccionados para los procesos de identificación y clasificación de los DCS.

COMPONENTE	VARIABLE	INDICADOR GENERAL	INDICADOR DETALLADO
ABIOTICO	CLIMA	TIPO DE CLIMA	ZONA CLIMÁTICA
		INDICE DE ARIDEZ	INDICE DE ARIDEZ
	GEOMORFOLOGICA	POR PAISAJE	GEOMORFOLOGÍA -RELIEVE
		POR AMBIENTE MORFOGENÉTICO	GEOMORFOLOGÍA-SUBAMBIENTE MORFOGENÉTICO
		PENDIENTE	PENDIENTE
	SUELOS	QUIMICO	FERTILIDAD
			SALINIDAD
MATERIA ORGÁNICA			
	FISICO	PROFUNDIDAD EFECTIVA	
MANEJO	CONDICION ACTUAL DEL SUELO	FISICO	COMPACTACIÓN
		EROSIÓN	EROSIÓN ACTUAL EROSIÓN POTENCIAL
	COBERTURA Y USOS DEL SUELO	USOS DEL SUELO	COBERTURA Y USO DEL SUELO
DINAMICA SOCIAL	CONURBACIÓN	EXPANSION URBANA	EXPANSION URBANA
	TIPO DE INTERÉS	INTERÉS CIENTIFICO	INTERÉS CIENTIFICO
		INTERÉS CULTURAL	INTERÉS CULTURAL
		INTERÉS AMBIENTAL	INTERÉS AMBIENTAL

Fuente: La investigación

Como método de organización de indicadores que facilitan la caracterización de los DCS, se tomó la estructura de FPEIR. (FAO, et al. 2007). (Fuerzas impulsoras del cambio ambiental; Presiones sobre el ambiente; Estado del ambiente; Impactos sobre la población, economía, ecosistemas; Respuestas de la sociedad) Ver Figura 4.2.

Las fuerzas motrices que impulsaron el modelo que permite la identificación y caracterización de los DCS, están relacionadas con la legislación ambiental, el crecimiento de la población, los aspectos culturales, conocimiento, ciencia y tecnología y la zonificación y ordenamiento del territorio.

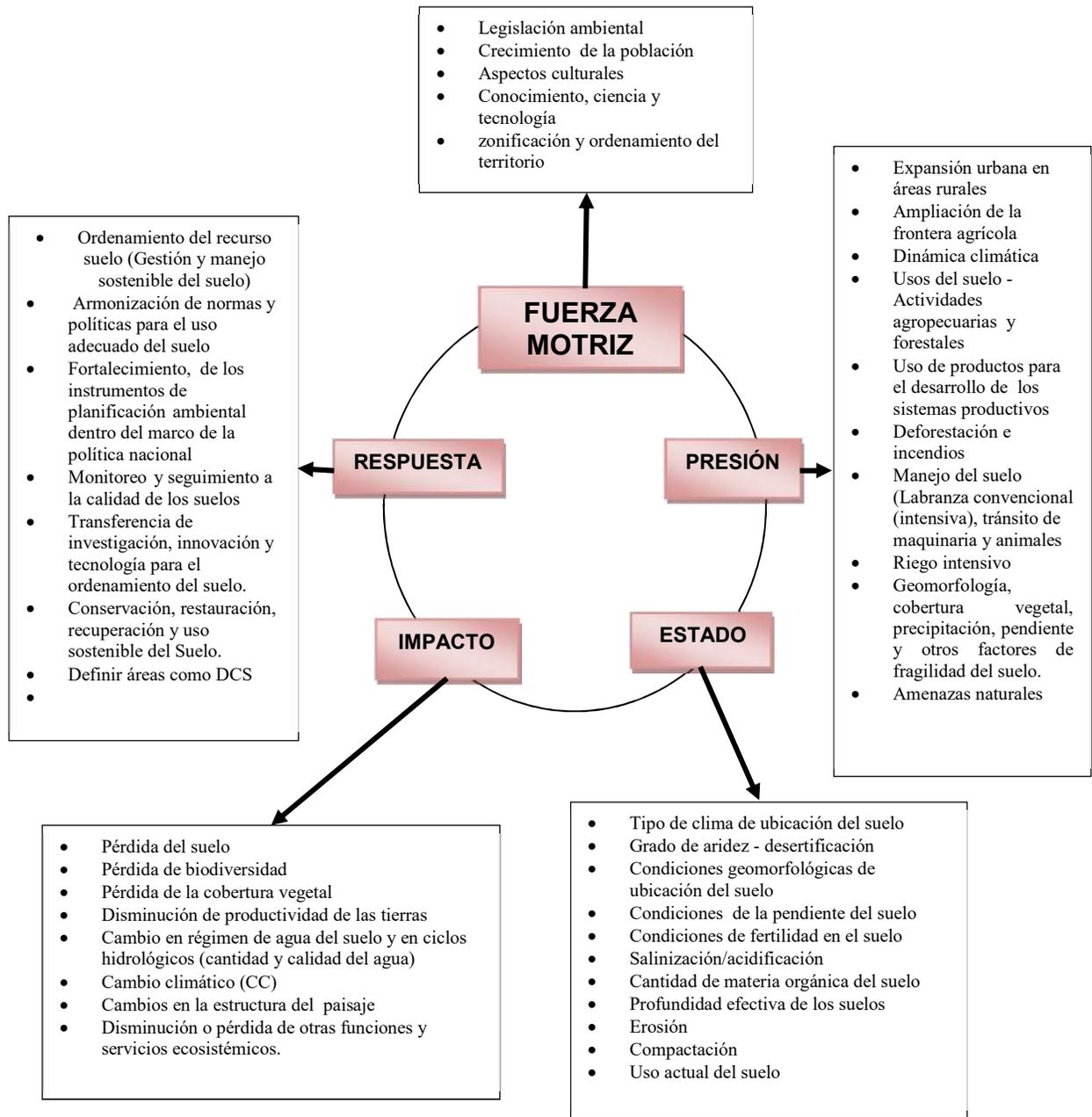
Los mecanismos de presión analizados en el proceso de los DCS están relacionados con expansión urbana en áreas rurales, ampliación de la frontera agrícola, dinámica climática, usos del suelo - actividades agropecuarias y forestales, uso de productos para el desarrollo de los sistemas productivos, deforestación e incendios, manejo del suelo (labranza convencional (intensiva), tránsito de maquinaria y animales, riego intensivo, geomorfología, cobertura vegetal, precipitación, pendiente y otros factores de fragilidad del suelo y las amenazas naturales.

El estado del ambiente consideró los siguientes indicadores dentro de la estructura que identifica DCS, tipo de clima de ubicación del suelo, grado de aridez – desertificación. condiciones geomorfológicas de ubicación del suelo, condiciones de la pendiente del suelo, condiciones de fertilidad en el suelo, salinización/acidificación, cantidad de materia orgánica del suelo, profundidad efectiva de los suelos, erosión, compactación y uso actual del suelo

Los impactos considerados en el modelo de DCS sobre la población, economía, ecosistemas están relacionados con la pérdida de biodiversidad, pérdida de la cobertura vegetal, disminución de productividad de las tierras, cambio en régimen de agua del suelo y en ciclos hidrológicos (cantidad y calidad del agua), cambio climático (cc), cambios en la estructura del paisaje y la disminución o pérdida de otras funciones y servicios ecosistémicos.

La respuesta de la sociedad a la dinámica de los DCS, se fundamentan en el ordenamiento del recurso suelo (gestión y manejo sostenible del suelo), armonización de normas y políticas para el uso adecuado del suelo, fortalecimiento de los instrumentos de planificación ambiental dentro del marco de la política nacional, monitoreo y seguimiento a la calidad de los suelos, transferencia de investigación, innovación y tecnología para el ordenamiento del suelo, conservación, restauración, recuperación y uso sostenible del suelo y finalmente la declaración de áreas como como DCS.

Figura 4.2. Estructura de los indicadores para identificar DCS, bajo el modelo FPEIR.



Fuente: La investigación

Una vez definidos los indicadores que entraron al proceso, y que permiten realizar la identificación y caracterización los DCS, a cada uno de ellos se le estableció:

- La estructura categórica al interior de cada indicador, es decir la forma como se puede expresar y diferenciar en sus diferentes niveles, al momento de analizarlos en un área de estudio determinada, y la forma de expresarlo y definirlo espacialmente en dicha área (cartográficamente).
- El método de identificación y cuantificación del indicador, a nivel analítico, en laboratorio o en campo.

La parametrización de los indicadores seleccionados permiten identificar claramente al interior de ellos su estructura categórica; así mismo los niveles se ajustaron a patrones, rangos, medidas o clasificación establecidos y aceptados por alguna institucionalidad reconocida, bien sea a nivel nacional o internacional, condición que permitió unificar adecuadamente el lenguaje edafológico. Entre ellas se tienen la Organización Meteorológica Mundial – WMO; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO; Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-USDA; Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM. Finalmente se adoptó la establecida por el IGAC, que a su vez la ajustó con base en los parámetros del IDEAM y de las instituciones internacionales, la cual es utilizada en los procesos de reconocimiento de suelos.

Estos indicadores categorizados como se muestra a continuación, se convierten en el indicador patrón a seguir y expresan el número máximo de categorías en que se puede dividir. Los estándares por niveles adoptados y seleccionados para cada uno de ellos se identifican a continuación:

4.1.1. Zona climática. Para el tipo de clima se usó la estructura de Zona Climática, que está relacionada con una extensión del territorio terrestre que presenta un clima igual o semejante, en función de los parámetros climáticos que lo determinan.

El tener categorizadas las zonas climáticas, permite identificar los cambios que se pueden suscitar en un suelo bajo su influencia. Suelos donde haya un dominio marcada de la evaporación o la evapotranspiración sobre sus niveles de precipitación (Evap/Precip), conducen a zonas áridas, semiáridas muy secas o secas; su impacto directo en el suelo se ve reflejado por la escasa disponibilidad hídrica, bajas en la fertilidad, se desfavorece el crecimiento vegetal y la dinámica de nutrientes, condiciona la biota del suelo, la disponibilidad de la materia orgánica y una tendencia marcada a la aridez.

En el mismo sentido, los suelos ubicados en zonas climáticas muy húmedas y pluviales, se ven afectados por una tendencia a la erosión hídrica, un exceso de lavado de nutrientes y mayor susceptibilidad a la erosión y las remociones en masa. En general se trata de tener, independientemente del piso térmico, zonas climáticas húmedas, donde no afecta la condición extrema del clima y favorece la evolución y uso normal del suelo. El clima y en especial la zona climática, es un indicador fundamental en los procesos evolutivos de los suelos, y define en parte los mecanismos de manejo de estos.

Para definir las categorías del indicador de las zonas climáticas, adoptadas usadas como parte del proceso, para identificar áreas DCS se identifican en la tabla 4.2. Dichas zonas son las adoptadas y modificadas por el IGAC (2000), de las inicialmente establecidas por el IDEAM (1998). Se seleccionó esta estructura categórica de zona climática sobre las de Caldas, Lang, Caldas-Lang, Holdridge o Martone, dado que es la que se utiliza el país en para hacer los mapas de zonas climáticas y ser usadas en las estructuras de leyendas de suelos instaurados por el IGAC. Los parámetros utilizados son universalmente conocidos, y las variables de precipitación y temperatura al igual que la altura sobre el nivel del mar son fácilmente medibles, y permiten determinar claramente la evaporación, condición esencial para establecer la categoría de la zona climática respectiva.

Tabla 4.2. Clasificación del tipo de clima por zonas climáticas.

PISO TERMICO (msnm)	TEMPERATURA (°C)	CLIMA	ZONA CLIMÁTICA	PRECIPITACION (mm/año)	Evap/Precip (mm)
0 - 1000	>24	CALIDO	Árido	<250	>8
			Semiárido	250 - 500	8-4
			Muy Seco	500 - 1.000	4-2
			Seco	1.000 - 2.000	2-1
			Húmedo	2.000 - 4.000	1-0,5
			Muy Húmedo	4.000 - 8.000	0,5-0,25
			Pluvial	>8.000	0,25-0,125
1000 - 2.000	18 - 24	TEMPLADO	Muy Seco	<500	>2
			Seco	500 - 1.000	2-1
			Húmedo	1.000 - 2.000	1-0,5
			Muy Húmedo	2.000 - 4.000	0,5-0,25
			Pluvial	>4000	0,25-0,125
2.000 - 3.000	12 - 18	FRIO	Muy Seco	<500	>2
			Seco	500 - 1.000	2-1
			Húmedo	1.000 - 2.000	1-0,5
			Muy Húmedo	2.000 - 4.000	0,5-0,25
			Pluvial	>4000	0,25-0,125
3.000 - 3.600	8 - 12	MUY FRIO	Seco	<500	2-1
			Húmedo	500 - 1.000	1-0,5
			Muy Húmedo	1.000 - 2.000	0,5-0,25
			Pluvial	>2.000	0,25-0,125
3.600 - 4.200	4 - 8	EXTREMADAMENTE FRIO	Húmedo y muy húmedo	501-1.000	1-0,25
			Pluvial	1.000-2.000	0,25-0,125
4.200 - 4.700	1,5 - 4	SUBNIVAL	Muy húmedo	2.000-3.000	0,5-0,25
			Pluvial	3.000-7.000	0,25-0,125
>4.700	<1.5	NIVAL			

Fuente: IGAC, 2000, modificada.

4.1.2. Índice de Aridez. Para poder sensibilizar aún más el efecto del clima sobre un suelo, se tomó el indicador de índices de aridez con sus respectivas categorías, dicha condición permite definir las tendencias de los suelos a la escasez crítica de agua, procesos erosivos, disponibilidad de nutrientes, de materia orgánica, define los usos del suelo y tendencias a degradación por salinidad.

Se aclara que los índices subrayados utilizados en el modelo están en el rango de 0.05 a 0.70, ya que se concibió fue poder definir si por las acciones antrópicas el suelo está afectado por algún grado de desertificación, no de desertización, valores por encima de 0.7 ya no presente un riesgo inminente en la influencia del modelo para la caracterización de los DCS, y por debajo de 0.05 hace referencia a los desiertos naturales

El saber si un suelo está ubicado en una zona calificada como árida bien sea (árido, semiárido o subhúmedo seco), se tiene el primer indicio de su condición de desertificación, en la medida en que el índice de aridez (P/ETP) es menor, el suelo presenta condiciones más críticas, dado que es un indicador que sensibiliza la potencialidad del recurso. El hecho de estar en este tipo de zonas, condiciona los niveles son muy susceptibles a la degradación por sales, erosión hídrica y eólica, limita la actividad biológica y una evolución muy baja, que hace muy susceptible el recurso a ser degradado, la cual requiere manejo muy especial para hacerlo sostenible.

Las categorías del indicador de aridez seleccionadas y adoptadas para ser incorporadas al proceso de identificación y caracterización de los DCS, obedecen a los niveles paramétricos planteados por FAO et al (2007) y adoptado por el IDEAM et al (2010) y la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía – CLD. (LADA, 2003). Se estableció esta categoría porque es la universalmente concebida para definir grados de aridez. Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Clasificación del índice de aridez.

RELACION (P/ETP) - IA	TIPO DE CLIMA
Menor de 0.05	Hiperbárico (verdadero desierto climático)
De 0.05 a 0.20	Árido (Sujeto a desertificación)
De 0.20 a 0.45	Semiárido (Sujeto a desertificación)
De 0.45 a 0.70	Sub húmedo seco (Sujeto a desertificación)
Mayor que 0.70	Húmedo (Sujeto a desertificación)

Fuente: IDEAM, 2010.

4.1.3. Geomorfología. Las categorías o niveles utilizados al interior de este indicador, se organizaron en dos tipos: La primer estructura categórica de geomorfología seleccionada y adoptada para el proceso de identificación y caracterización de DCS, está relacionada con la clasificación por tipo de paisaje – relieve, planteada por Zinck (1987), ajustada por

Villota (1994), y posteriormente por el IGAC (2007), se tomó la de estructura de IGAC, dado que es la que enmarca la estructura de leyenda del componente edafológico en la clasificación de las unidades cartográficas de suelos y es la estandarizada para el territorio Colombiano, es decir toda la información de procesos taxonomía y construcción de mapas de suelos, está montada bajo esta estructura, por eso su gran beneficio a la hora de ser utilizada como elemento que define una condición de paisaje al momento de caracterizar DCS.

Igualmente se hace un planteamiento adicional de una segunda estructura categórica de geomorfología que utiliza la clasificación geomorfológica por ambiente morfogenético, condición que permite definir elementos del suelo que pueden estar en geoformas bien sea afectadas o susceptibles a amenazas y procesos de erosión y remociones en masa; la estructura categórica de clasificación seleccionada fue la del IDEAM (2013), y adoptada para Colombia, que favorece el lenguaje no solo geomorfológico, sino ambiental, y ofrece ventajas comparativas sobre la estructura planteada por Carvajal (2008), ya que dicha técnica permite agrupar las unidades desde los ambientes morfogenéticos hasta las unidades más detalladas con el apoyo de la interpretación de las imágenes de sinergismo Landsat o Spot con el modelo de sombras y ofrece ventajas,

El indicador geomorfológico, contribuye notoriamente en los procesos evolutivos del suelo, define en parte el material parental, la distribución del drenaje y la disponibilidad del agua, los nutrientes, las arcillas, la lixiviación, su profundidad y en general, determina el manejo que se le debe dar al recurso.

Suelos en paisajes de montañas, colinas y piedemonte, normalmente son menos evolucionados, con mejor drenaje natural, menos profundos, más susceptibles a procesos erosivos, lavado de nutrientes, más susceptibles a fenómenos de remociones en masa, con mayores dificultades para la labranza y la aplicación de prácticas agrícolas. Contrasta esta condición con los suelos ubicados en los paisajes de planicie, llanuras y valles, donde los suelos son agradacionales, más evolucionados, mejores para el manejo y menos disposición a procesos de pérdida por erosión, pero susceptibles a fenómenos de inundación.

A continuación se muestran las dos clasificaciones, pero para el análisis de la identificación de los distritos de conservación de suelos, es mejor utilizar la estructura geomorfológica clasificada por paisaje-relieve, dado que es la utilizada en los procesos de identificación taxonómica y estructura las unidades cartográficas de suelos, estandarizados para el territorio Colombiano. Ver tablas 4.4 y 4.5.

Tabla 4.4. Clasificación geomorfológica por categorías de paisaje.

PAISAJE	RELIEVE
MONTAÑA	FILAS Y VIGAS
	LOMAS
	VALLECITOS
	ESPINAZOS, CRESTAS
	CRESTONES, CUESTAS
	DEPRESIONES CARSTICAS
	COLADAS DE LAVA
	CONOS
	GLACIS DE ACUMULACIÓN
COLINADO O LOMERIO	LOMAS Y COLINAS
	VALLECITOS
	MESAS
	CUESTAS Y ESPINAZOS
	GLACIS DE ACUMULACIÓN
	FILAS-VIGAS
	DEPRESIONES CARSTICAS
ALTIPLANICIE O ALTILLANURA	COLINAS
	LOMAS
	MESAS, MESETAS
	CAÑONES
	VALLECITOS
SUPERFICIE DE APLANAMIENTO	CERROS RESIDUALES
	COLINAS Y LOMAS
	MONTES -ISLA
	VALLECITOS
	APLANAMIENTOS
PIEDEMONTES	ABANICOS
	COLINAS Y LOMAS
	LOMAS
	ABANICOS TERRAZA
	GLACIS DE ACUMULACIÓN

	GLACIS DE EROSIÓN
	VALLECITOS COLUVIO ALUVIALES
PLANICIE O LLANURA	PLANO DE INUNDACIÓN
	TERRAZAS
	CAMPOS DE ARENAS
	VALLECITOS
	PLANO DELTAICO
VALLE	PLANO DE INUNDACIÓN

Fuente: Zinck (1987), Villota (1994), IGAC (2000), modificado por IGAC (2007).

Estructura geomorfológico planteado por el IDEAM, (2013), donde se observan las unidades clasificadas por ambientes morfodinámicos, tabla 4.5.

Tabla 4.5. Clasificación geomorfológica por categorías de ambiente morfogenético.

AMBIENTE	SUBAMBIENTE	UNIDAD
ANTROPICO	EMBALSES O LAGUNAS ARTIFICIALES	
	RELLENOS ARTIFICIALES	
	EXPLORACION MINERA SUPERFICIAL	
	CAMARONERAS O ESTANQUES	
	DIQUES	
	CANAL	
DENUACIONAL	SUPERFICIE DE APLANAMIENTO	SUPERFICIE DE APLANAMIENTOS RECIENTES
		SUPERFICIE DE APLANAMIENTO ANTIGUAS
	COLINAS RESIDUALES	COLINA COLUVIAL BAJA
		COLINA COLUVIAL MEDIA
		COLINA COLUVIAL ALTA
	LADERA DENUACIONAL	LADERA DENUACIONAL ESTABLE
		LADERA DENUACIONAL ACTIVA
		LADERA DENUACIONAL MUY ACTIVA
	SUPERFICIE ERIAL	
	ESCARPE DENUACIONAL	
GLACIS	GLACIS DE ACUMULACIÓN	
	GLACIS EROSION	
LADERA COLUVIAL		
FLUVIAL	LLANURA DE INUNDACIÓN	CUBETA DE INUNDACIÓN

		COMPLEJO DE DIQUES Y PALEOCAUCES ANTIGUOS
	VALLE COLUVIO-ALUVIAL	
	CONO ALUVIO-TORRENCIAL	CONO ALUVIO TORRENCIAL RECIENTE
		CONO ALUVIO TORRENCIAL SUBRECIENTE
		CONO ALUVIO TORRENCIAL ANTIGUO
		CONO ALUVIO TORRENCIAL MUY ANTIGUO
	VALLE FLUVIO LACUSTRE	
	VALLE LATERAL	VALLE LATERAL ACTIVO
		VALLE LATERAL OBTURADO
	CIENAGA O LAGUNA FLUVIAL	CIENAGA O LAGUNA PERMANENTE
		ZONAS CENAGOSAS CON INUNDACIONES ESTACIONALES
	ABANICO ALUVIAL	ABANICO ALUVIAL RECIENTE
		ABANICO ALUVIAL SUBRECIENTE
		ABANICO ALUVIAL ANTIGUO
	CAUCE	CAUCE PRINCIPAL
		CAUCE ANTIGUO O PALEOCAUCE
	TERRAZA ALUVIAL	TERRAZA ALUVIAL RECIENTE
		TERRAZA ALUVIAL SUBRECIENTE
		TERRAZA ALUVIAL ANTIGUA
		TERRAZA ALUVIAL MUY ANTIGUA
	VEGA DE DIVAGACIÓN	VEGA DE DIVAGACIÓN ACTIVA
		VEGA DE DIVAGACIÓN INACTIVA
		VEGA DE DIVAGACIÓN ANTIGUA
	ESCARPE(ABANICO,CONO TERRAZA, OTROS)	
GLACIAL	CIRCO GLACIAL	
	CONO FLUVIOGLACIAL	
	LADERAS GLACIADAS	
	MORRENA	
	LAGUNA GLACIAL	
	PLANICIE GLACIAL	
	VALLE GLACIAL	
CARSTICO	CARSTICO RESIDUAL	
	SUPERFICIE CARSTICA CON DOLINAS	
	VALLES CARSTICOS	
ESTRUCTURAL	CRESTA	LADERA ESTRUCTURAL
		ESCARPE ESTRUCTURAL
	ESCARPES TECTÓNICOS	ESCARPES ACTIVOS
		ESCARPES POCO ACTIVOS
		ESCARPES INACTIVOS

	DOMO	
	ESCARPE ESTRUCTURAL	
	FACETA	FACETA CON DISECCIÓN INCIPIENTE FACETA CON DISECCIÓN MODERADA
	LOMERIO	LOMERIO CON DISECCIÓN LEVE LOMERIO CON DISECCIÓN MODERADA LOMERIO CON DISECCIÓN DISECTADO
	CUCHILLA IGNEA	CUCHILLA IGNEA CON DISECCIÓN LEVE CUCHILLA IGNEA CON DISECCIÓN MODERADA CUCHILLA IGNEA DISECTADA
	CUCHILLA METAMÓRFICA	CUCHILLA METAMÓRFICA CON DISECCIÓN LEVE CUCHILLA METAMÓRFICA CON DISECCIÓN MODERADA CUCHILLA METAMÓRFICA DISECTADA
	MONTE ISLA	MONTE ISLA
	CUESTA	CUESTA CON DISECCIÓN LEVE CUESTA DISECTADA
	ESPINAZO	
	BARRA	
	MESETA	
VOLCÁNICO	FLUJO FLUVIO VOLCÁNICO (LAHAR)	FLUJO FLUVIO VOLCÁNICO (LAHAR) RECIENTE
		FLUJO FLUVIO VOLCÁNICO (LAHAR) ANTIGUO
		FLUJO FLUVIO VOLCÁNICO (LAHAR) MUY ANTIGUO
	CRATER VOLCÁNICO	CRATER VOLCÁNICO ACTIVO
		CRATER VOLCÁNICO INACTIVO
	EDIFICIO VOLCÁNICO (CONO)	EDIFICIO VOLCÁNICO RECIENTE (CONO)
		EDIFICIO VOLCÁNICO SUBRECIENTE (CONO)
		EDIFICIO VOLCÁNICO ANTIGUO (CONO)
ESCARPE DE COLADA DE LAVA		
COLADA DE LAVA (FLUJO)		
FLUJO PIROCLÁSTICO(TOBAS)		
MARINO LITORAL	PLAYA	PLAYAS LITORALES ACTUALES
		PLAYAS LITORALES SUBRECIENTES
		PLAYAS ANTIGUAS
	TERRAZA MARINA	TERRAZA MARINA RECIENTE
		TERRAZA MARINA SUBRECIENTE
		TERRAZA MARINA ANTIGUAS

	ACANTILADO	
	ARRECIFE CORALINO	
	DELTAS MARINOS EN RÉGIMEN MICROMARIAL	DELTAS MARINOS ACTUALES EN REGIMEN MICROMARIAL
		DELTAS MARINOS SUBRECIENTES EN REGIMEN MICROMARIAL
		DELTAS MARINOS ANTIGUOS EN REGIMEN MICROMARIAL
	DELTAS MARINOS EN RÉGIMEN MACROMARIAL	DELTAS MARINOS ACTUALES EN REGIMEN MACROMARIAL
		DELTAS MARINOS SUBRECIENTES EN REGIMEN MACROMARIAL
		DELTAS MARINOS ANTIGUOS EN REGIMEN MACROMARIAL
	MARISMA LITORAL DE RÉGIMEN MICROMARIAL	MARISMA LITORAL ACTUAL DE RÉGIMEN MICROMARIAL
		MARISMA LITORAL SUBRECIENTE DE RÉGIMEN MICROMARIAL
	MARISMA LITORAL DE RÉGIMEN MACROMARIAL	MARISMA LITORAL ACTUAL DE RÉGIMEN MACROMARIAL
		MARISMA LITORAL SUBRECIENTE DE RÉGIMEN MACROMARIAL
	CIENAGA LITORAL	
EÓLICO	CAMPOS DE DUNAS	
	MANTOS EÓLICOS	
	LLANURA DE DEFLACIÓN	

Fuente: IDEAM, 2013.

4.1.4. Pendiente. Este indicador un indicador determina la posición topográfica donde se ubica un suelo en función a su horizontal, determina en parte su grado de evolución, y la disponibilidad natural de este para prestar bienes y servicios.

En la medida en que los suelos son más planos, mayor es su grado evolutivo dado su condición de acumulador, mejor disponibilidad a las prácticas agrícolas y menos susceptibles a ser erosionados, pero más fácilmente inundables. A mayor pendiente, mayor disposición a ser arrastrados por la erosión hídrica y por los fenómenos de remoción en masa. En general, la pendiente es un indicador del manejo de los suelos, teniendo presente la relación estrecha con la geomorfología y la profundidad efectiva de estos, ya que cuando se interrelacionan los niveles de cada uno de los indicadores, manifiestan no solo su grado de evolución, sino la susceptibilidad a perderse y su efecto sobre la producción de bienes y servicios cuando se le adiciona el componente de zona climática y aridez.

Los diferentes niveles categóricos establecidos para el indicador de pendiente, los cuales fueron adoptados como parte del proceso para determinar distritos de conservación de suelos, fueron los planteados por Cortes & Malagón (1984), ratificada por la metodología para levantamientos edafológicos utilizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2010). Se privilegió esta clasificación sobre la planteada por USDA (2014) o FAO (2009), debido a que es la que se utiliza en el territorio Colombiano hace más de 50 años en los procesos de levantamientos geomorfológicos y de reconocimiento de suelos, siendo ya estandarizada para dichos fines. Ver tabla 4.6.

Tabla 4.6. Clasificación de la pendiente por categorías según su grado de inclinación.

INTERVALO	PORCENTAJE	TERMINO	SIMBOLO
1	0-3	PLANA	a
2	3-7	LEGERAMENTE INCLINADA	b
3	7-12	MODERADAMENTE INCLINADA	c
4	12-25	FUERTEMENTE INCLINADA	d
5	25-50	LIGERAMENTE ESCARPADA	e
6	50-75	MODERADAMENTE ESCARPADA	f
7	>75	FUERTEMENTE ESCARPADA	g

Fuente: (Cortés y Malagón 1984; IGAC, 2010).

4.1.5. Fertilidad. El indicador de fertilidad en un suelo está íntimamente ligado a la producción de biomasa, bien sea para producción de ecosistemas naturales o para la producción de fibras energéticas al servicio del hombre y su cadena trófica, en definitiva es el alimento natural disponible para la producción de plantas y animales. La fertilidad aporta el conocimiento de la cantidad de nutrientes disponibles, la dinámica de cambio entre ellos, el dominio iónico y las relaciones de equilibrio entre nutrientes. En la medida en que la fertilidad natural baje y se presentes desequilibrios marcados entre nutrientes, la producción de biomasa se ve notoriamente disminuida, ello determina la necesidad de hacer un manejo adecuado de la fertilidad, en relación a las funciones asignadas al suelo.

Suelos ubicados en zonas climáticas húmedas y muy húmedas, geoformas de montañas y colinas, poco profundos, de pendientes fuertemente inclinadas, baja materia orgánica y escasa vegetación, conduce a suelos desaturados, pobres en fertilidad, susceptibles a la erosión y de difícil manejo; contrario a suelos ubicados en geoformas de valles y planicies, profundos, con altos contenidos de materia orgánica, pendiente plana, poco compactados, de zonas climáticas húmedas, donde se favorece las condiciones de fertilidad y su disponibilidad.

Las categorías que se definieron para construir el modelo que facilita la identificación y caracterización de los DCS, fue la estructura plantada por el IGAC (2010), dado que es la avalada por la institucionalidad Colombiana a ser empleada en los procesos de reconocimiento y evaluación de suelos, y se dio prioridad y recomendó por encima de la estructura planteada por (Boul, 1975), (FAO, 2009), (USDA, 2014), que no son aplicadas en el territorio Colombiano. Ver tabla 4.7.

Tabla 4.7. Clasificación de la fertilidad por rangos.

DENOMINACIÓN O CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	RANGO
MUY BAJA	Deficiencia de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fósforo	$\leq 3,6$
BAJA	Bajos contenidos de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fosfatos, pero menos críticos que los anteriores	3,7 - 5,1
MODERADA	Acidez moderada y contenidos medios de nutrientes	5,2 - 6,7
ALTA	Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas	6,8 - 8,3
MUY ALTA	Condiciones muy favorables de disponibilidad de nutrientes para el normal desarrollo de las plantas.	$\geq 8,4$

Fuente: (IGAC, 2010).

4.1.6. Salinidad. El indicador de salinidad no se presenta en todos los suelos, pero cuando se identifica algún exceso de sales en un suelo, indica un estado degradativo de este, que se ve acrecentado en la medida que los iones causantes de sales solubles y sodio se acumulan; los niveles de salinidad se vuelven más críticos y se incrementa su estado cuando se hace presente el sodio en ellos. Ello implica primero tener un conocimiento del estado de acumulación de las sales, los iones que la componen y establecer prácticas adecuadas de manejo para evitar su degradación y devolver al suelo un estado ideal de sostenibilidad.

Normalmente, los suelos con exceso de sales se presentan en áreas de climas áridos, muy secos y secos de geoformas planas a ligeramente onduladas, pendientes planas a ligeramente onduladas, bajos en materia orgánica y de poco vegetación.

Los niveles categóricos de salinidad seleccionados para ser incorporados en el modelo de identificación de DCS, fue el adoptado por el IGAC (2010), en el documento de códigos para los levantamientos agrológicos y el protocolo de degradación de suelos por salinidad del territorio Colombiano (IGAC- IDEAM, 2010), la cual es aplicado en todos los casos de reconocimiento de suelos del territorio nacional, y a su vez, en la clasificación de suelos por sales, según el protocolo de salinidad establecido para el país, ver tabla 4.8; condición que prima sobre otros esquemas de clasificación categórica como los establecidos por la (USDA,2010); (FAO,2015), (Li et al,2007).

Tabla 4.8. Clasificación de los tipos de suelos salinos según su categoría.

CONDUCTIVIDAD (dS/m)	SATURACIÓN DE SODIO	CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN
0 - 2	<15	NORMAL	NORMAL
2 - 4	<15	S1	LIGERAMENTE SALINO
4 - 8	<15	S2	MODERADAMENTE SALINO
8 - 16	<15	S3	FUERTEMENTE SALINO
>16	<15	S4	MUY FUERTEMENTE SALINO
0 - 4	>15	Na	SODICO
4 - 8	>15	S1Na	SALINO-SODICO NIVEL 1
8 - 16	>15	S2Na	SALINO-SODICO NIVEL 2
>16	>15	S3Na	SALINO-SODICO NIVEL 3

Fuente: (IGAC et al, 2010).

4.1.7. Materia Orgánica – MO. El indicador de MO, es una parte fundamental del componente suelos, determina en buena medida su grado evolutivo, dinamiza la actividad química del suelo a través de los procesos de cambio y es parte fundamental de la estructura, la porosidad, la consistencia y el color de un suelo. Es la energía fundamental de los organismos del suelo, los cuales proporcionan algunos de los servicios más importantes que brindan los ecosistemas terrestres, como la fertilidad o su capacidad para producir alimento y actuar como sumidero del CO₂ que se emiten a la atmósfera.

En la medida que un suelo pierde materia orgánica, pierde propiedades y deja de funcionar adecuadamente, igualmente un exceso de materia orgánica, desnaturaliza las condiciones normales y funcionales de un suelo mineral y se convierte en suelo orgánico. El conocimiento adecuado de la concentración de M.O en el suelo, permite definir su manejo, la forma como se comporta y las medidas necesarias para mantener su equilibrio natural.

Las concentraciones y disponibilidad de la MO de un suelo están en función de la profundidad del perfil, la geoforma, la cubierta vegetal y la pendiente del terreno, el dinamismo entre los niveles de cada indicador y su interacción, determina en parte las condiciones de la MO de un suelo.

La estructura categórica definida al interior del indicador de materia orgánica - MO, que se aplica al proceso general para determinar distritos de conservación de suelos, es el rango, según su porcentaje presente en el suelo. No existe una clasificación perfectamente definida ni estándares de categorización, a continuación se plantea una escala en función de su presencia en el suelo. Ver tabla 4.9.

Tabla 4.9. Clasificación categórica de la cantidad de materia orgánica presente en el suelo.

RANGO	PORCENTAJE (%)
DEFICIENTE	< 0,5
BAJA	0,5- 1,5
MEDIA	1,5 -3,5
ALTA	3,5 - 5,0
MUY ALTA	>5

Fuente: La investigación

4.1.8. Profundidad efectiva. Este indicador es importante, ya que determina en parte el grado evolutivo del suelo, las condiciones y prácticas de manejo al hacer uso productivo o al establecer cultivos. A medida que un suelo es más profundo, mayor masa, volumen efectivo y disponibilidad del recurso para disponer de sus condiciones. En la medida en que un suelo es más superficial, se pierde con mayor rapidez por fenómenos de erosión, por acciones de remociones en masa o por cualquier otro fenómeno degradativo. Por consiguiente, es fundamental conocer su profundidad efectiva que va desde muy superficial a muy profunda, para saber cuál es la disponibilidad real del recurso, definir el manejo y establecimiento de prácticas que faciliten su sostenibilidad.

Las categorías seleccionadas para ser aplicadas dentro del indicador de profundidad efectiva para determinar DCS, es la adoptada por el manual de reconocimiento de suelos del IGAC (2010), que a su vez las define el USDA (2014), Datos que se identifica en la tabla 4.10. Esta escala es prácticamente universal y se aplica en la identificación y reconocimiento de suelos. Existen otras propuestas categóricas de profundidad de del perfil del suelo como la planteada por la FAO (2009), pero no aplicable en la taxonomía del territorio Colombiano, por eso no se tomó como referente.

Tabla 4.10. Clases categóricas por profundidad efectiva.

CLASE	PROFUNDIDAD(cm)
MUY SUPERFICIAL	< 25
SUPERFICIAL	25 - 50
MODERADAMENTE PROFUNDA	50 - 100
PROFUNDA	100 - 150
MUY PROFUNDA	> 150

Fuente: (IGAC, 2010).

4.1.9. Compactación. El indicador identifica la resistencia de un suelo a ser penetrado por una fuerza externa y va desde extremadamente baja o menores a 0.01 (Mpa), a extremadamente alta (>8 Mpa), esta condición afecta directamente a la estructura y la densidad de un suelo, condiciones que inciden directamente en la degradación y pérdida de la capacidad natural de un suelo para cumplir sus funciones, es una forma de degradación, que se va incrementando principalmente por el manejo inadecuado del suelo. Su conocimiento, permite definir el estado de compactación del suelo para tomar acciones pertinentes sobre su recuperación y conservación. Un suelo en estado de compactación limita directamente otras propiedades del suelo relacionadas con la disponibilidad de agua, la porosidad, la estructura, la profundidad efectiva y por ende el normal crecimiento de las raíces.

La escala categórica de clasificación al interior de la variable compactación y que se seleccionó para ser usada en el proceso de identificar y caracterizar DCS, es la planteada por el Soil Survey Staff (1993) y adaptado por Arshad et al (1998), categorías que se identifican en la tabla 4.11. La estructura categórica del indicador de compactación seleccionada, es una medida de amplia validez en el entorno universal de los suelo y por consiguiente en el territorio Colombiano, razón por la que se definió para ser usada en el modelo de DCS.

Tabla 4.11. Clasificación categórica por compactación- Resistencia a la penetración.

CLASE DE RESISTENCIA	RESISTENCIA (MPa)
EXTREMADAMENTE BAJA	< 0,01
MUY BAJA	0,01 - 0,1
BAJA	0,1 - 1
MODERADA	1 - 2
ALTA	2 - 4
MUY ALTA	4 - 8
EXTREMADAMENTE ALTA	> 8

Fuente: Adaptado del Soil Survey Staff, 1993, por Arshad et al., 1998

4.1.10. Erosión. El indicador de erosión, al ser analizado en sus diferentes categorías, puede identificarse de acuerdo a la condición actual o potencial.

La condición actual de la erosión identifica aquellas huellas que se manifiestan en un suelo, producto de las pérdidas físicas ya ocurridas del recurso, en tanto, la erosión potencial es aquella que no ha ocurrido y bajo las condiciones actuales de los inductores de la erosión, se puede pronosticar haciendo uso de métodos empíricos, los volúmenes de suelo que se pueden perder.

A continuación se identifican las diferentes categorías de la erosión o el estado de la pérdida física de un suelo, que se seleccionaron para ser incluidas en el proceso de identificación y caracterización de los DCS, de acuerdo a los grados de observación y las predicciones que se pueden predecir.

- **Erosión actual.** Consiste en identificar las áreas de suelo que fueron y están siendo afectadas por algún grado de erosión de diferente intensidad, de acuerdo a los niveles de pérdida del horizonte A, o por la intensidad de la erosión expresada en el grado de afectación del área de la unidad de suelo.

El indicador de erosión, se puede considerar como uno de los más críticos dentro del proceso de degradación de un suelo, de por sí, es un identificador de los volúmenes de suelo que físicamente se han perdido, o se pueden perder; la magnitud o grado de calificación de la erosión manifiesta la

gravedad de la pérdida de un suelo en una zona determinada, e indica el estado en que el recurso ha desaparecido del sitio natural donde se formó en el caso de la erosión actual, o puede desaparecer en el caso de la erosión potencial. La pérdida del suelo, conlleva a la desaparición del recurso y por ende a todo lo que en él se encuentra, y su interacción con los demás recursos del ecosistema como la flora, la fauna, el agua y el aire.

Cuando la erosión se asocia a geoformas de montaña, colinas, piedemonte, a pendientes fuertes, climas extremos y áridos, suelos poco profundos, compactados y escasa cobertura vegetal, aumenta su probabilidad de pérdida. Contrario a si las condiciones de las geoformas son planas, al igual que las pendientes, y donde el suelo es profundo con mucha vegetación y climas húmedos si presencia de condiciones de desertificación, los suelos tienen poca probabilidad de perderse.

El poder identificar y determinar las áreas de suelo afectadas por erosión y su grado, que van desde ligero hasta muy severo, permite conocer de una parte la gravedad del daño y por otra, poder tomar acciones pertinentes para evitar que el suelo siga desapareciendo.

La clasificación de los rangos de erosión que se adoptó para ser incorporada al modelo de identificación y caracterización de DCS, fue por una parte, la relacionada con el grado de erosión actual considerando la pérdida del horizonte A, en este caso se utilizó la estructura categórica planteada por IGAC et al (2010) adaptada de USDA (2003). Ver tabla 4.12. Dicha clasificación es casi adoptada por todas las escuelas que hacen estudios de erosión a nivel mundial y específicamente para Colombia es la que se ha utilizado en muchos de los estudios que determinaron erosión del suelo. Dado su carácter casi universal, se mantuvo y adoptó este esquema de clasificación.

Tabla 4.12. Grado de erosión del suelo en función de la pérdida del horizonte A.

GRADO	Perdida de suelo
No apreciable	No se aprecia
Ligero	<25% horizonte A
Moderado	Del 25 -75% del horizonte A
Severo	>75% del horizonte A
Muy severo	Pérdida total del Horizonte A.

Fuente: IGAC et al 2010 adaptada de USDA, 2003.

Una segunda estructura categórica de la erosión actual que se adoptó, y es la planteada para ser utilizada en la determinación de los DCS, es la que se realiza cuando se identifica la erosión actual en función del área de la unidad de suelo. En este caso, se utilizó la estructura categórica planteada por FAO (1995). Ver tabla 4.13. Esta estructura de clasificación es adoptada por la mayoría de los países en estudios de erosión, específicamente para Colombia es la que se ha utilizado siempre en los estudios que determinaron erosión del suelo, y en el protocolo de degradación de suelos del territorio Colombiano. Dada su universalidad, se adoptó.

Tabla 4.13. Grado de erosión del suelo en función del área afectada.

GRADO	DESCRIPCION	% Área suelo afectado
Nulo a no apreciable	No se aprecia pérdida de suelo por arrastre superficial	0-5
Ligero	Alguna evidencia de daño a los horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran intactas.	5-10
Moderado	Evidencia clara de remoción de los horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran parcialmente destruidas.	10-25
Severo	Horizontes superficiales completamente removidos y los horizontes su superficiales expuestos. Las funciones bióticas originales ampliamente destruidas	25 - 50
Muy severo	Remoción sustancial de los horizontes subsuperficiales (badlands, tierras malas). Las funciones bióticas originales fueron completamente destruida	>50

Fuente: FAO, 1995.

- **Erosión potencial.** Evalúa predictivamente la erosión pluvial del suelo, en términos de unidades de masa, es decir en toneladas de suelo a ser perdido por unidad de área.

Los rangos o niveles categóricos de erosión, adoptados y planteados para la identificación y caracterización de los DCS, fueron los expuestos por Wischmeier & Smith (1978), en la denominada Ecuación Universal de Pérdida de Suelo – USLE, y su posterior modificación o revisión como (MUSLE o RUSLE), igualmente adoptada por Colombia a través del IGAC, IDEAM, MAVDT (2010), en los estudios predictivos de pérdida de suelos, dado su carácter de universalidad que presenta su uso, ver Tabla 4.14. Otras estructuras de clasificación planteadas

por Williams (1984), Arnolt et al (1990), Elwell (1981), UE (1992); no se tomaron como referente para categorizar el indicador de erosión potencial e incorporarlo al proceso de DCS, debido a que es muy particular, según su alcance investigativo, y no presenta conocimiento universal.

Tabla 4.14. Rangos por intensidad o grado de la erosión potencial en T/ha/año.

INTENSIDAD O GRADO DE LA EROSIÓN	Perdida de suelo (T/ha/año)
Sin erosión	<10
Muy baja	10-25
Baja	25-50
Moderada	50-100
Alta Muy alta	>100

Fuente: Wischmeier & Smith, 1978; Pérez, 2000; IGAC, IDEAM, MAVDT, 2010.

4.1.11. Coberturas y usos del suelo. Es relevante e importante identificar la vegetación en los estudios del medio físico teniendo en cuenta el papel que desempeña este elemento como asimilador básico de la energía solar, constituyéndose así en productor primario de la mayoría de los ecosistemas, la base de las redes tróficas y de importantes relaciones con el resto de los componentes bióticos y abióticos; la vegetación estabiliza las pendientes, retarda la erosión, reduce el impacto en el suelo de las gotas de agua, influye en el mantenimiento de la producción de agua, mantiene microclimas locales y es el hábitat de las especies animales.

Este indicador determina el grado de alteración del suelo en función de la cobertura original, el conocimiento del uso y la cobertura del suelo, permite realizar contrastes con las condiciones y potencialidades del suelo para definir el uso adecuado o inadecuado de este, igualmente se identifica el grado de alteración y se dimensiona las posibles afectaciones del recurso, lo mismo que poder establecer la mejor alternativa para su protección.

Las categorías establecidas para este indicador y adoptadas para ser incorporados al proceso de identificación y caracterización de DCS, es la planteada por CORINE Land Cover (1994), y adaptada para Colombia por el IDEAM (2010), datos que se identifican en la tabla 4.15. Se seleccionó este sistema categórico para ser incorporado al modelo de DCS, debido a que es la

estructura avalada por la institucionalidad Colombiana para la clasificación de usos y coberturas del suelo, otras clasificaciones planteadas por el IGAC (1985), CORPOICA (2002), USDA (2010), son propuestas por cada instituciones según su desempeño e interés específico, pero no poseen códigos comunes acordes al lenguaje institucional Colombiano.

Tabla 4.15. Niveles categóricos de la cobertura y usos de la tierra.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6		
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo					
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo					
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales					
		1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados				
		1.2.3. Zonas portuarias					
		1.2.4. Aeropuertos					
		1.2.5. Obras hidráulicas					
	1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera					
		1.3.2. Zonas de disposición de residuos					
	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas		1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas			
				1.4.1.2. Parques cementerio			
				1.4.1.5. Parques urbanos			
		1.4.2. Instalaciones recreativas		1.4.2.1. Áreas culturales			
				1.4.2.2. Áreas deportivas			
				1.4.2.3. Áreas turísticas			
	2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios				
2.1.2. Cereales			2.1.2.2. Maíz				
			2.1.2.3. Arroz				
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas							
2.1.4. Hortalizas							
2.1.5. Tubérculos		2.1.5.1. Papa					
2.2. Cultivos permanentes		2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos				
			2.2.1.2. Caña	2.2.1.2.2 Caña Panelera			

				2.2.1.2.3 Caña Azucarera	
			2.2.1.3. Plátano y banano		
			2.2.1.4. Tabaco		
			2.2.1.5. Papaya		
			2.2.1.6. Amapola		
			2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	
		2.2.2.2. Café			
		2.2.2.3. Cacao			
		2.2.2.4. Viñedos			
		2.2.2.5. Coca			
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes Arbóreos		
			2.2.3.2. Palma de Aceite		
			2.2.3.3. Cítricos		
			2.2.3.4. Mango		
			2.2.3. 5. Otros frutales		
	2.2.3.6. Cultivos bajo cubierta(invernaderos)				
	2.2.4. Cultivos agroforestales				
	2.2.5. Cultivos confinados				
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios			
		2.3.2. Pastos arbolados			
		2.3.3. Pastos enmalezados			
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de cultivos			
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos			
		2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales			
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales			
		2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales			
	3. BOSQUES Y AREAS SEMI NATURALES	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque Denso	3.1.1.1. Bosque Denso Alto	3.1.1.1.1. Bosque Denso Alto de Tierra Firme
				3.1.1.1.2. Bosque Denso Alto Inundable	
3.1.1.2. Bosque Denso Bajo				3.1.1.2.1. Bosque Denso Bajo de Tierra Firme	
				3.1.1.2.2. Bosque Denso Bajo Inundable	
3.1.2. Bosque Abierto			3.1.2.1. Bosque Abierto Alto	3.1.2.1.1. Bosque Abierto Alto de Tierra Firme	

			3.1.2.1.2. Bosque Abierto Alto Inundable	
		3.1.2.2. Bosque Abierto Bajo	3.1.2.2.1. Bosque Abierto Bajo de Tierra Firme	
			3.1.2.2.2. Bosque Abierto Bajo Inundable	
	3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.3.1. Bosques fragmentados con pastos y cultivos		
		3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria		
	3.1.4. Bosque de galería y ripario			
	3.1.5. Plantación forestal			
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazales	3.2.1.1. Herbazal Denso	3.2.1.1.1. Herbazales Densos de tierra firme	3.2.1.1.1.1. Herbazal Denso de Tierra Firme no arbolado
				3.2.1.1.1.2. Herbazal Denso de Tierra Firme arbolado
				3.2.1.1.1.3. Herbazal Denso de Tierra Firme con arbustos
			3.2.1.1.2. Herbazales Densos Inundable	3.2.1.1.2.1. Herbazal Denso inundable no arbolado
				3.2.1.1.2.2. Herbazal Denso inundable arbolado
				3.2.1.1.2.3. Arracachal
				3.2.1.1.2.4. Helechal
	3.2.1.2. Hebazal abierto	3.2.1.2.1. hebazal abierto arenoso		
		3.2.1.2.2. hebazal abierto rocoso		
	3.2.2. Arbustal	3.2.2.1. Arbustal denso		
		3.2.2.2. Arbustal abierto		
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.1. Vegetación Secundaria Alta		
3.2.3.2. Vegetación Secundaria Baja				
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.1. Zonas arenosas naturales			
	3.3.2. Afloramientos rocosos			
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas			

		3.3.4. Zonas quemadas			
		3.3.5. Zonas glaciares y nivales			
		3.3.6. Vegetación xerofítica			
4. AREAS HUMEDAS	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Zonas Pantanosas			
		4.1.2. Turberas			
		4.1.3. Vegetación acuosa sobre cuerpos de agua			
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.1. Pantanos costeros			
		4.2.2. Salitral			
		4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar			
5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos			
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales			
		5.1.3. Canales			
		5.1.4. Cuerpos de agua artificiales			
	5.2. Aguas marítimas	5.2.1. Lagunas costeras			
		5.2.2. Mares y océanos			
		5.2.3. Estanques para acuicultura marina			

Fuente: IDEAM, 2010.

4.2. Caracterización de los indicadores seleccionados en el proceso de identificación de DCS

Luego de haber parametrizado las variables o indicadores, se procede a realizar la caracterización de cada uno de ellos, para tener un conocimiento (diagnóstico), que permite saber el y estado actual y su distribución espacial del mismo dentro del área de estudio establecida.

El punto de partida para la identificación y caracterización de los DCS, es tener un diagnóstico o reconocimiento de los suelos del área seleccionada para el estudio, a nivel taxonómico y de unidades cartográficas de suelos. Esta condición es imprescindible en la aplicación del proceso que permite definir DCS.

Si no existe el levantamiento de suelos como base inicial, antes de entrar a caracterizar los indicadores, se debe realizar el estudio respectivo siguiendo las normas técnicas de la autoridad en esta materia, en este caso el IGAC (2010).

4.2.1. Caracterización de la zona climática. Se realiza un estudio de los parámetros climáticos de precipitación, temperatura, humedad, evaporación y brillos solar, para que finalmente se logre identificar la interrelación de la evaporación con la precipitación, para obtener un coeficiente que en función del piso térmico, permita realizar la clasificación climática, describir sus propiedades, definir áreas y mostrar la distribución espacial de la zona climática respectiva, en el área de estudio seleccionada.

4.2.2. Caracterización del índice de aridez. Sensibilizando un poco la condición del clima, se toman los mismos parámetros que definen la zona climática y se determina la evapotranspiración potencial que al ser relacionada con la precipitación determina el coeficiente o índice de aridez, la cual se especializa en el área de estudio definida, identificando el comportamiento y área de influencia según se presente.

4.2.3. Caracterización de la geomorfología. Del área de estudio seleccionada, se identifican las diferentes unidades de paisaje y los tipos de relieve, asociados a la geología que les dio origen, se muestra su distribución espacial con su símbolo y nombre respectivo, según como se presenten en el área de estudio, describiendo sus atributos, comportamiento y área de influencia.

4.2.4. Caracterización de la pendiente. Se describen los diferentes niveles de pendiente siguiendo la escala definida, expresadas en porcentaje, los resultados de la caracterización y se analizan adecuadamente, para luego ser representados cartográficamente con la simbología respectiva.

4.2.5. Caracterización de la fertilidad. Teniendo como referencia el área de estudio, se identifican los elementos (Ca, Mg, Na, K, P, Cu, Fe, MN, Zn, Al, y pH), que permiten determinar la clase de fertilidad que posee el suelo, se hace una caracterización por cada una de las unidades cartográficas de suelos-UCS, se analiza el comportamiento e interacción entre ellos, según la concentración en que se manifiestan se procede a determinar el grado de fertilidad de un suelo; los resultados se agrupan por categorías y describen adecuadamente, finalmente se representan cartográficamente en mapas a escala.

4.2.6. Caracterización de la salinidad. Se hace un diagnóstico de la concentración de los elementos en solución que posee un suelo (Ca, Mg, Na, K, P, Cu, Fe, MN, Zn, Al, y pH, CE, PSI), se analizan e interpretan los niveles de salinidad, siguiendo la escala de suelos: normales, salinos, salino-sódicos o sódicos; dichos resultados se describen adecuadamente, con posterioridad se muestra espacialmente el comportamiento de la salinidad del área estudiada en mapas a escala, identificándolos con símbolos según su condición.

4.2.7. Caracterización de la materia orgánica. De este indicador se identifica la concentración de MO que posee un suelo, luego por cada UCS del área definida en el estudio, se categoriza y se describe apropiadamente, los resultados se estructuran con base la leyenda predefinida y se muestran espacialmente en mapas a escala.

4.2.8. Caracterización de la profundidad efectiva. La caracterización de este indicador empieza con la identificación cuantitativa de la profundidad que posee el perfil modal, de cada una de las unidades cartográficas de suelo-UCS definidas en el área de estudio, a cada una de ellas se le asigna el valor correspondiente, luego se agrupan por rangos según la escala predefinida, se describen sus condiciones y se especializan los resultados en mapas a escala.

4.2.9. Caracterización de la compactación. Se identifica y mide en este indicador, los niveles de compactación en el horizonte A y en ocasiones B, de cada una de las unidades taxonómicas o perfiles modales que representan las UCS del área de estudio seleccionada; posteriormente se agrupan según las categorías predefinidas, se les coloca el símbolo

respectivo, se describen cada una de ellas resaltando los atributos más sobresalientes, finalmente se espacializan en mapas a escala.

4.2.10. Caracterización de la erosión. Una vez definida el área de estudio, a este indicador se le identifican las condiciones en que se encuentran los agentes causantes de la erosión tanto activos como pasivos: (agua, erosividad), viento, geoforma, pendiente, resistencia del suelo a la degradación (erodabilidad), cobertura vegetal y prácticas de protección, que luego ser correlacionados, analizados e interpretados adecuadamente, generan los insumos necesarios para construir el diagnóstico de la erosión de la zona, expresando sus resultados espacialmente en mapas a escala por las categorías resultantes.

4.2.11. Caracterización de la cobertura y uso del suelo. Se realiza la identificación de las coberturas y usos del suelo de la zona de estudio seleccionada, los resultados se expresan siguiendo la estructura categórica de este indicador correspondiente a: territorios artificialidades, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y superficies de agua. Luego de documentar los resultados, estos se expresan espacialmente en mapas a escala, siguiendo la estructura cartográfica para este tipo de estudios.

De manera resumida, a continuación se identifica en la tabla 4.16, los productos resultantes que se deben tener fruto de la caracterización de los indicadores seleccionados para el modelo de identificación y caracterización de DCS.

Tabla 4.16. Productos necesarios para construir el modelo de DCS.

TEMÁTICA DE CARACTERIZACIÓN	PRODUCTO
SUELOS BASE	Mapa de suelos con la leyenda respectiva y la memoria técnica descriptiva.
ZONA CLIMÁTICA	Mapa de zonas climáticas acorde a las categorías seleccionadas, con la memoria técnica descriptiva.
INDICE DE ARIDEZ	Mapa de índice de aridez acorde a las categorías seleccionadas, con la memoria técnica descriptiva.
GEOMORFOLOGÍA	Mapa de geomorfología acorde a las categorías seleccionadas, con la memoria técnica descriptiva.
PENDIENTE	Mapa de pendientes acorde a las categorías seleccionadas, con la memoria técnica descriptiva.
FERTILIDAD	Mapa de fertilidad de los suelos, acorde a las categorías seleccionadas, tomando como base los polígonos del mapa de suelos, con la memoria técnica descriptiva.
SALINIDAD	Mapa de salinidad de los suelos, acorde a las categorías seleccionadas, tomando como base los polígonos del mapa de suelos, con la memoria técnica descriptiva.
MATERIA ORGÁNICA	Mapa de materia orgánica de los suelos, acorde a las categorías seleccionadas, tomando como base los polígonos del mapa de suelos, con la memoria técnica descriptiva.
PROFUNDIDAD EFECTIVA	Mapa de profundidad efectiva de los suelos, acorde a las categorías seleccionadas, tomando como base los polígonos del mapa de suelos, con la memoria técnica descriptiva.
COMPACTACIÓN	Mapa de compactación de suelos, acorde a las categorías seleccionadas, tomando como base los polígonos del mapa de suelos, con la memoria técnica descriptiva.
EROSIÓN (ACTUAL O POTENCIAL).	Mapa de erosión, acorde a las categorías seleccionadas, con la memoria técnica descriptiva.
COBERTURA Y USO DEL SUELO	Mapa de cobertura y uso del suelo, acorde a las categorías seleccionadas, con la memoria técnica descriptiva.

Fuente: La investigación

4.3. Asignación de índices a los indicadores por el método del estándar 10 (E₁₀)

4.3.1 El método del estándar 10 – E₁₀. Una vez establecidas las variables o indicadores seleccionados para caracterizar e identificar los DCS en sus diferentes categorías, se puede observar que el número de categorías en cada indicador o variable son disimiles, como ejemplo se muestra que la aridez tiene 5 niveles, contrastando con los usos y coberturas del suelo que tiene 55, y así para las demás variables que oscilan entre estos datos extremos, tabla 4.17. Esta condición dificulta tener una estructura de datos fácilmente manejables a la hora de hacer la interacción entre las diferentes variables y categorías, volviendo complejo el análisis.

Tabla 4.17. Categorías establecidas en los indicadores o variables seleccionadas para identificar DCS.

ORDEN	INDICADOR	CATEGORÍAS	ADICIONAL	SÍMBOLO
1	ZONA CLIMATICA	26		CL
2	ÍNDICE ARIDEZ	5		A
3	GEOMORFOLOGÍA - PAISAJE O SUBAMBIENTE	39	110	G
4	PENDIENTE	7		P
5	FERTILIDAD	5		F
6	SALINIDAD	9		S
7	MATERIA ORGÁNICA	5		MO
8	PROFUNDIDAD EFECTIVA	5		PE
9	COMPACTACIÓN	7		C
10	EROSIÓN (ACTUAL O POTENCIAL)	5		E
11	USOS Y COBERTURAS DEL SUELOS	55		U
12	EXPANSIÓN URBANA	1		
13	INTERÉS CIENTÍFICO	1		
14	INTERÉS CULTURAL	1		
15	INTERÉS AMBIENTAL	1		

Si se usara la estructura directa de interacción y combinaciones categórica de las diferentes variables, las posibles combinaciones que pueden presentarse en un territorio con las 11 variables seleccionadas para identificar DCS, ascienden a 76.858'031.250, considerada una cifra inmanejable y de extremo detalle.

Dada esta condición, se vio la necesidad de racionalizar en manejo y análisis de la información, para lo cual se creó el método denominado “**Estándar 10 – E₁₀**”, consistente en realizar una recategorización o reagrupación de los parámetros que posee cada variable, para ser estandarizados en escalas que van de 0 a 10, de tal forma que todos los rangos en que se dividen los indicadores seleccionados en el modelo queden escalados de 0 a 10, según su condición. Para ello se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Reagrupar las categorías del indicador, según el nivel de semejanza.
2. Homogeneizar la información a una sola estructura de datos.
3. Tener control de las variables a evaluar.

4. Asignar un índice (valor adimensional), o valor del impacto a cada categoría, dentro de cada indicador.
5. Poder obtener información intermedia de forma racional, que permita hacer análisis estadísticos y representarlos espacialmente en datos cartográficos.
6. Hacer análisis más efectivos.

La escala de valores que se identifican en el estándar 10, y que permite con ella hacer la recategorización de los parámetros de los indicadores seleccionados para definir los DCS, va de 0 a 10.

Se tomó como punto de análisis cada uno de los parámetros de los indicadores y su impacto en el modelo que finalmente define los DCS, a cada una de ellos se le asignó un puntaje según su grado de impacto, en una escala que va de 0 a 10, como se identifica a continuación:

INDICE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IMPACTO	NULO	EXTREMADAMENTE BAJO	MUY BAJO	BAJO	MEDIO BAJO	MEDIO	MEDIO ALTO	ALTO	ALTO ALTO	MUY ALTO	EXTREMADAMENTE ALTO

Lo anterior condujo a asignar valores numéricos según las categorías que corresponden a cada indicador, el cual se califica con un número según su grado de “impacto”, fruto de las condiciones o actuación que sobre él se hayan desarrollado.

Se aclara que en la escala propuesta, el valor de cero “0”, corresponde a aquellas coberturas sobre la superficie del área estudiada que tienen alguna condición especial y carecen de suelo como son los cuerpos de agua, los afloramientos rocosos y las zonas urbanizadas, en cuyo impacto sobre el suelo es nulo, ya que no existe. Por lo demás, cuando se habla de áreas de suelo propiamente dicha, los valores de impacto que se aplican van de 1 a 10.

En la medida en que los parámetros de la variable o indicador categorizado avanza de uno “1” a diez “10”, el grado de impacto o afectación sobre el suelo es negativamente mayor; o bien, a medida que crece el número en el índice de impacto en el modelo, el suelo es más vulnerable a ser degradado o a perder su calidad (funciones). A índices de impacto mayores, se aumenta la probabilidad del indicador de ser parte del modelo que identifica y caracteriza los DCS.

Cada uno de los indicadores con sus respectivos niveles categóricos, a través de la técnica de paneles de expertos se les predefine el índice respectivo en la escala de “0” a “10”, según su condición. DE esta forma quedando asignado el índice a cada una de las categorías de los indicadores, para posteriormente ser utilizados en el modelo de proceso, de acuerdo a los resultados derivados de la etapa de caracterización.

Con posterioridad a esta asignación, se grafica el indicador por sus respectivos niveles o categorías, los cuales sirven de referencia cuando se está aplicando el modelo en un área definida, con ello se puede hacer uso bien sea de la tabla numérica o de la gráfica indicativa para su calificación, según lo encontrado.

Los mecanismos de categorización y aplicación de índices para cada uno de los indicadores seleccionados, se explica a continuación a través del indicador de erosión.

Si se considera el indicador de erosión con sus diferentes categorías, entonces un área de suelos categorizada en el rango de no apreciable o muy baja, se califica con el índice de impacto “2”, categorizado como bajo en la definición de DCS, en tanto si la categoría o grado en que se encuentre la erosión es muy severa, el índice que se asigna a esta categoría será de diez “10”, es decir que el impacto para definir DCS es extremadamente alto.

Los indicadores seleccionados para identificar y caracterizar DCS, contienen todas las categorías en que se pueden dividir, según su condición; por consiguiente, es considerado el indicador patrón de referencia al que se le asignan el equivalente de impacto del E_{10} , a cada una de sus categorías (recategorización).

4.3.2. Asignación del índice E_{10} , a las categorías del indicador de la zona climática.

Para asignar el índice de impacto sobre las categorías del indicador de zona climática, se determinó cuál es el efecto en el suelo por una condición u otra de este indicador. Los análisis muestran que si la evaporación es muy superior a la precipitación según se presente en un piso térmico, el índice de impacto es mayor en suelo, es decir que

el suelo no va a contar con la cantidad de agua natural suficiente para cumplir sus funciones principales, y otras que de él se deriven, llevando el suelo a presentar deficiencias de humedad o baja disponibilidad efectiva de agua; lo mismo ocurre cuando los niveles de precipitación superan ampliamente los de evaporación, en este caso los suelos pueden sufrir de encharcamiento o excesivo lavado, aquí los índices también son calificados con los valores más altos; contrario a lo que pasa si la relación evaporación/precipitación, deja una cantidad de agua ideal en el suelo para que su evolución y oferta natural sean las más adecuadas, y mantenga su equilibrio según su estado.

Luego de la calificación y adjudicación, se muestra que a mayor deficiencia hídrica mayor índice, al igual que cuando hay exceso de agua disponible en el suelo; mientras que a medida que los niveles de agua en la zona sean adecuados e ideales para el suelo, menor índice. Esto indica que un índice climático calificado con valores entre 6 a 10 afecta negativamente al suelo bien sea por sequía o inundaciones, en cambio, suelos cuyo índice climático es menor a 6, presentan condiciones más favorables para el desarrollo de las actividades que se presenten en el suelo y menos riesgo de deterioro. Las categorías de impacto por zona climática estandarizada para el modelo se identifican en la tabla 4.18.

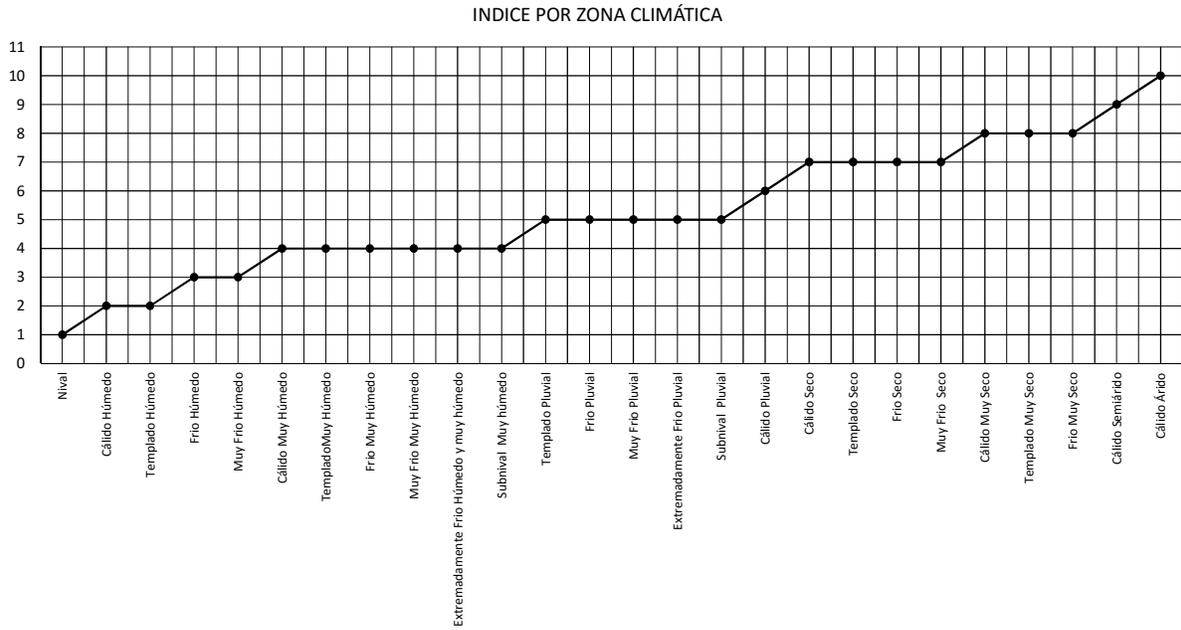
Tabla 4.18. Índices (E₁₀) de los parámetros del tipo de clima por zonas climáticas.

PISO TÉRMICO (msnm)	TEMPERATURA (°C)	CLIMA	ZONA CLIMÁTICA	PRECIPITACION (mm/año)	Evap/Precip (mm)	ÍNDICE DE IMPACTO (E ₁₀)
0 - 1000	>24	CÁLIDO	Árido	<250	>8	10
			Semiárido	250 - 500	8-4	9
			Muy Seco	500 - 1.000	4-2	8
			Seco	1.000 - 2.000	2-1	7
			Húmedo	2.000 - 4.000	1-0,5	2
			Muy Húmedo	4.000 - 8.000	0,5-0,25	4
			Pluvial	>8.000	0,25-0,125	6
1000 - 2.000	18 - 24	TEMPLADO	Muy Seco	<500	>2	8
			Seco	500 - 1.000	2-1	7
			Húmedo	1.000 - 2.000	1-0,5	2
			Muy Húmedo	2.000 - 4.000	0,5-0,25	4
			Pluvial	>4000	0,25-0,125	5
	12 - 18	FRIO	Muy Seco	<500	>2	8

2.000 - 3.000			Seco	500 - 1.000	2-1	7
			Húmedo	1.000 - 2.000	1-0,5	2
			Muy Húmedo	2.000 - 4.000	0,5-0,25	3
			Pluvial	>4000	0,25-0,125	5
3.000 - 3.600	8 - 12	MUY FRIO	Seco	<500	2-1	7
			Húmedo	500 - 1.000	1-0,5	2
			Muy Húmedo	1.000 - 2.000	0,5-0,25	3
			Pluvial	>2.000	0,25-0,125	5
3.600 - 4.200	4 - 8	EXTREMADAMENTE FRIO	Húmedo y muy húmedo	501-1.000	1-0,25	4
			Pluvial	1.000-2.000	0,25-0,125	5
4.200 - 4.700	1,5 - 4	SUBNIVAL	Muy húmedo	2.000-3.000	0,5-0,25	4
			Pluvial	3.000-7.000	0,25-0,125	5
>4.700	<1.5	NIVAL				1

Como resultado de la adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E₁₀, convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráfica 4.1.

Gráfica 4.1. Índices de los parámetros del tipo de clima por zonas climáticas.



4.3.3. Asignación del índice E_{10} , a las categorías del indicador de aridez. Para determinar el índice de impacto de las zonas áridas, se tomaron los parámetros de aridez y se les calificó en la escala de 0 a 10, para ser introducidas en el modelo de DCS, otorgando el mayor valor a las zonas definidas como áridas y que tienden a la desertificación, en donde los suelos debido a la falta de agua disponible, dejan cada vez más de cumplir sus funciones básica y su oferta natural se vuelve limitada, con mayor tendencia a la degradación y desaparición del recurso, la relación establecida es inversa es decir que a mayor deficiencia de agua efectiva mayor índice y viceversa. Los índices altos califican condiciones de aridez más extremas y por ende afectaciones más severas al suelo, contrario a los índices de aridez más bajos, que a pesar de estar en la escala de árido, implica afectaciones menos severas al suelo. Ver tabla 4.19.

Las zonas donde no hay intervención humana y donde los niveles de evapotranspiración potencial superan en 200 veces los niveles de precipitación (zonas hiperbárica), se denomina desierto, por ser el desierto una condición natural, el índice aplicado es “0”, ya que esta categoría no es tenida en cuenta en la construcción del modelo que identifica y caracteriza DCS.

Tabla 4.19. Índices (E_{10}) de los parámetros de aridez.

RELACION (P/ETP)	TIPO DE CLIMA	SÍMBOLO	ÍNDICE DE IMPACTO (E_{10})
Menor de 0.05	Hiperbárico (verdadero desierto climático)	HB	0
De 0.05 a 0.20	Árido (Sujeto a desertificación)	A	10
De 0.20 a 0.45	Semiárido (Sujeto a desertificación)	SA	7
De 0.45 a 0.70	Sub húmedo seco (Sujeto a desertificación)	SH	5
Mayor que 0.70	Húmedo (Sujeto a desertificación)	H	3

Una vez se realizara la adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E_{10} , convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráfica 4.2.

Gráfica 4.2. Índices de los parámetros de aridez.



4.3.4. Asignación del índice E₁₀, a las categorías del indicador de geomorfología. Aquí se tuvo en cuenta la dinámica de las fuerzas pasivas (gravedad) y activas (agua, viento, hombre), que pueden influenciar en una geoforma donde se encuentra un suelo, y la potencialidad que este tienen para degradarse o agradarse.

Se midió la influencia de la estabilidad del suelo en la geoforma, al igual que la calificación de las variables anteriores y siguiendo la metodología de impactos, se valoraron los índices para ser incluidas en el modelo de distritos de conservación de suelo, la asignación de los índices más cercanos a 10, es donde actúan las fuerzas más críticas y el suelo presenta mayor inestabilidad, contrario a los valores cercanos a cero, donde las fuerzas activas y pasivas son menores y el suelo alcanza mayor estabilidad, incluso incurre en fenómenos agradacionales.

Suelos ubicados en un paisaje de montaña en relieve de espinazcos y crestas, donde el índice aplicado fue 10, actúan fuerzas activas y pasivas con mayor rigor, que conducen a la pérdida rápida del recurso; contrastando con suelo ubicado paisaje de planicie o llanura en relieve de terrazas donde el índice adjudicado fue de 3, en este tipo de paisajes las fuerzas activas y pasivas ejercen menor impacto sobre el suelo, y este tienen una mínima tendencia a la pérdida física.

Cuando se asignan índices altos a las geoformas clasificadas por ambiente morfogenético, los valores más altos se encuentran en aquellos ambiente de tipo denudacional y subambiente de escarpe denudacional, el índice adjudicado fue de 10, en este caso los suelos son más susceptibles a degradarse y perderse que si se ubican en un ambiente fluvial y subambiente coluvio-aluvial, cuyo índice adjudicado fue de 2, en este caso hay una alta estabilidad de los materiales y puede ocurrir antes procesos agradacionales de suelos.

Las tablas 4.20 y 4.21, identifican los índices adjudicados a las unidades geomorfológicas según su condición, que se emplearán en el modelo de DCS.

➤ **Índice geomorfológico por tipo de paisaje**

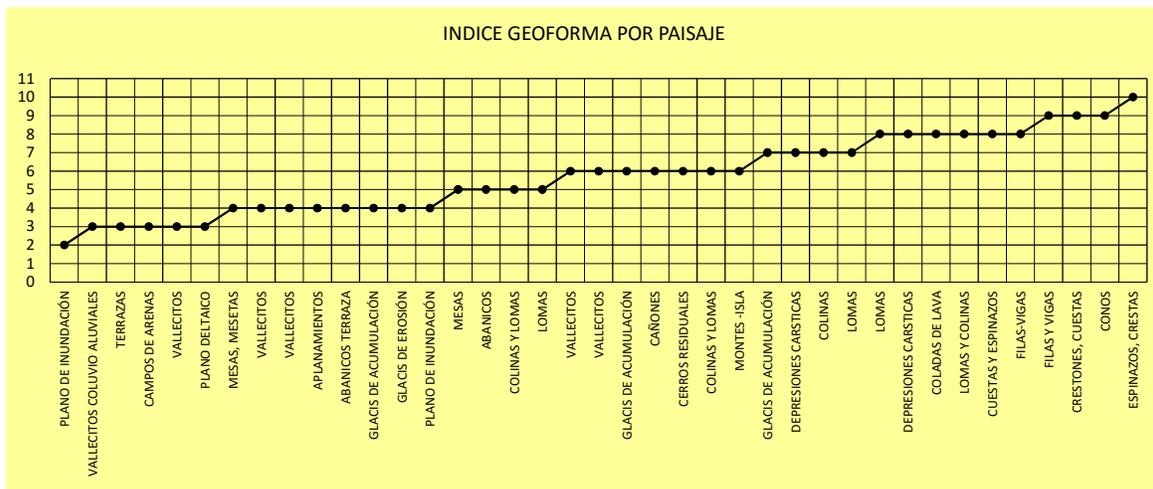
Tabla 4.20. Índices (E₁₀) de los parámetros de geomorfología por tipo de paisaje.

PAISAJE	RELIEVE	ÍNDICE DE IMPACTO (E ₁₀)
MONTAÑA	FILAS Y VIGAS	9
	LOMAS	8
	VALLECITOS	6
	ESPINAZOS, CRESTAS	10
	CRESTONES, CUESTAS	9
	DEPRESIONES CARSTICAS	8
	COLADAS DE LAVA	8
	CONOS	9
	GLACIS DE ACUMULACIÓN	7
COLINADO O LOMERIO	LOMAS Y COLINAS	8
	VALLECITOS	6
	MESAS	5
	CUESTAS Y ESPINAZOS	8
	GLACIS DE ACUMULACIÓN	6
	FILAS-VIGAS	8
	DEPRESIONES CARSTICAS	7
ALTIPLANICIE O ALTILLANURA	COLINAS	7
	LOMAS	7
	MESAS, MESETAS	4
	CAÑONES	6
	VALLECITOS	4
SUPERFICIE DE APLANAMIENTO	CERROS RESIDUALES	6
	COLINAS Y LOMAS	6
	MONTES -ISLA	6
	VALLECITOS	4
	APLANAMIENTOS	4
PIEDEMONTE	ABANICOS	5
	COLINAS Y LOMAS	5
	LOMAS	5
	ABANICOS TERRAZA	4
	GLACIS DE ACUMULACIÓN	4
	GLACIS DE EROSIÓN	4
	VALLECITOS COLUVIO ALUVIALES	3
PLANICIE O LLANURA	PLANO DE INUNDACIÓN	4
	TERRAZAS	3

	CAMPOS DE ARENAS	3
	VALLECITOS	3
	PLANO DELTAICO	3
VALLE	PLANO DE INUNDACIÓN	2

Como resultado de adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E₁₀, convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráficas 4.3.

Gráfica 4.3. Índices de los parámetros de geomorfología por tipo de paisaje.



➤ **Índice geomorfológico por ambiente morfogenético**

Tabla 4.21. Índices (E₁₀) de los parámetros de geomorfología por ambiente morfogenético.

AMBIENTE	SUBAMBIENTE	UNIDAD	ÍNDICE DE IMPACTO (E ₁₀)
ANTROPICO	EMBALSES O LAGUNAS ARTIFICIALES		0
	RELLENOS ARTIFICIALES		0
	EXPLORACION MINERA SUPERFICIAL		0
	CAMARONERAS O ESTANQUES		0
	DIQUES		0
	CANAL		0
DENUDACIONAL	SUPERFICIE DE APLANAMIENTO	SUPERFICIE DE APLANAMIENTOS RECIENTES	7
		SUPERFICIE DE APLANAMIENTO ANTIGUAS	7
	COLINAS RESIDUALES	COLINA COLUVIAL BAJA	8
		COLINA COLUVIAL MEDIA	8
		COLINA COLUVIAL ALTA	8
	LADERA DENUDACIONAL	LADERA DENUDACIONAL ESTABLE	7
		LADERA DENUDACIONAL ACTIVA	8
		LADERA DENUDACIONAL MUY ACTIVA	9
	SUPERFICIE ERIAL		10
	ESCARPE DENUDACIONAL		10
	GLACIS	GLACIS DE ACUMULACIÓN	5
GLACIS EROSION		6	
LADERA COLUVIAL		6	
FLUVIAL	LLANURA DE INUNDACIÓN	CUBETA DE INUNDACIÓN	2
		COMPLEJO DE DIQUES Y PALEOCAUCES ANTIGUOS	2
	VALLE COLUVIO-ALUVIAL		2
	CONO ALUVIO-TORRENCIAL	CONO ALUVIO TORRENCIAL RECIENTE	5
		CONO ALUVIO TORRENCIAL SUBRECIENTE	5
		CONO ALUVIO TORRENCIAL ANTIGUO	5
		CONO ALUVIO TORRENCIAL MUY ANTIGUO	5
	VALLE FLUVIO LACUSTRE		2
	VALLE LATERAL	VALLE LATERAL ACTIVO	3
		VALLE LATERAL OBTURADO	3
	CIENAGA O LAGUNA FLUVIAL	CIENAGA O LAGUNA PERMANENTE	0
		ZONAS CENAGOSAS CON INUNDACIONES ESTACIONALES	0
	ABANICO ALUVIAL	ABANICO ALUVIAL RECIENTE	4
		ABANICO ALUVIAL SUBRECIENTE	4
ABANICO ALUVIAL ANTIGUO		4	
CAUCE	CAUCE PRINCIPAL	0	

		CAUCE ANTIGUO O PALEOCAUCE	0
	TERRAZA ALUVIAL	TERRAZA ALUVIAL RECIENTE	3
		TERRAZA ALUVIAL SUBRECIENTE	3
		TERRAZA ALUVIAL ANTIGUA	3
		TERRAZA ALUVIAL MUY ANTIGUA	3
	VEGA DE DIVAGACIÓN	VEGA DE DIVAGACIÓN ACTIVA	2
		VEGA DE DIVAGACIÓN INACTIVA	2
		VEGA DE DIVAGACIÓN ANTIGUA	2
	ESCARPE(ABANICO, CONO TERRAZA, OTROS)		5
GLACIAL	CIRCO GLACIAL		5
	CONO FLUVIOGLACIAL		5
	LADERAS GLACIADAS		5
	MORRENA		6
	LAGUNA GLACIAL		0
	PLANICIE GLACIAL		3
	VALLE GLACIAL		3
CARSTICO	CARSTICO RESIDUAL		6
	SUPERFICIE CARSTICA CON DOLINAS		7
	VALLES CARSTICOS		4
ESTRUCTURAL	CRESTA	LADERA ESTRUCTURAL	9
		ESCARPE ESTRUCTURAL	10
	ESCARPES TECTÓNICOS	ESCARPES ACTIVOS	10
		ESCARPES POCO ACTIVOS	10
		ESCARPES INACTIVOS	10
	DOMO		8
	ESCARPE ESTRUCTURAL		9
	FACETA	FACETA CON DISECCIÓN INCIPIENTE	8
		FACETA CON DISECCIÓN MODERADA	8
	LOMERIO	LOMERIO CON DISECCIÓN LEVE	6
		LOMERIO CON DISECCIÓN MODERADA	6
		LOMERIO CON DISECCIÓN DISECTADO	7
	CUCHILLA IGNEA	CUCHILLA IGNEA CON DISECCIÓN LEVE	8
		CUCHILLA IGNEA CON DISECCIÓN MODERADA	9
		CUCHILLA IGNEA DISECTADA	9
	CUCHILLA METAMÓRFICA	CUCHILLA METAMÓRFICA CON DISECCIÓN LEVE	8
		CUCHILLA METAMÓRFICA CON DISECCIÓN MODERADA	8
		CUCHILLA METAMÓRFICA DISECTADA	8
	MONTE ISLA	MONTE ISLA	6
	CUESTA	CUESTA CON DISECCIÓN LEVE	6
		CUESTA DISECTADA	6
ESPINAZO		9	
BARRA		7	

	MESETA		4
VOLCÁNICO	FLUJO FLUVIO VOLCÁNICO (LAHAR)	FLUJO FLUVIO VOLCÁNICO (LAHAR) RECIENTE	8
		FLUJO FLUVIO VOLCÁNICO (LAHAR) ANTIGUO	8
		FLUJO FLUVIO VOLCÁNICO (LAHAR) MUY ANTIGUO	8
	CRATER VOLCÁNICO	CRATER VOLCÁNICO ACTIVO	10
		CRATER VOLCÁNICO INACTIVO	10
	EDIFICIO VOLCÁNICO (CONO)	EDIFICIO VOLCÁNICO RECIENTE (CONO)	10
		EDIFICIO VOLCÁNICO SUBRECIENTE (CONO)	10
		EDIFICIO VOLCÁNICO ANTIGUO (CONO)	10
ESCARPE DE COLADA DE LAVA		9	
COLADA DE LAVA (FLUJO)		9	
FLUJO PIROCLÁSTICO(TOBAS)		8	
MARINO LITORAL	PLAYA	PLAYAS LITORALES ACTUALES	1
		PLAYAS LITORALES SUBRECIENTES	1
		PLAYAS ANTIGUAS	1
	TERRAZA MARINA	TERRAZA MARINA RECIENTE	3
		TERRAZA MARINA SUBRECIENTE	3
		TERRAZA MARINA ANTIGUAS	3
	ACANTILADO		10
	ARRECIFE CORALINO		0
	DELTAS MARINOS EN RÉGIMEN MICROMARIAL	DELTAS MARINOS ACTUALES EN RÉGIMEN MICROMARIAL	3
		DELTAS MARINOS SUBRECIENTES EN RÉGIMEN MICROMARIAL	3
		DELTAS MARINOS ANTIGUOS EN RÉGIMEN MICROMARIAL	3
	DELTAS MARINOS EN RÉGIMEN MACROMARIAL	DELTAS MARINOS ACTUALES EN RÉGIMEN MACROMARIAL	3
		DELTAS MARINOS SUBRECIENTES EN RÉGIMEN MACROMARIAL	3
		DELTAS MARINOS ANTIGUOS EN RÉGIMEN MACROMARIAL	3
	MARISMA LITORAL DE RÉGIMEN MICROMARIAL	MARISMA LITORAL ACTUAL DE RÉGIMEN MICROMARIAL	1
		MARISMA LITORAL SUBRECIENTE DE RÉGIMEN MICROMARIAL	1
	MARISMA LITORAL DE RÉGIMEN MACROMARIAL	MARISMA LITORAL ACTUAL DE RÉGIMEN MACROMARIAL	1
MARISMA LITORAL SUBRECIENTE DE RÉGIMEN MACROMARIAL		1	
CIENAGA LITORAL		1	
EÓLICO	CAMPOS DE DUNAS		5
	MANTOS EÓLICOS		5
	LLANURA DE DEFLACIÓN		5

Como resultado de adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E₁₀, convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráficas 4.4.

Gráfica 4.4. Índices de los parámetros geomorfológica por ambiente morfogenético.



4.3.5. Asignación del índice E₁₀, a las categorías del indicador de pendiente. Los índices adjudicados a la pendiente están de 0 a 10, como se planteó en la estructura general para calificar los indicadores y sus variables en el modelo de DCS.

Cuando se califica el índice, se está identificando la susceptibilidad de suelo a ser perdido por efectos de la pendiente y otros agentes pasivos y activos, como la gravedad, el agua, el viento o el hombre que actúan sobre él, según el grado de inclinación del terreno. A un suelo ubicado en pendientes planas tipo **a**, se les adjudicaron índices menores a 2, debido a que tiene baja probabilidad de perderse o degradarse, pero un suelo ubicado en pendientes muy escarpadas tipo **g**, o mayores, se califica con índices de 10 en virtud que tiene alta probabilidad de perderse por acción de los agentes que actúan en su dinámica. Entre estos dos valores se ubicar los índices

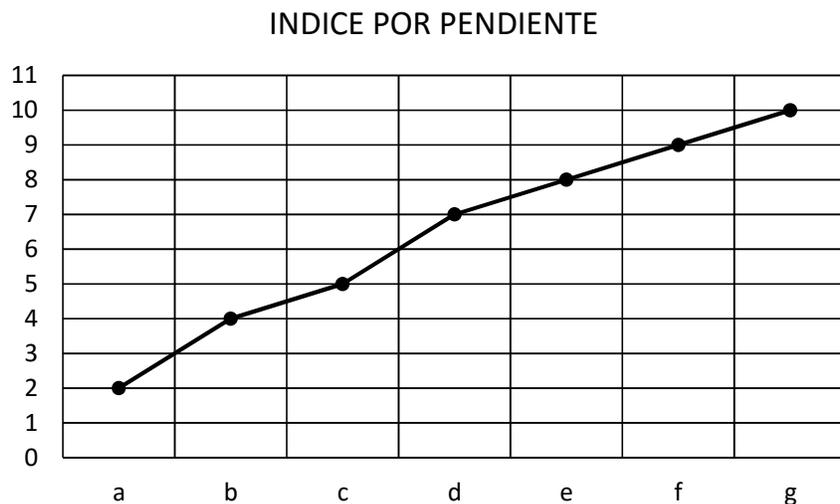
intermedios, según el grado de pendiente. Los valores adjudicados a la variable de pendiente y sus categorías se identifican en la tabla 4.22.

Tabla 4.22. Índices (E_{10}) de los parámetros de pendiente por su grado.

INTERVALO	PORCENTAJE	TERMINO	SÍMBOLO	ÍNDICE DE IMPACTO (E_{10})
1	0-3	PLANA	a	2
2	3-7	LEVEMENTE INCLINADA	b	4
3	7-12	INCLINADA	c	5
4	12-25	MODERADAMENTE QUEBRADA	d	7
5	25-50	LIGERAMENTE ESCARPADA	e	8
6	50-75	ESCARPADA	f	9
7	>75	MUY ESCARPADA	g	10

Una vez realizada la adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E_{10} , convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráficas 4.5.

Gráfica 4.5. Índices de los parámetros de pendiente por grado.



4.3.6. Asignación del índice E₁₀, a las categorías del indicador de fertilidad. La adjudicación de los índices en este indicador, se relacionó directamente con la disponibilidad de los nutrientes en un suelo, en la escala de menor a mayor disponibilidad; el efecto más crítico de un suelo se presenta cuando la fertilidad natural se ve disminuida, afectando directamente los procesos de desarrollo de fibras energéticas y la actividad orgánica que en él se presentan, igualmente, a mayor fertilidad de un suelo, mejores condiciones naturales para el crecimiento de plantas y los sistemas productivos que se desarrollen en el suelo.

Los valores de índices para esta caso son inversos, cuando un suelo tiene muy baja disponibilidad nutricional se le asignó el puntaje de 10, y en la medida en que los niveles de fertilidad suben, el índice se vuelve menor, llegando a asignársele el índice de 2 a la fertilidad muy alta. Los datos se identifican en la tabla 4.23

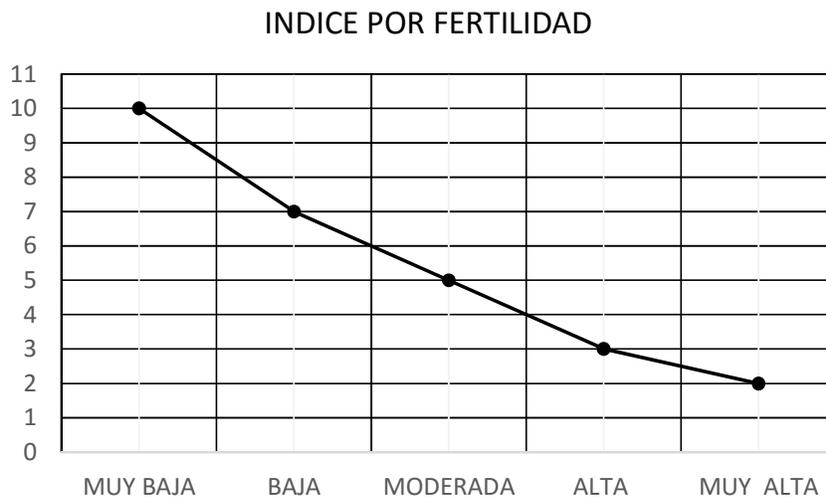
Tabla 4.23. Índices (E₁₀) de los parámetros de fertilidad por rangos.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	RANGO	ÍNDICE DE IMPACTO (E ₁₀)
MUY BAJA	Deficiencia de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fósforo	MB	≤ 3,6	10
BAJA	Bajos contenidos de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fosfatos, pero menos críticos que los anteriores	B	3,7 - 5,1	7
MODERADA	Acidez moderada y contenidos medios de nutrientes	M	5,2 - 6,7	5
ALTA	Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas	A	6,8 - 8,3	3
MUY ALTA	Condiciones muy favorables de disponibilidad de nutrientes para el normal desarrollo de las plantas.	MA	≥ 8,4	2

Como resultado de adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E₁₀, convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto.

Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráficas 4.6.

Gráfica 4.6. Índices de los parámetros de fertilidad por rangos.



4.3.7. Asignación del índice E₁₀, a las categorías del indicador de salinidad.

Dentro del modelo planteado para la construcción de los DCS, se identificó el índice por salinidad otorgado va de 0 a 10, aquí se relacionó el impacto que pueden tener las sales sobre el suelo, en la medida en que se incrementa la concentración de sales, se vuelven más críticas para el suelo y aún más, cuando el sodio empieza a aparecer. La presencia permanente de sales en el suelo, conlleva a problemas de degradación, el cual se vuelve creciente en la misma proporción que se aumentan las sales.

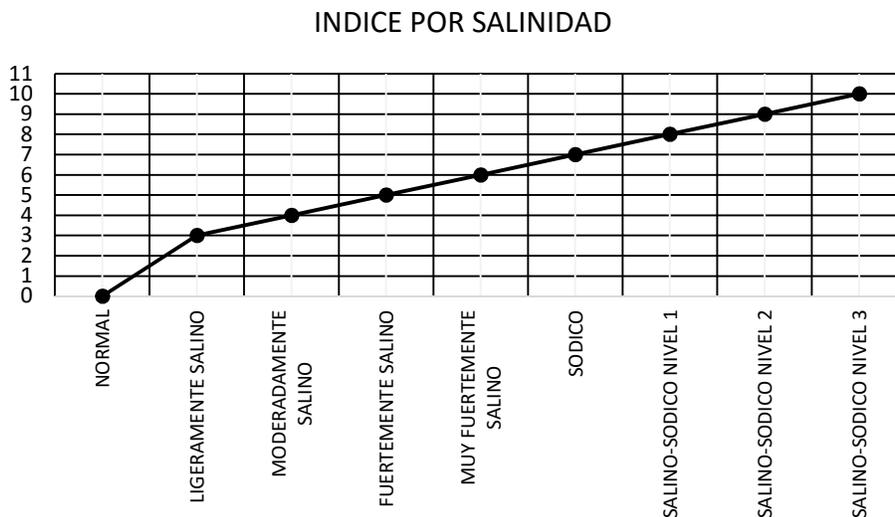
Los índices asignados a este indicador, están directamente relacionados con los niveles de concentración de sales que se presentan en un suelo, a niveles más bajos, los índices son menores como el caso de suelos ligeramente salinos cuyo valor de índice asignado es 3, contrario a los suelos salino-sódicos nivel 3 cuyo índice de impacto asignado es de 10. En la medida en que los niveles de sales y sodio bajan, el índice disminuye hasta asignar el valor mínimo de 0 a suelos clasificados como normales. Los datos de los índices asignados, se identifican en la tabla 4.24.

Tabla 4.24. Índices (E₁₀) de los niveles de salinidad de los suelos.

CONDUCTIVIDAD (dS/m)	SATURACIÓN DE SODIO	SÍMBOLO	CLASIFICACIÓN	ÍNDICE DE IMPACTO (E ₁₀)
0 - 2	<15	NORMAL	NORMAL	0
2 - 4	<15	S1	LIGERAMENTE SALINO	3
4 - 8	<15	S2	MODERADAMENTE SALINO	4
8 - 16	<15	S3	FUERTEMENTE SALINO	5
>16	<15	S4	MUY FUERTEMENTE SALINO	6
0 - 4	>15	Na	SODICO	7
4 - 8	>15	S1Na	SALINO-SODICO NIVEL 1	8
8 - 16	>15	S2Na	SALINO-SODICO NIVEL 2	9
>16	>15	S3Na	SALINO-SODICO NIVEL 3	10

Una vez se realizara la adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E₁₀, convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráfica 4.7.

Gráfica 4.7. Índices de los niveles de salinidad de los suelos.



4.3.8. Asignación del índice E₁₀, a las categorías del indicador de materia orgánica – MO. Para asignar los índices de impacto, se contempló la proporción o cantidad de materia orgánica traducida en carbono orgánico presente en un suelo en función del peso total de este, en lo que corresponde al ideal de los suelos minerales.

Una deficiencia marcada en los niveles de materia orgánica del suelo lleva a la asignación de índices altos, debido a que el suelo ve reducidas sus funciones principales, en lo que respecta esencialmente en la estructura, dinámica de nutrientes, presencia de organismos, humedad, color y muchas otras propiedades que dinamizan no solo su evolución sino su producción. Con niveles adecuados de materia orgánica, el suelo normaliza la interacción de sus propiedades, y se vuelve cada vez más eficiente en su oferta natural.

Cuando la materia orgánica del suelo se encuentre presente en niveles altos, el índice asignado es de 2, mientras que en condiciones de materia orgánica deficiente, el índice asignado es de 10. Los datos predefinidos para este indicador, que entran a hacer parte del modelo de distritos de conservación de suelos, se identifican en la tabla 4.25.

Tabla 4.25. Índices (E₁₀) de los parámetros de materia orgánica.

RANGO	PORCENTAJE	SIMBOLO	INDICE DE IMPACTO (E ₁₀)
DEFICIENTE	< 0,5	D	10
BAJA	0,5- 1,5	B	8
MEDIA	1,5 -3,5	M	6
ALTA	3,5 - 5,0	A	4
MUY ALTA	>5	MA	2

Como resultado de adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E₁₀, convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto.

Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráficas 4.8.

Gráfica 4.8. Índices de los parámetros de materia orgánica.



4.3.9. Asignación del índice E₁₀, a las categorías del indicador de profundidad efectiva. En la asignación de índices de este indicador, se resalta el elemento fundamental, cual es precisamente el grosor o del perfil del suelo en lo relacionado con la profundidad efectiva, un suelo más profundo, presenta condiciones más favorable para el cumplimiento de sus funciones, dado que se tiene una masa y un volumen disponible para ser utilizado bien sea en los procesos ecosistémicos, la dinámica de los servicios ambientales, las actividades productivas y una mayor resistencia a la pérdida y degradación.

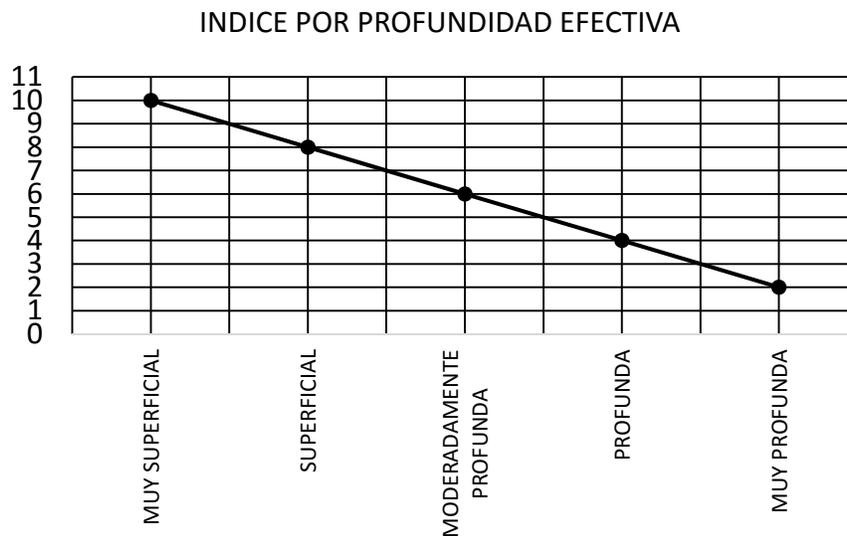
Dentro del modelo planteado para identificar distritos de conservación de suelos, los índices más bajos están relacionados con suelos más profundos, y los índices más altos con profundidades superficiales y muy superficiales. Los índices asignados al indicador según la categoría, se identifican en la tabla 4.26.

Tabla 4.26. Índices (E_{10}) de los parámetros por profundidad efectiva.

CLASE	PROFUNDIDAD(cm)	SÍMBOLO	ÍNDICE DE IMPACTO (E_{10})
MUY SUPERFICIAL	< 25	MS	10
SUPERFICIAL	25 - 50	S	8
MODERADAMENTE PROFUNDA	50 - 100	MD	6
PROFUNDA	100 - 150	P	4
MUY PROFUNDA	> 150	MP	2

Después de la adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E_{10} , convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráficas 4.9.

Gráfica 4.9. Índices de los parámetros por profundidad efectiva.



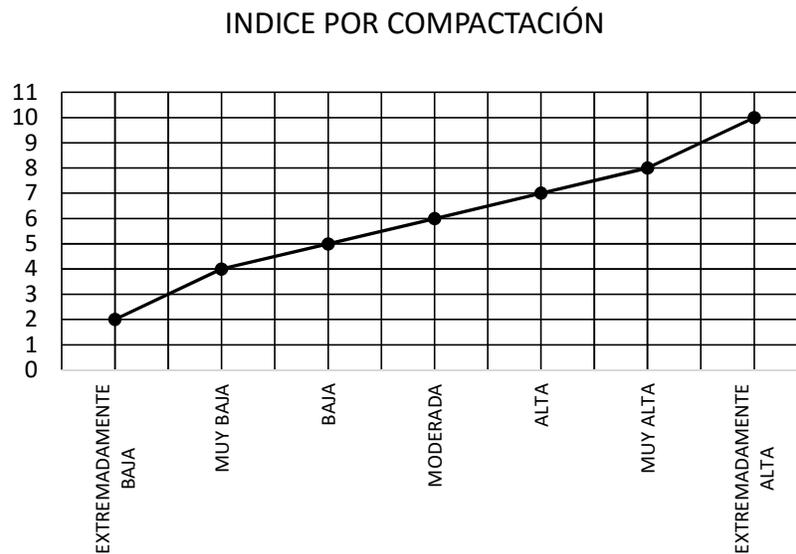
4.3.10. Asignación del índice E₁₀, a las categorías del indicador de compactación. Los índices asignados a la compactación planteados para ser incorporados como parte integral en el modelo que permite identificar DCS, están directamente relacionados con los efectos que causa este indicador en el suelo. Un suelo compactado limita notoriamente su dinámica hídrica, disminuye la actividad biológica y especialmente el crecimiento de las raíces de las plantas, cambia el estado de porosidad y densidad del suelo, así mismo las labores agrícolas se ven claramente afectadas, para este caso un suelo extremadamente compactado se le adjudicó el índice de impacto de 10, contrario a los suelos cuya compactación es extremadamente baja, cuyo índice asignado es de 2, aquí las limitaciones del suelo por este indicador son menores, y su nivel de recuperación es más rápido y económicamente más favorable. En términos generales, el índice de impacto es directamente proporcional a los niveles de compactación de un suelo, es decir que a mayor compactación mayor índice. Los datos se identifican en la tabla 4.27.

Tabla 4.27. Índices (E₁₀) de los parámetros por compactación.

CLASE DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	RESISTENCIA (MPa)	SÍMBOLO	ÍNDICE DE IMPACTO (E ₁₀)
EXTREMADAMENTE BAJA	< 0,01	EB	2
MUY BAJA	0,01 - 0,1	MB	4
BAJA	0,1 - 1	B	5
MODERADA	1 - 2	M	6
ALTA	2 - 4	A	7
MUY ALTA	4 - 8	MA	8
EXTREMADAMENTE ALTA	> 8	EA	10

Una vez se realizara la adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E₁₀, convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráfica 4.10.

Gráfica 4.10. Índices de los parámetros por compactación- resistencia a la penetración.



4.3.11. Asignación del índice E_{10} , a las categorías del indicador de erosión

- **Erosión Actual.** Cuando un suelo se pierde automáticamente conlleva con él la pérdida de propiedades físicas, químicas, mineralógicas y biológicas. En tal sentido, al adjudicar un índice a las categorías del indicador de erosión, para las cuales entrarán a estructurar el modelo de DCS, se tuvo en cuenta la dimensión de la pérdida o el grado de afectación por erosión de un área determinada.

El grado de afectación puede estar en cualquiera de las categorías seleccionada en la escala categórica de la erosión, en la medida en que la erosión es más crítica o el suelo presente una mayor pérdida, los índices son más altos, es decir se les puede asignar valores entre 8 y 10, en tanto a menores pérdidas los índices se califican con los menores valores. Datos que se observan en la tabla 4.28, 4.29.

Para el modelo se asignaron índices tanto a la erosión actual como a la potencial, su utilización en el modelo que permite identificar y caracterizar DCS, depende del tipo de erosión evaluado.

Tabla 4.28. Índices (E_{10}) de los parámetros de erosión del suelo en función de la pérdida del horizonte A.

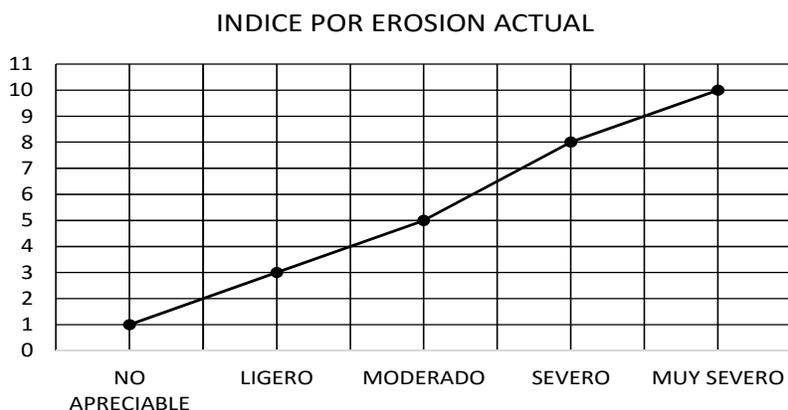
GRADO	CÓDIGO	% ÁREA SUELO AFECTADO	ÍNDICE DE IMPACTO (E_{10})
Nulo	0	0	0
No apreciable	1	0-5	2
Ligero	2	5-10	4
Moderado	3	10-25	6
Severo	4	25 - 50	8
Muy severo	5	>50	10

Tabla 4.29. Índices de los parámetros de erosión del suelo en función del área afectada.

GRADO	PERDIDA DE SUELO	SÍMBOLO	ÍNDICE DE IMPACTO (E_{10})
No apreciable	No se aprecia	NA	2
Ligero	<25% horizonte A	LS	4
Moderado	Del 25 -75% del horizonte A	M	6
Severo	>75% del horizonte A	SV	8
Muy severo	Pérdida total del Horizonte A.	MS	10

Como resultado de adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E_{10} , convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráficas 4.11.

Gráfica 4.11. Índices de los parámetros de erosión del suelo en función del área afectada.



➤ **Erosión Potencial.** Los índices adjudicados a la erosión potencial, sigue los mismos principios que la erosión actual, solamente que aquí no se trabaja con los rasgos de la erosión, sino se toman datos predictivos, o los niveles de erosión que se esperan en un futuro, de acuerdo a las condiciones actuales del suelo. Los datos se observan en la tabla 4.30.

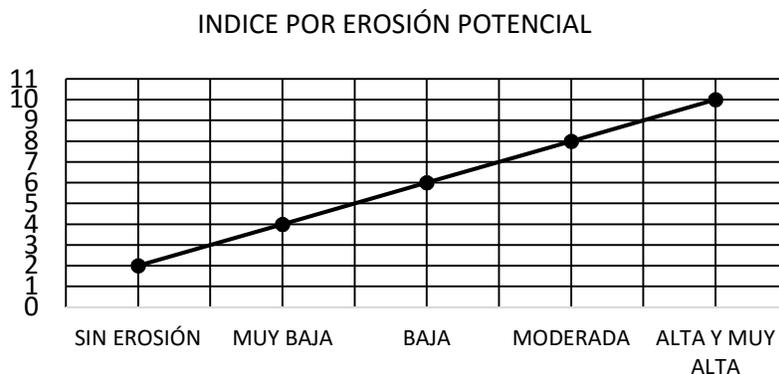
Tabla 4.30. Índices (E₁₀) de los parámetros de erosión según su intensidad en T/ha/año.

INTENSIDAD DE LA EROSIÓN	PÉRDIDA DE SUELO (T/ha/AÑO)	SÍMBOLO	ÍNDICE DE IMPACTO (E₁₀)
Sin erosión	<10	NA	2
Ligero	10-25	LS	4
Moderado	25-50	M	6
Severo	50-100	SV	8
Muy severo	>100	MS	10

Como resultado de adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E₁₀, convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto.

Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráficas 4.12.

Gráfica 4.12. Índices de los parámetros de erosión según su intensidad en T/ha/año.



4.3.12. Asignación del índice E_{10} , a las categorías del indicador de coberturas y usos del suelo. Para asignar los índices a las coberturas y usos del suelo, se tuvo en cuenta la densidad de la cobertura, empezando por los bosques consolidados e indisturbados, con nivel grado de protección se presentan suelos cubiertos con bosques ligeramente intervenidos, les sigue en su orden las coberturas seminaturales y finalmente los cultivos y pastos. Las coberturas asociadas a los territorios artificializados y superficies de agua, por carecer de suelo, se les asigna el índice de impacto de “0”.

El grado de conservación de un suelo, está asociado al tipo de cobertura que sobre él se encuentra, en la medida en que las coberturas estén más conservadas y permanezcan en su estado natural, así mismo el suelo está protegido, la progresividad de la pérdida de la cobertura vegetal, coincide con las amenaza que se le presenta al suelo para ser perdido o degradado, y se acrecenta cuando el suelo está sujeto a usos continuos y aún más si se deja desnudo.

Los índices de 1 a 10 están asignados en áreas de suelo desde totalmente cubiertos con bosque prístinos y densos hasta desnudos o carentes de vegetación. Los valores son inversos, es decir que

a mayor cobertura vegetal sobre el suelo menor índice, contrastando con suelos desnudos o degradados donde el valor del índice asignado es 10. Los datos se identifican en la tabla 4.31.

Tabla 4.31. Índices (E_{10}) de los parámetros de coberturas y usos del suelo.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	ÍNDICE DE IMPACTO (E_{10})		
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo				0		
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo				0		
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales					0	
		1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados				0	
		1.2.3. Zonas portuarias					0	
		1.2.4. Aeropuertos					0	
		1.2.5. Obras hidráulicas					0	
		1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera					0
	1.3.2. Zonas de disposición de residuos						0	
	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas	1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas				0	
			1.4.1.2. Parques cementerio				0	
			1.4.1.5. Parques urbanos				0	
		1.4.2. Instalaciones recreativas	1.4.2.1. Áreas culturales					0
			1.4.2.2. Áreas deportivas					0
			1.4.2.3. Áreas turísticas					0
	2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios				7	
			2.1.2. Cereales	2.1.2.1. Maíz			6	
2.1.2.2. Arroz						5		
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas						6		
2.1.4. Hortalizas						6		
2.1.5. Tubérculos		2.1.5.1. Papa				6		
2.2. Cultivos permanentes		2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos				5	
			2.2.1.2. Caña	2.2.1.2.2 Caña Panelera			5	
				2.2.1.2.3 Caña Azucarera			5	
			2.2.1.3. Plátano y banano				5	
			2.2.1.4. Tabaco				5	
			2.2.1.5. Papaya				6	
			2.2.1.6. Amapola				6	
	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos				5			

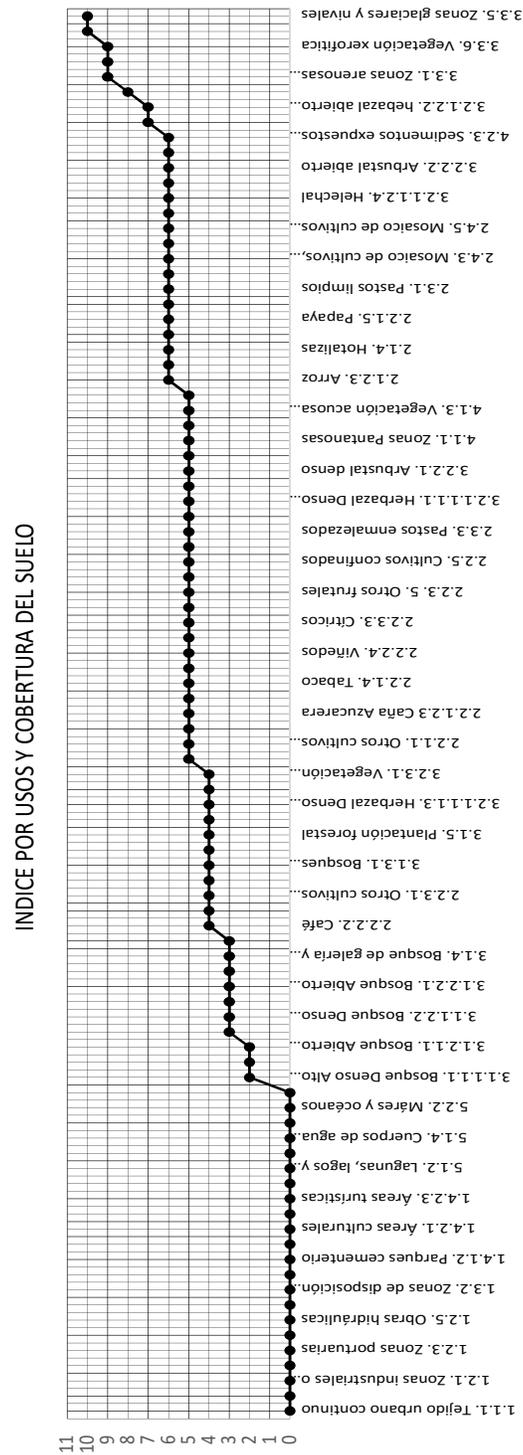
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.2.2.2. Café		4	
			2.2.2.3. Cacao		4	
			2.2.2.4. Viñedos		5	
			2.2.2.5. Coca		5	
			2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes Arbóreos		4
		2.2.3.2. Palma de Aceite			4	
		2.2.3.3. Cítricos			5	
		2.2.3.4. Mango			5	
		2.2.3. 5. Otros frutales			5	
		2.2.3.6. Cultivos bajo cubierta(invernaderos)				
		2.2.4. Cultivos agroforestales		5		
	2.2.5. Cultivos confinados		5			
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios		6		
		2.3.2. Pastos arbolados		5		
		2.3.3. Pastos enmalezados		5		
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de cultivos		6		
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos		5		
		2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		6		
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales		6		
		2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales		6		
	3. BOSQUES Y AREAS SEMI NATURALES	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque Denso	3.1.1.1. Bosque Denso Alto	3.1.1.1.1. Bosque Denso Alto de Tierra Firme	2
					3.1.1.1.2. Bosque Denso Alto Inundable	3
				3.1.1.2. Bosque Denso Bajo	3.1.1.2.1. Bosque Denso Bajo de Tierra Firme	2
3.1.1.2.2. Bosque Denso Bajo Inundable					3	
3.1.2. Bosque Abierto			3.1.2.1. Bosque Abierto Alto	3.1.2.1.1. Bosque Abierto Alto de Tierra Firme	2	
				3.1.2.1.2. Bosque Abierto Alto Inundable	3	
			3.1.2.2. Bosque Abierto Bajo	3.1.2.2.1. Bosque Abierto Bajo de Tierra Firme	3	
				3.1.2.2.2. Bosque Abierto Bajo Inundable	3	

		3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.3.1. Bosques fragmentados con pastos y cultivos			4
			3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria			4
		3.1.4. Bosque de galería y ripario.				3
		3.1.5. Plantación forestal				4
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazales	3.2.1.1. Herbazal Denso	3.2.1.1.1. Herbazales Densos de tierra firme	3.2.1.1.1.1. Herbazal Denso de Tierra Firme no arbolado	5
					3.2.1.1.1.2. Herbazal Denso de Tierra Firme arbolado	4
					3.2.1.1.1.3. Herbazal Denso de Tierra Firme con arbustos	4
				3.2.1.1.2. Herbazales Densos Inundable	3.2.1.1.2.1. Herbazal Denso inundable no arbolado	5
					3.2.1.1.2.2. Herbazal Denso inundable arbolado	4
					3.2.1.1.2.3. Arracachal	6
					3.2.1.1.2.4. Helechal	6
		3.2.1.2. Hebazal abierto	3.2.1.2.1. hebazal abierto arenoso	6		
			3.2.1.2.2. hebazal abierto rocoso	7		
		3.2.2. Arbustal	3.2.2.1. Arbustal denso		5	
			3.2.2.2. Arbustal abierto		6	
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.1. Vegetación Secundaria Alta		4	
			3.2.3.2. Vegetación Secundaria Baja		5	
		3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.1. Zonas arenosas naturales			9
	3.3.2. Afloramientos rocosos				10	
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas				9	
	3.3.4. Zonas quemadas				8	
	3.3.5. Zonas glaciares y nivales				10	
	3.3.6. Vegetación xerofítica					
4. AREAS HUMEDAS	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Zonas Pantanosas				5
		4.1.2. Turberas				5

		4.1.3. Vegetación acuosa sobre cuerpos de agua				5
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.1. Pantanos costeros				5
		4.2.2. Salitral				6
		4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar				6
5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos				0
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales				0
		5.1.3. Canales				0
		5.1.4. Cuerpos de agua artificiales				0
	5.2. Aguas marítimas	5.2.1. Lagunas costeras				0
		5.2.2. Mares y océanos				0
		5.2.3. Estanques para acuicultura marina				0

Después de haberse realizado la adjudicación de índices al indicador en la tabla de categorías, se construyó una estructura gráfica, la cual identifica por cada nivel categórico de dicho indicador el valor asignado del E₁₀, convirtiéndose así en una herramienta adicional, que permite observar el nivel de agrupamiento de las categorías y cuáles de ellas comparten el mismo índice de impacto. Condición que advierte sobre las categorías del indicador con mayor impacto, al momento de integrarlas al proceso final de identificación y caracterización de los DCS. Ver gráfica 4.13.

Gráfica 4.13. Índices de los parámetros de coberturas y usos del suelo.

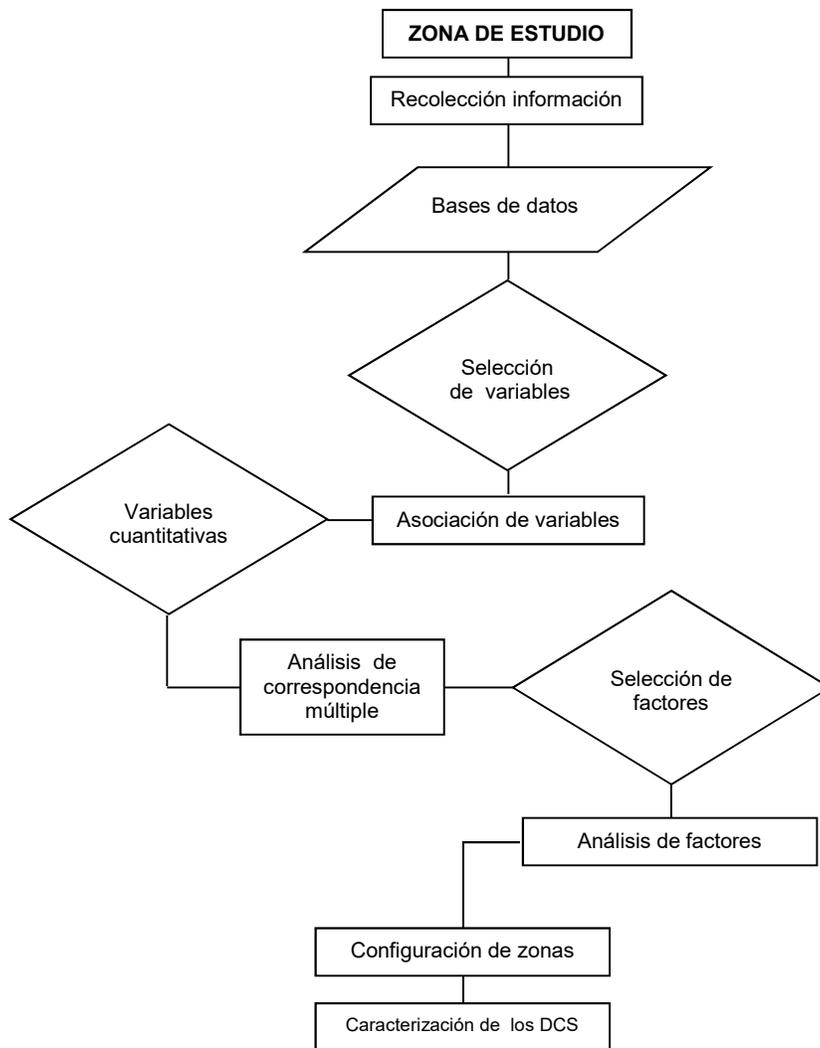


4.4. Análisis categórico de datos y definición de distritos de conservación de suelos

Una vez definido el impacto de las categorías por cada indicador y recategorizados por el método del estándar 10 – E₁₀, que es la base de aquí en adelante para realizar los estudios respectivos, se procedió a establecer los mecanismos de integralidad del proceso a través de los análisis múltiples de datos, herramientas que permiten finalmente identificar adecuadamente las áreas como distritos de conservación de suelos. Para este paso se utilizó una estructura estadística y otra cartográfica, las cuales se describen a continuación.

4.4.1. Métodos estadísticos para determinar distritos de conservación de suelos. La estructura estadística siguió un proceso de análisis, que permite identificar adecuadamente los datos y seleccionar dentro de cada variable las categorías de mayor impacto en el modelo, para finalmente seleccionar aquellas áreas de suelos que pueden ser definidas como DCS. El proceso general se identifica en la gráfica 4.14.

Gráfica 4.14. Esquema que identifica el proceso de análisis estadístico para la definición de los distritos de conservación de suelos.



- **Indicadores analizados en función de la reestructuración categorías del estándar 10.** En esta etapa de análisis estadístico se tomaron los indicadores con sus diferentes categorías, pero ya recategorizadas con el método estándar 10 -E₁₀. Estos datos que se observan en la tabla 4.32, registra el número final de categorías por cada indicador, el cual finalmente se le asigna un símbolo específico. El número de categorías por cada indicador, corresponde al número final de datos que se tomó como referente para ser analizados estadísticamente, e identifica a su vez las diferentes interacciones que se

pueden presentar entre ellas; finalmente, la interacción categórica de los diferentes indicadores permite definir aquellas áreas de suelos que puedan ser catalogadas como DCS.

Tabla 4.32. Indicadores con la reestructura categórica establecida por el método del estándar 10–E₁₀.

ORDEN	VARIABLE - INDICADOR	NIVELES CATEGÓRICOS	ADICIONAL	SÍMBOLO
1	ZONA CLIMATICA	10		CL
2	ÍNDICE ARIDEZ	5		A
3	GEOMORFOLOGÍA - PAISAJE O SUBAMBIENTE	10	10	G
4	PENDIENTE	7		P
5	FERTILIDAD	5		F
6	SALINIDAD	9		S
7	MATERIA ORGANICA – M.O.	5		MO
8	PROFUNDIDAD EFECTIVA	5		PE
9	COMPACTACIÓN –RES. PENETRACIÓN	7		C
10	EROSION	5		E
11	USOS Y COBERTURAS DEL SUELOS	10		U
12	EXPANSION URBANA	1		
13	INTERÉS CIENTIFICO	1		
14	INTERÉS CULTURAL	1		
15	INTERÉS AMBIENTAL	1		

- **Prioridad en la estructura de indicadores en el proceso de identificación y caracterización DCS.** Como punto de partida y luego del analizar los diferentes indicadores, se organizaron en 5 niveles de importancia según el impacto que puede generar en el suelo, tomando en cuenta la tendencia a la degradación irreversible de este y su costo en la recuperación. Dichos indicadores según su orden de importancia se involucraron en el modelo para ser ponderadas finalmente dentro del ámbito cuantitativo. En tal sentido se establecieron 4 niveles como se identifican en la figura 4.3. Ello permite identificar aquellas variables que son más contundentes en los procesos de degradación del suelo, en la medida en que las variables cambian de nivel, estas son menos críticas y el impacto negativo en el suelo es más facialmente mitigable.

Figura 4.3. Esquema de agrupación de los indicadores por niveles de importancia.

NIVEL	VARIABLE O INDICADOR				
1	PENDIENTE	USOS Y COBERTURAS DEL SUELO	EROSIÓN	ARIDEZ	COMPACTACIÓN
2	ZONA CLIMÁTICA	GEOMORFOLOGÍA	PROF. EFECTIVA		
3	SALINIDAD	M.O			
4	FERTILIDAD				

Nivel 1. Se ubican aquellas variables o indicadores que directa o indirectamente muestran el grado de intervención o degradación de los suelos, de ellas depende en gran medida la sostenibilidad del recurso, incidiendo directamente en su estado de conservación. Aquí se ubican los indicadores de: pendiente, usos y coberturas del suelo, erosión, aridez y compactación.

Nivel 2. Se agrupan en este nivel aquellas variables o indicadores que actúan y manifiestan los procesos evolutivos del suelo, determinan su condición en el espacio, e intervienen de una forma directa o indirecta en su estado de conservación. Aquí se ubican los indicadores de: clima, geomorfología y profundidad efectiva.

Nivel 3. Asocia las variables o indicadores que afectan de forma directa la dinámica intrínseca del suelo e indirectamente otras propiedades fisicoquímicas y biológicas de este, contribuye con su degradación, pero no con su pérdida física. Los indicadores que se ubicaron en esta categoría fueron: Salinidad y Materia Orgánica.

Nivel 4. Contempla los indicadores que intervienen directamente en la productividad y disponibilidad natural de los nutrientes que influyen directamente en el crecimiento de las plantas. En esta categoría se ubica el indicador de fertilidad.

Los indicadores anteriores ubicados según su nivel, fueron los tenidos en cuenta para realizar los análisis estadísticos y cartográficos.

Igualmente se contempla un quinto nivel (**Nivel 5**), donde se agrupan aquellas áreas de suelos que describen una condición de un área específica de suelos, que presenta condiciones especiales, o por algún grado de interés manifiesto y pueden ser definidas como DCS. Aquí se agrupan las variables de expansión urbana, interés científico, interés cultural e interés ambiental.

- **Análisis cuantitativo de datos.** Para definir las potenciales combinaciones estadísticas de las diferentes variables y sus categorías calificadas por el estándar 10, se estableció el modelo de probabilidades, que determina la posibilidad que en área determinada de suelos sea afectada por uno o varios de los indicadores seleccionados para identificar DCS, el cual se describe a continuación.

$$\text{DCS} = f (P,U,E,A,C,CL,G,PE,S,MO,F)$$

Donde:

DCS = Distrito de Conservación de Suelos

f = es una función de:

P = PENDIENTE

U = USOS Y COBERTURAS DEL SUELOS

E = EROSION

A = ÍNDICE ARIDEZ

C = COMPACTACIÓN

CL= ZONA CLIMATICA

G = GEOMORFOLOGÍA - PAISAJE O SUBAMBIENTE

PE = PROFUNDIDAD EFECTIVA

S = SALINIDAD

MO = MATERIA ORGANICA

F = FERTILIDAD

Con base en esta condición, se determina la probabilidad de posibles combinaciones entre variables, que pueden impactar significativamente un área y por consiguiente conlleva a definirla como un distrito de conservación de suelos.

Dicha probabilidad se determina mediante la siguiente relación:

$$\mathbf{PDCS = (P*U*E*A*C*CL*G*PE*S*MO*F)}$$

PDCS= Probabilidad de combinaciones de las variables para identifica Distritos der Conservación de Suelos.

$$PDCS = \sum P(7) * U(10) * E(5) * A(5) * C(7) * CL(10) * G(10) * PE(5) * S(9) * MO(5) * F(5)$$

$$PDCS = 7*10*5*5 *7*10*10*5*9*5*5= 1.378'125.000$$

Ejemplo:

- PDCS₁ = P (plana)+ U (arbustal denso)+E (moderada)+A (árido)+C (alta)+CL (cálido muy húmedo)+G (filas-vigas)+ PE (superficial)+S (fuertemente salino)+MO (baja) + F (media).
- PDCS₂ = P (leve mente inclinada)+ U (arbustal denso)+E (moderada)+A (árido)+C (alta)+CL (cálido muy húmedo)+G (filas-vigas)+ PE (superficial)+S (fuertemente salino)+MO (baja) + F (media).
- PDCS₃ = P (inclinada)+ U (arbustal denso)+E (moderada)+A (árido)+C (alta)+CL (cálido muy húmedo)+G (filas-vigas)+ PE (superficial)+S (fuertemente salino)+MO (baja) + F (media).
-y así sucesivamente hasta completar las probabilidades de combinación de los indicadores con sus diferentes categorías, que pueden ser de 1.378'125.000.

- **Evaluación múltiple de indicadores y calificación de distritos de conservación de suelos.** Como en un solo punto del suelo interactúan 11 tipos de diferentes de indicadores con distintos niveles de impacto, para medirlos integralmente en el punto o área de suelo analizada, se establecieron tres categorías o rangos de impactos: alto, medio o bajo. Si el indicador califica con un nivel de impacto menor de 5, entra en la categoría baja; si califica entre 5 y 7 entra en la categoría media, si es mayor de 7 entra en la categoría alta. Los métodos estadísticos utilizados para este tipo de análisis de agrupación correspondieron a las técnicas estadísticas del método Monte Carlo, dicho método permite sacar un **índice Compuesto**, al momento de cruzar los diferentes niveles de impacto de los indicadores usados en el proceso y definir finalmente si el índice es bajo, medio o alto, para posteriormente ser definida o clasificada un área como Distrito de Conservación de Suelos.

Para el análisis del índice compuesto, que permita definir si un área es considerada como DCS, se utiliza la siguiente fórmula:

$$IDCS = \sum_{i=1}^{11} P_i/X_i$$

Donde:

IDCS= Índice de Distrito de Conservación de Suelos

P_i = Valor asignado a la variable o indicador, dado por el índice del estándar 10 – E_{10} .

X_i = Coeficiente de transformación del indicador cuyo valor constante es de 10.

El índice de DCS, es una suma ponderada de los niveles de impacto individuales de los diferentes indicadores usados en el modelo, la ponderación se realiza asignando el valor del nivel de la variable (pendiente, usos y coberturas del suelos, erosión, aridez, compactación, geomorfología, profundidad efectiva, salinidad, materia orgánica y fertilidad), asignado con base en el índice del estándar 10 de cada variable y dividido por el coeficiente respectivo cuya constante es 10. Estos valores finalmente son acumulativos y determinan el nivel de riesgo en que se encuentra la zona, para que pueda ser calificada como DCS.

Ejemplo:

- **IDCS**=P (plana)+ U (arbustal denso)+E (moderada)+A (árido)+C (alta)+CL (cálido muy húmedo)+G (filas-vigas)+ PE (superficial)+S (fuertemente salino)+MO (baja) + F (moderada).

$$\text{IDCS} = [(2/10)+(5/10)+(6/10)+(10/10)+(7/10)+(4/10)+(9/10)+(8/10)+(5/10)+(8/10)+(5/10)] .$$

$$\text{IDCS} = 6.9$$

Al ser un promedio ponderado de los niveles de riesgo asignados a las características del terreno, el indicador toma valores entre 0 y 10, siendo 0 cuando todos los factores de riesgo tienen el valor 0 y 10 cuando todos los factores tengan el valor 10 o el riesgo más alto. Para encontrar los puntos de corte o escala donde el índice toma valores críticos que influyen en la posible asignación de un distrito en la categoría de DCS, se realiza un análisis de Monte Carlo, esta es una técnica de simulación de procesos probabilísticos que permite evaluar metodologías sobre una muestra de combinaciones de factores, que vistos como conjunto representan una población muy grande que es computacionalmente difícil de manejar.

Para el apoyo del análisis de datos, se hizo uso de un manejador de bases de datos previamente programado (SQL server, PostgreSQL, Oracle), el cual determina los escenarios posibles de interacción de áreas. Adicionalmente estos manejadores de base de datos permiten la interacción con el sistema de información geográfica tipo ArcGIS; finalmente la interacción de los resultados alfanuméricos son llevados a bases de datos de sistemas de información geográfica-SIG, para construir mapas temáticos, los cuales al ser analizados permiten determinar las áreas con potencialidad de ser declaradas como DCS.

En el contexto de la definición del indicador de Distrito de Conservación de suelos, la simulación de Monte Carlo es una técnica que permite contrastar los distintos escenarios en los cuales se pueden encontrar las diferentes combinaciones de factores que determinan si un área es determinada como un Distrito de Conservación (DCS).

Para la caracterización de un DCS se consideran tres escenarios posibles:

1. El primer escenario considera todas las combinaciones de las características consideradas como niveles “bajos”.
2. Un escenario considerando los niveles “medio”.
3. Un escenario con las categorías de niveles “alto”.

Para cada uno de los posibles escenarios se realiza un procedimiento de simulación de Monte Carlo, igualmente para cada simulación se calcula el índice que puede arrojar los siguientes resultados:

Áreas con riesgo bajo, si el índice propuesto es menor a 4 puntos, con riesgo moderado para áreas de entre 4 y 6 puntos y alto para áreas con índices mayores a 6 puntos.

Los análisis se codifican por cada objeto en una tabla de datos, sistematizada y analizada, como se identifica en la tabla 4.33.

Tabla 4.33. Modelo de tabla de datos por niveles de importancia de las categorías de las variables, para identificar los escenarios de las áreas a ser consideradas como DCS.

GRUPO		GRUPO 1						GRUPO 2			GRUPO 3		GRUPO 4	TOTAL
OBJETO	ANÁLISIS	PENDIENTE	COBERTURAV	EROSION ACTUAL	AROSION POTEN	ARIDEZ	COMPACTACION	CLIMA	GEOMORFOLOGIA	PROF EECTIVA	SALINIDAD	MATERIA ORGÁNICA	FERTILIDAD	
1	SIMBOLO													
	VALOR													
	IMPACTO													
2	SIMBOLO													
	VALOR													
	IMPACTO													
n.....	SIMBOLO													
	VALOR													
	IMPACTO													

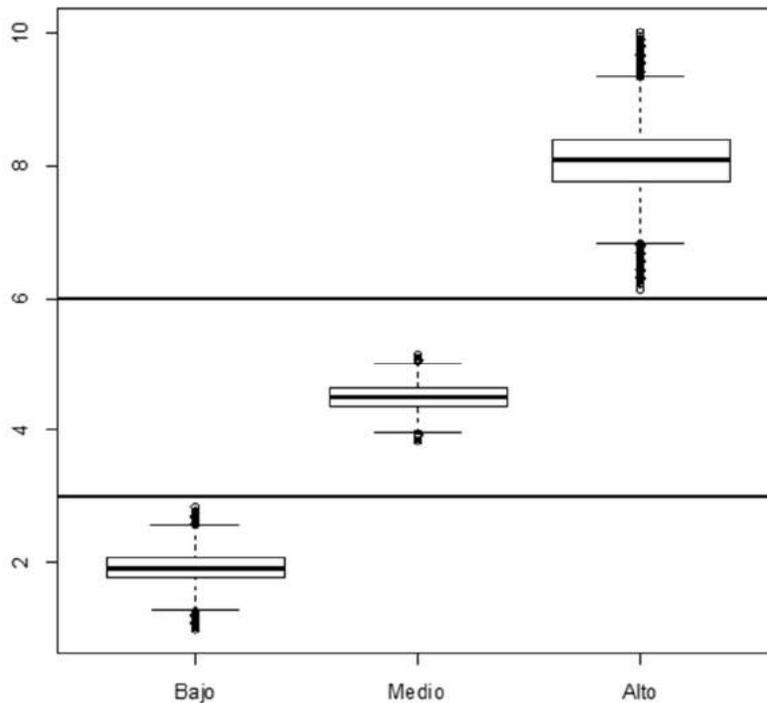
Antes de realizar el análisis de interacciones entre variables, estas se organizan en una matriz de doble entrada, en donde en el eje de las Y se identifican el indicador y en el eje de las X los niveles de impacto que esta presenta como se identifica en la tabla 4.34. La categoría de la variable de acuerdo a su impacto de calificación es de Bajo (B), medio (M), Alto (A), o muy alto (MA), según sus resultados.

Tabla 4.34. Matriz de calificación de impactos, por cada variable o indicador.

No	INDICADOR	IMPACTO									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	PENDIENTE	B	B	B	B	B	M	M	M	A	MA
2	USOS Y COBERTURAS DEL SUELOS	B	B	B	M	M	M	M	A	MA	MA
3	EROSION	B	B	B	M	M	M	A	MA	MA	MA
2	ARIDEZ	B	B	B	B	M	M	M	A	MA	MA
5	COMPACTACIÓN -RES PENETRACIÓN	B	B	B	M	M	M	A	A	MA	MA
1	CLIMA	B	B	B	B	B	M	M	A	MA	MA
7	GEOMORFOLOGIA	B	B	B	M	M	M	M	A	A	MA
8	PROFUNDIDAD EFECTIVA	B	B	B	B	M	M	M	A	MA	MA
9	SALINIDAD	B	B	B	M	M	M	A	A	MA	MA
10	MO	B	B	B	B	M	M	M	A	MA	MA
11	FERTILIDAD	B	B	B	B	M	M	M	A	A	MA

Como resultado final de los análisis de interacción múltiple entre indicadores, según el nivel de afectación de cada variable, y siguiendo el procesamiento estadístico, se identifica el grupo de calificación de cada objeto o área analizada, para ser clasificada dentro de la escala de riesgo de los DCS, como bajo, medio o alto. Datos que se identifican en la gráfica. 4.15.

Gráfica 4.15. Categorías de niveles de riesgo de las áreas de suelo, para ser consideradas como DCS.



Con base en lo anterior, y luego del análisis, es factible encontrar áreas de suelos con índices finales de 4 que calificarán con riesgo Bajo; si las áreas cuyas combinaciones finales están entre 4 y 6, calificarán con riesgo medio y si los índices ponderados suman más de 6, se califica en la

categoría de riesgo alto. Estas últimas son las áreas que se proponen para ser consideradas finalmente como distritos de conservación de suelos- DCS.

4.4.2. Métodos cartográficos para determinar distritos de conservación de suelos. Con base en los resultado estadísticos, se estructuran los datos para ser trasladados a un SIG, los cuales deben ser analizados a través de un modelo lógico de datos, para poder definir espacialmete las condiciones de los suelos, según la interacción de los indicadores; es decir se zonifica la zona de interés y se determina cartográficamente cuales son las áreas de suelos con potencialidad de ser decladradas DCS. La estructura del SIG y el modelo lógico se describen con mayor detalle a continuación.

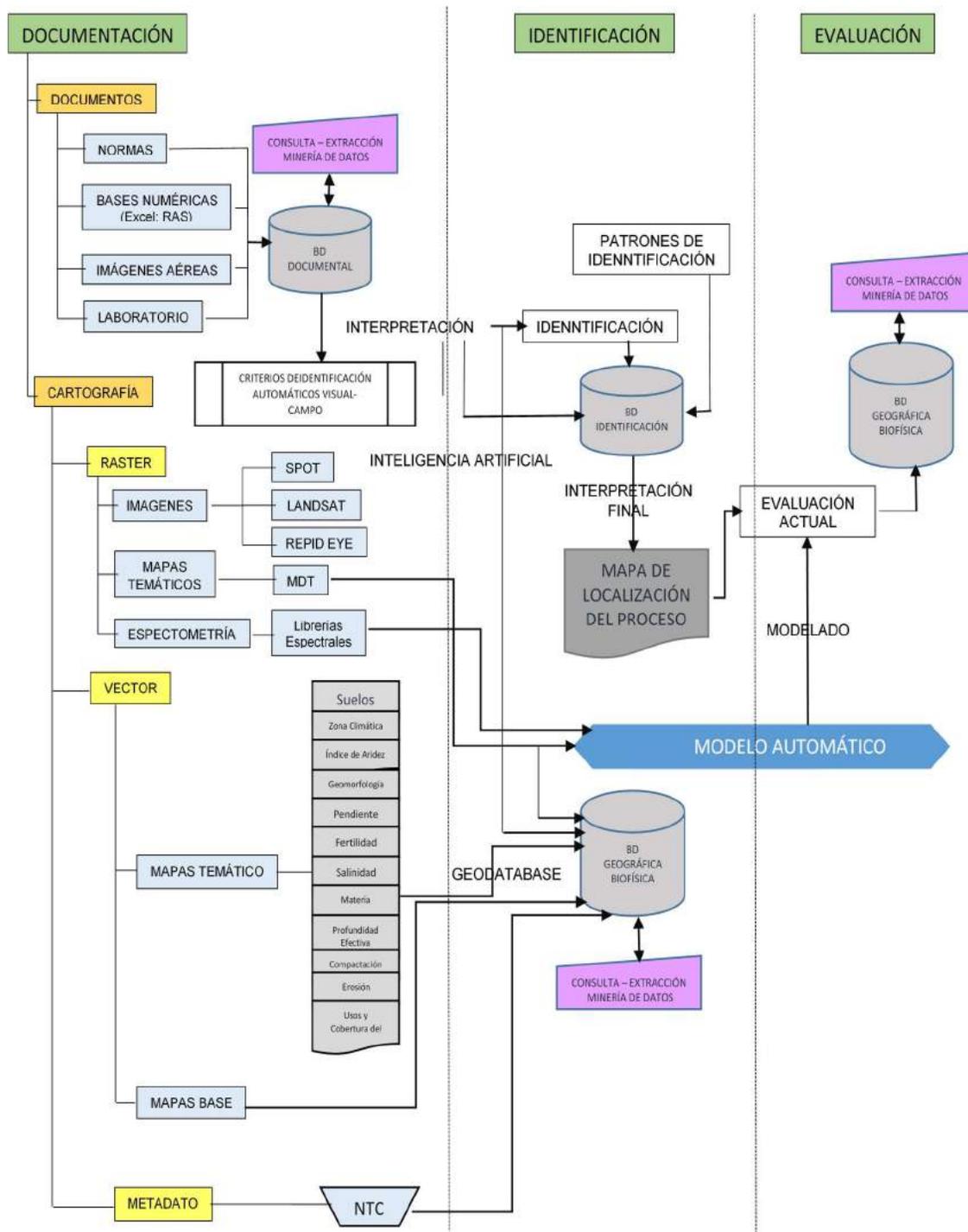
➤ **Estructuración de un del Sistema de Información Geográfica (SIG).**

Durante el proceso de construcción del modelo de DCS, y siguiendo los procesos de análisis, se identificaron las actividades que permitieron llegar a la construcción de una serie de requerimientos de información, infraestructura y de capacitación para mantener un SIG ágil y eficiente.

Ellas son:

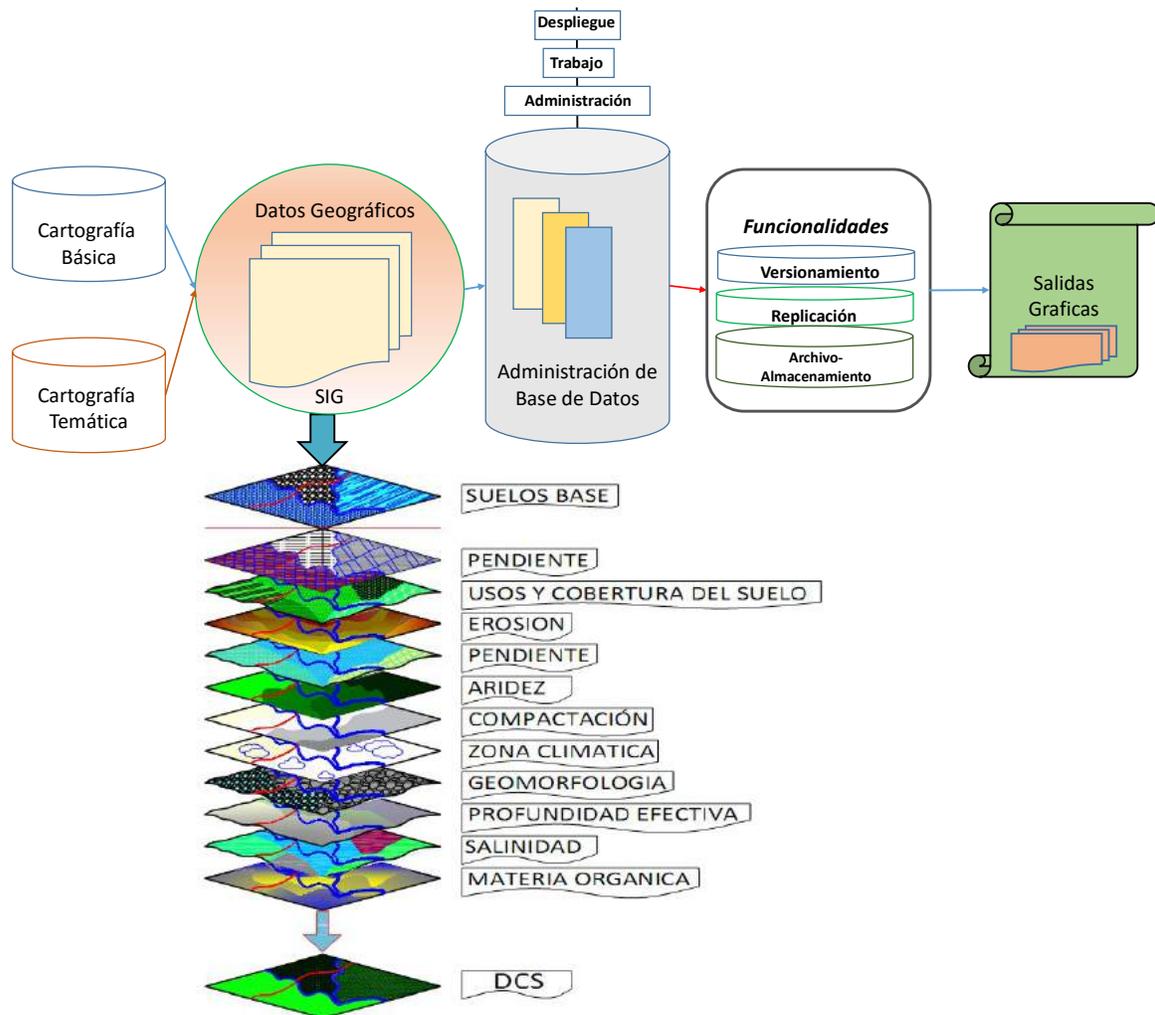
- Se estandarizó el método para la comparación de resultados.
 - Se crearon los datos estadísticos y geográficos.
 - Se estructuró la base de datos para su aplicación.
 - Se genera y sistematiza la cartografía básica y temática de la zona de estudio.
 - Se construyó un sistema de Información que permitió la identificación de los DCS.
-
- **Modelo conceptual.** El modelo conceptual planteado en la construcción de los DCS, muestra los elementos fundamentales relacionados con los atributos y el modelo de base de datos que se deben integrar en el sistema de información geográfico, ver gráfica 4.16.

Gráfica 4.16. Modelo conceptual SIG, para la identificación de los DCS.



- Modelo lógico.** Permite convertir el diseño conceptual en un diseño lógico de Software; para el caso de análisis cartográfico se utilizó el software (ArcGIS 10.4). Para el análisis numérico, se propone la utilización del manejador de base de datos de licencia libre PostgreSQL y la creación mediante lenguajes de programación de alto nivel de la Interface de operación, para reducir el sistema de Información a un programa ejecutable (*.EXE) compilado y creado en lenguaje de programación de última generación, que para el caso de los DCS, proviene del análisis estadístico antes descrito. Ver gráfica 4.17.

Gráfica 4.17. Modelo lógico del SIG, aplicable a los DCS.



Del análisis espacial de cada una de las variables o indicadores involucradas en el proceso, finalmente se procede a hacer un cruce e integración de aquellas áreas que según los análisis estadísticos, integralmente están por encima del coeficiente de impacto 6, y que finalmente determina una cobertura unificada de interacciones entre las variables, que definen las áreas resultantes como distritos de conservación de suelos.

4.5. Los Distritos de conservación de suelos – DCS, por tipos de interés

Esta clasificación no sigue un patrón técnico de evaluación de áreas por indicadores como lo planteado anteriormente, ni métodos específicos que permitan cuantificar ni categorizar zonas específicas por algún nivel de impacto. por consiguiente, para definir un área de suelos que pueda ser considerada como DCS por **“tipo de interés”**, lo debe hacer una autoridad de orden ambiental, técnica, científica o de planificación, las cuales consideren que algunas áreas de suelo en un territorio poseen algunas condiciones especiales, bien sea cuando se encuentre en peligro por expansión urbana, o bien porque representa cierto interés científico, interés cultural o ambiental, las cuales ameriten ser declaradas como tal. Esto con el fin de preservar el suelo como un recurso fundamental, e integrarlo armónicamente con los demás recursos de su entorno, manteniendo la calidad del ecosistema.

Se ratifica que en esos casos, no se requiere seguir el modelo técnico de identificación de los DCS presentado anteriormente en este capítulo, pero si se debe justificar idóneamente por parte de la autoridad componente, a través de un documento técnico, la importancia de la zona y sus servicios socio-ecosistémicos, para declararla como DCS.

Los tipos de área que pueden ser declaradas por su tipo de interés se relacionan con la expansión urbana, interés científico, interés cultural o interés ambiental. Su importancia radica en poder conservar áreas de suelos que pueden ser desaparecidos por acciones antrópicas por un cambio de uso extremo, cuyo potencial puede ser para actividades agropecuarias, pero hay algún interés para urbanismo; o conservar áreas de suelos que por su ubicación geoespacial pueda ser dedicadas a centros de investigación y experimentación; o porque un área de suelo posea algún rasgo histórico de tipo arqueológico o cultural donde amerite conservar su patrimonio o el de la humanidad; o

áreas de suelos de especial interés ambiental que soporte elementos ambientales o recursos únicos como flora, fauna, o recurso hídrico, o que se acoja a la estructura de una política nacional de suelos.

A continuación se hace una propuesta conceptual por los cuales un área se puede definir como DCS, según el tipo de interés.

4.5.1. Expansión urbana. Cuando en áreas perimetrales a las zonas urbanas o conurbadas, se pretendan desarrollar acciones de expansión urbana no planificada, que afecten áreas de suelo que por su vocación tienen funciones de gran interés eco sistémico y de producción, con el riesgo inminente de que el suelo sea eliminado o sellado, anulando por completo su potencial natural, bajo estas circunstancias, la autoridad ambiental competente dada la importancia estratégica del suelo, puede delimitar esas áreas pretendidas a ser utilizadas como expansión urbana y con riesgo a desaparecer, para ser declaradas como DCS.

4.5.2. Interés científico. Cuando un suelo revista importancia científica, que contengan elementos naturales del suelo que destaquen singularidad o tengan interés científico especial, bien sea por poseer condiciones únicas dadas sus propiedades físicoquímicas o evolutivas que lo caracterizan, o por poseer un tipo de fauna edáfica, algún tipo de mineralogía relevante, u otra condición especial que se sale de lo común, al igual que dada su ubicación geográfica y estratégica o su ubicación en un ecosistema específico, sirva para colocar centros de investigación que permitan el desarrollo y conocimiento del recurso, se puede declarar un área como DCS, delimitándolo adecuadamente y dando las características especiales que lo diferencian, para ser declarado como tal.

4.5.3. Interés cultural. Hace relación a aquellas áreas de suelos que poseen algún valor cultural, por contar con elementos de patrimonio arquitectónico, etnográfico o arqueológicas, formen o no conjuntos y estén o no declarados bienes de interés cultural; también pueden ser zonas con arraigo histórico que forman parte de un paisaje rural de gran belleza o valor cultural, etnográfico, agrícola, histórico, arqueológico, yacimientos paleontológicos, de interés científico o que comprenda elementos singularizados y

característicos dentro del paisaje general, o que represente algún valor cultural para una sociedad; o bien áreas de suelos donde se identifiquen monumentos naturales de notoria singularidad, rareza o belleza, que ameriten protección especial.

En esta categoría se deben delimitar aquellas áreas de suelo en los que coexisten actividades agrícolas, ganaderas, pesqueras o forestales con otras, conformando un paisaje de gran interés ecocultural que precise su conservación, donde a su vez se promueve el desarrollo armónico de las poblaciones locales y mejoras en sus condiciones de vida.

4.5.4. Interés ambiental. Aquellas áreas o espacios de suelo del territorio que por sus condiciones y ubicación en el ecosistema, o por contener o sostener elementos naturales que se destaquen por su rareza o singularidad, contribuyen significativamente al mantenimiento de la biodiversidad del territorio, que contengan elementos o sistemas naturales de especial interés o valor para desempeñar un papel importante en el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales como la protección del recurso hídrico, la recarga de los acuíferos y otros análogos como albergar poblaciones de animales que tengan una importancia vital para determinadas fases de la biología de las especies tales como áreas de reproducción y cría, refugio de especies migratorias o especies vegetales catalogados como amenazadas, altas concentraciones de elementos endémicos o especies que en virtud de convenios internacionales o disposiciones específicas requieran una protección especial.

Puede involucrar también áreas de suelos en condiciones naturales amplias, poco transformadas por el uso u ocupación humana que, en razón de la belleza de sus paisajes, la representatividad de sus ecosistemas o la singularidad de su flora, de su fauna o de sus formaciones geomorfológicas, poseen unos valores ecológicos, estéticos, educativos y científicos cuya conservación merece una atención preferente; la preservación de hábitat singulares, especies concretas, formaciones geológicas, geomorfológicas o procesos ecológicos naturales de interés especial y en la que no es compatible la ocupación humana diferente a fines científicos, educativos y, excepcionalmente, recreativos, o de carácter tradicional.

Se precisa que para definir los DCS de suelos bajo el criterio de interés ambiental, se debe valorar el suelo como elemento constitutivo, que al perderse o degradarse, conlleva a que los demás elementos que el soporta se empiezan a degradar y pueden desaparecer, es decir se cataloga la importancia del suelo como armonizador de los demás elementos ambientales, el cual cumple una función como articulador de las demás condiciones o elementos que allí se albergan.

Estas áreas que se pueden declarar como DCS por la autoridad competente, sin hacer uso del método planteado en esta investigación, pueden estar en cualquier zona de un territorio analizado y pueden o no compartir espacios con aquellas áreas protegidas de mayor cobertura como son las zonas de parques nacionales naturales, zonas de reservas forestales u otra, las zonas declaradas como distritos de conservación de suelos, donde el suelo es el elemento esencial para su delimitación, deben ser inmersas en la zonificación y ordenamiento de las áreas más grandes o de una cuenca hidrográfica.

Etapas II. Aplicación del proceso metodológico para identificar y caracterizar distritos de conservación de suelos-DCS

En esta segunda etapa, se procedió a comprobar la aplicabilidad del proceso o modelo planteado para la identificación y caracterización de los DCS. Dicha aplicación se realizó en una zona definida, específicamente en la cuenca del río Bogotá; en un primer momento en el tercio Alto y medio de la cuenca y un segundo ejercicio en el tercio bajo de la misma, con el fin de validar la información y hacer los ajustes respectivos al proceso metodológico planteado, para finalmente identificar en la cuenca, aquellas áreas que fueron definidas como DCS.

Siguiendo el esquema metodológico planteado y con base en los indicadores que lo integran: (pendiente, usos y coberturas del suelo, erosión, aridez, compactación, clima, geomorfología, profundidad efectiva, salinidad, materia orgánica y fertilidad); se realizó una caracterización o diagnóstico de cada uno de ellos, condición que permitió observar su comportamiento o el estado actual del mismo al interior de la cuenca, posteriormente y según sus resultados, a cada indicador se le asignó el valor correspondiente del estándar $10 - E_{10}$, facilitando de esta manera medir el nivel de impacto sobre un área específica de la cuenca. Finalmente, a través de los métodos estadísticos y cartográficos, se analizaron y definieron las áreas que al interior de la cuenca fueron catalogadas como DCS.

4.6. Caracterización del área de estudio

Se buscó que el área seleccionada para probar el modelo fuera representativa, que mantuviera en lo posible la mayor heterogeneidad en los indicadores, al igual que tener un buen acceso a los datos y a su vez, poder verificarlos y comprobarlos con el mínimo de limitaciones; adicionalmente los criterios que se tuvieron en cuenta fueron:

- La diversidad de pisos térmicos, que va desde muy frío a cálido, en un rango de alturas desde los 3.300 msnm hasta los 280 msnm.
- Diversidad de ecosistemas.

- La diversidad de suelos que presenta la cuenca, en ella se ubican 6 órdenes (entisoles, inceptisoles, andisoles, alfisoles, molisoles, ultisoles) de los 12 órdenes actuales, de la clasificación de la taxonomía de la Soil Survey Staff, USDA.
- El grado de intervención de los suelos en diferentes niveles tecnológicos, desde los poco o nada intervenidos con tecnologías incipientes, hasta los más tecnificados.
- La diversidad de coberturas y usos del suelo.
- La diversidad climática.
- La población que se ubica al interior de la cuenca, más de 9.000.000 de habitantes que representan cerca del 20% de la población total del país.
- La disponibilidad de información.
- La facilidad de adquirir información primaria.
- El apoyo institucional.

Bajo los anteriores criterios, se seleccionó el área geográfica de la Cuenca hidrográfica del río Bogotá (Colombia); de esta área se realizó la caracterización o identificación de cada uno de los indicadores propuestos por categorías y registradas espacialmente. Dicha información fue la base para realizar las interacciones respectivas entre los niveles categoricos de los los indicadores, desde lo estadístico y lo cartográfico, posteriormente se sacaron las áreas propuestas como DCS.

Los resultados de la caracterización de los diferentes indicadores tomados en el proceso metodológico para identificar DCS, se preentan a continuación:

4.6.1. Localización del área de estudio. La cuenca hidrográfica del Rio Bogotá cubre un área de 547.583,56 hectáreas y está ubicada en la parte central del país, en jurisdicción de 45 municipios del departamento de Cundinamarca.

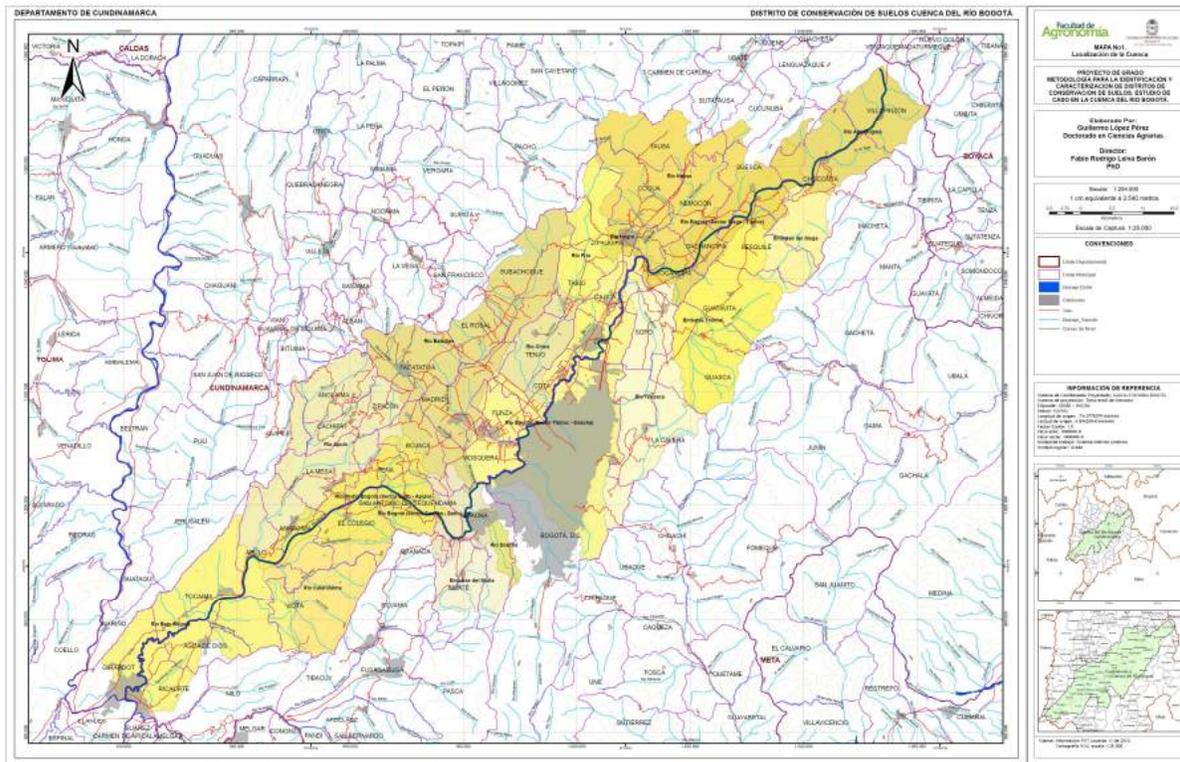
Limita por el norte con el Departamento de Boyacá, por el sur con el Departamento del Tolima, al oriente con los municipios de Chipaque, Choachí, Nilo, Silvania, Tibacuy y Ubaque y por el occidente con los municipios de Albán Bituima, Guayabal de Síquima, La Vega, Sasaima, San Francisco, Supatá y Pacho, todos del departamento de Cundinamarca.

A nivel nacional, el sistema hídrico que conforma la cuenca del río Bogotá, está calificada como de segundo orden; drena en sentido noreste-sureste partiendo de una altura de 3.300 msnm en el páramo de Guacheneque, municipio de Villapinzón y desemboca en el río Magdalena en el municipio de Girardot, a una altura de 280 msnm, luego de un recorrido de 336 km.

- **Construcción de la cartográfica básica de la cuenca.** Se tomó como base la cartografía topográfica institucional del IGAC, a escala 1:25.000 se generó la cartografía del mapa base de la cuenca, las cuales se presentan con curvas de nivel cada 50 m, en consecuencia fue necesario generar curvas de nivel cada 25 m, dicha actividad se realizó a partir del modelo de elevación digital de la Nasa – MDE, a 30 x 30 metros. (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/GDEM.ASP>, consultado febrero 2016). Mediante Software ArcGIS 10.4, se realizó una interpolación de las curvas de nivel obtenidas del empalme realizado, a fin de generar una base cartográfica con curvas de nivel cada 25 m que cubriera toda el área de estudio, siguiendo los lineamientos de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales - ICDE.
- **Escala de análisis de los DCS.** Para los efectos de definir adecuadamente una sola escala de análisis, todos los datos de la información cartográfica básica y la de los temáticos por indicadores, se estandarizó la información a escala 1:50.000, pero la información de impresión cartográfica para la identificación de los distritos de conservación de suelos fue a escala 1:100.000.

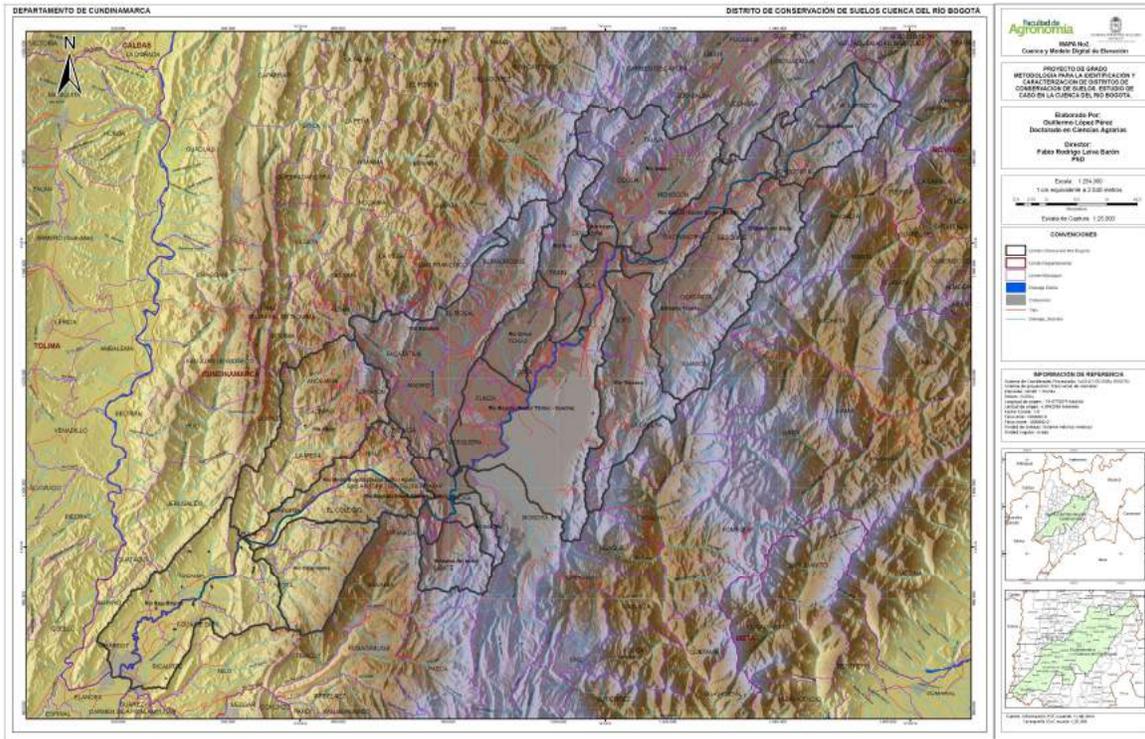
El mapa 4.1, muestra la localización del área geográfica de la cuenca del río Bogotá.,

Mapa 4.1. Localización del área de estudio.

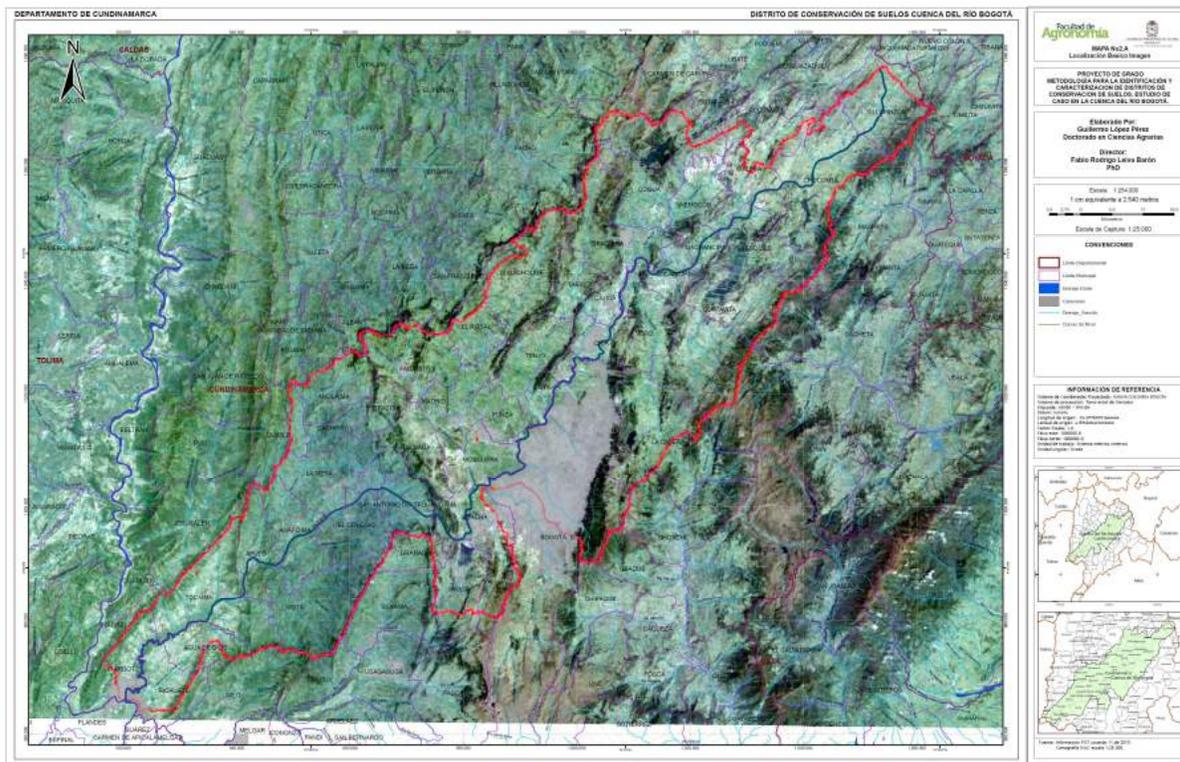


La caracterización altimétrica de la cuenta se identifica en el mapa 4.2, en el se observa que las zonas más altas sobre el nivel del mar se identifican con color morado, y a medida que se desciende altiméricamente pasa de colores cafés a grises y amarillos. En el mapa 4.3, se identifica las coberturas vegetales actuales en escala de verdes desde mas oscuros donde la vegetación es mas densa, hasta los verde mas claros, donde la vegetación se muestra dispersa y de porte bajo, correspondiendo principalmente a zonas agrícolas.

Mapa 4.2. Modelo de alturas de la cuenca del río Bogotá.



Mapa 4.3. Visión general de la Cobertura y uso de la tierra al interior de la cuenca del río Bogotá.



4.6.2. Descripción del mosaico de suelos de la cuenca. Los suelos descritos en la cuenca del río Bogotá, fueron tomados de los estudios básicos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi del departamento de Cundinamarca a escala 1:100.000 principalmente del año 2.000 y los estudios detallados de los suelos de algunas zonas planas a escala 1:10.000 y otros estudios puntuales entre los años 1995 y 2012, los cuales se adaptaron y ajustaron en esta investigación con información primaria de campo y de laboratorio, para definir la base temática de los suelos de la cuenca, a una escala de 1:50.000; convirtiéndose en la herramienta primaria de análisis para ser utilizados en la identificación de los DCS.

La caracterización de las unidades de suelos (cartográficas y taxonómicas), presentes en la cuenca del río Bogotá, se describen detalladamente en el anexo 1. De forma resumida, se identifica a continuación, mostrando las unidades Cartográficas de suelos UCS con sus respectivas unidades taxonómicas, y su espacialización en mapas a escala.

De forma general, los suelos de la cuenca cubren varios pisos térmicos, empezando en climas muy frío húmedo hasta el cálido húmedo, con rangos de temperatura desde los 8°C a los 28°C en promedio, dejando una variedad de suelos que se distinguen por su ubicación en sus diferentes pisos térmicos y diversidad de geoformas.

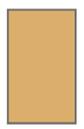
Específicamente los suelos cubren los siguientes pisos térmicos, Extremadamente frío húmedo, Muy frío muy húmedo, Frío muy húmedo, Frío húmedo, Frío seco, Medio húmedo, Cálido húmedo, Cálido seco. Fisiográficamente la cuenca está enmarcada en la provincia de la Cordillera Oriental o de plegamiento, conformada a su vez por los grandes paisajes de montaña estructural erosional y valle aluvial.

La estructura y organización de suelos, está definida en la leyenda geomorfo-pedológica que se presenta en la tabla 4.35 y mapa 4.4. Cabe anotar que la descripción de las unidades cartográficas se estructuró por su geoformas y por clima, del más frío al más cálido.

Tabla 4.35. Leyenda de suelos de la cuenca del río Bogotá.

UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	PAISAJE Y MATERIAL LITOLÓGICO	SUBPAISAJE - FORMA	CARACTERÍSTICAS DE LAS GEOFORMAS	UNIDADES CARTOGRÁFICAS Y CONTENIDO PEDOLÓGICO								
					CLASE	Nombre de la Unidad	Subgrupo	Perfil No.	%	Símbolo	Color	Área (ha)	(%)
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	Artesas en depósitos clásticos glaciogénicos con intercalaciones de rocas limoarcillosas y depósitos orgánicos localizados	Laderas estructurales y erosionales	Laderas moderadamente inclinadas- cubiertas por vegetación de páramo	Bien drenados- de texturas gruesas- superficiales- limitados por fragmentos de roca	Consociación	Typic Dystrcryepts- familia franca- mezclada- isocriica	CU-152	80	MEAd		159,1	0,03
										MEAc		205,4	0,04
		Campo morrénico en depósitos clásticos glaciogénicos- ceniza volcánica y algunos depósitos de materiales orgánicos	Laderas estructurales y erosionales	Laderas fuertemente inclinadas- cubiertas por vegetación de páramo	Bien drenados y superficiales- limitados por contacto con roca	Consociación	Lithic Melanocryands- familia medial- isocriica	MU-31	80	MEUe		0,0	0
										MEUf		66,7	0,01
		Espinazos- crestas y escarpes mayores en rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Laderas estructurales y erosionales	Laderas fuertementes escarpadas- cubiertas por vegetación de páramo	Bien drenados- de texturas gruesas- superficiales- limitados por fragmentos de roca	Consociación	Typic Dystrcryepts- familia franca gruesa- mezclada- isocriica	CU-132	70	MEFe		1.903,7	0,35
										MEFg		3.843,5	0,7
										MEFep		849,6	0,16
								MEFf		535,6	0,1		
Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	Crestas homoclinales en rocas clásticas limoarcillosas	Laderas estructurales y erosionales	Laderas fuertementes escarpadas- cubiertas por vegetación de páramo	Excesivamente drenados- superficiales- limitados por contacto con el material parental y de texturas medias a finas	Consociación	Humic Lithic Dystrudepts- familia franca fina- mezclada- isofrigida	CU-107	80	MGsg		3.519,9	0,64
										Crestones homoclinales rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Laderas estructurales y erosionales	Laderas moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	Bien a excesivamente drenados- profundos a superficiales limitados por contacto con material rocoso coherente y de grupo textural fino a moderadamente grueso
		MGfe		8.145,4	1,49								
		MGfg		735,1	0,13								
		Glacis de acumulación y lomas en depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas arenosas- limoarcillosas y conglomeráticas.	Laderas erosionales	Laderas erosionales de pendientes moderadamente inclinadas	Bien drenados- de texturas moderadamente finas a gruesas- profundos a superficiales- limitados por contacto lítico y nivel freático alto.	Consociación	Typic Hapludands- familia medial- isofrigida	CC-284	85	MGtd		11.971,9	2,19
										MGtc		259,4	0,05
		Vallecitos coluvio aluviales en depósitos clásticos glaciogénicos	Laderas de acumulación	Laderas cortas y estrechas de vallecitos encajonados- afectadas por crecientes súbitas de los ríos que las drenan y disectan	Pobrementes drenados- muy superficiales (limitados por fragmentos de roca y nivel freático superficial)- de texturas medias y baja evolución	Consociación	Typic Humaquepts- familia franca fina- mezclada- isofrigida	CC-332	80	MGNa		449,8	0,08
MGNb										87,8	0,02		

Frio muy húmedo	Montaña estructural erosional	Crestones homoclinales en rocas clásticas limoarcillosas- arenosas y depósitos de espesor variable de ceniza volcánica	Laderas estructurales y erosionales	Laderas moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	Bien drenado- de texturas finas a moderadamente gruesas y profundos a superficiales limitados por contacto con el material parental duro y coherente.	Consociación	Andic Dystrudepts- familia franca fina- mezcla- isomésica	AC-34	85	MKCe		996,7	0,18
										MK Cf		142,5	0,03
Frio húmedo	Montaña estructural erosional	Abanicos aluviales en ceniza volcánica y depósitos clásticos hidrogravigénicos.	Laderas erosionales	Laderas ligeramente inclinadas- con niveles moderados de susceptibilidad a la erosión	Bien a moderadamente bien drenados- de texturas finas a moderadamente gruesas y de evolución baja a moderada	Consociación	Typic Melanudands- familia medial- isomésica	MU-8	70	MLJb		788,0	0,14
										MLJc		3.141,0	0,57
										MLJd		1.211,1	0,22
		Crestas homoclinales en rocas clásticas limoarcillosas y depósitos de ceniza volcánica	Laderas estructurales y erosionales	Laderas fuertemente escarpadas- caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	Bien drenados- de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas y profundos a superficiales limitados por mantos de roca dura y coherente	Consociación	Typic Eutrudepts- familia franca fina- mezcla- isomésica	CC-94	70	MLSg		15.614,1	2,85
										MLSgr		126,0	0,02
		Crestones homoclinales rocas clásticas limoarcillosas y depósitos de espesor variable de ceniza volcánica	Laderas estructurales y erosionales	Laderas ligera a moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Profundos a superficiales limitados por contacto con el manto rocoso- bien a moderadamente bien drenados y de texturas finas a moderadamente gruesas	Consociación	Humic Lithic Eutrudepts- familia fina- mezcla- isomésica	CC-307	70	MLVf		35.503,7	6,48
										MLVe		14.791,4	2,7
										MLVe2		464,9	0,08
										MLVfr		521,1	0,1
		Cuestas en depósitos de ceniza volcánica que recubren parcialmente rocas clásticas limoarcillosas	Laderas erosionales	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien a moderadamente bien drenados y profundos a moderadamente profundos- limitados por la presencia de horizontes argílicos	Consociación	Typic Hapludands- familia medial- isomésica	AC-69	85	MLTd		8.314,4	1,52
MLTc										3.175,3	0,58		
Espinazos en rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Laderas estructurales y erosionales	Laderas moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	Profundos a superficiales limitados por contacto lítico y bien drenados	Consociación	Humic Lithic Dystrudepts- familia gruesa- mezcla- isomésica	AC-54	85	MLFf		4.890,6	0,89		
Glacis coluvial en ceniza volcánica sobre depósitos clásticos gravigénicos y rocas clásticas limoarcillosas	Laderas erosionales	Laderas ligeramente inclinadas afectadas esporádicamente por presencia de pedregosidad superficial	Profundos a moderadamente profundos- bien drenados- de texturas medias a moderadamente gruesas	Consociación	Pachic Melanudands- familia medial- isomésica	MU-9	75	MLKd		10.754,3	1,96		
								MLKc		1.600,3	0,29		
								MLKdp		973,0	0,18		
Lomas en rocas clásticas arenosas- limo arcillosas y mantos de espesor variable de ceniza volcánica	Laderas erosionales	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien drenados- de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas- profundos a superficiales (limitados por horizonte argílico)	Consociación	Humic Dystrudepts- familia fina- mezcla- isomésica	CC-226	70	MLCd		25.324,2	4,62		
								MLCe		7.417,7	1,35		
	MLCc		2.601,3	0,48									

				y de evolución baja a moderada.									
	Vallecitos en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Laderas agradacionales	Valles estrechos de ríos y quebradas de menor tamaño	Texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas- drenaje natural pobre a moderado y en algunos sectores profundidad efectiva superficial	Consociación	Humic Dystrudepts- familia franca gruesa- mezcla- isomésica	CC-52	75	MLNa		203,6	0,04	
								MLNb		112,6	0,02		
Frio seco	Montaña estructural erosional	Abanicos aluviales en depósitos clásticos hidrogravigénicos.	Laderas erosionales	Laderas ligeramente inclinadas- con niveles moderados de susceptibilidad a la erosión	Bien drenados- moderadamente profundos a superficiales- de texturas gruesas y evolución baja	Consociación	Humic Dystrudepts- familia franca gruesa- mezcla- isomésica	CC-205	80	MMJb		372,7	0,07
										MMJc		2.159,7	0,39
		Crestas homoclinales en rocas clásticas limoarcillosas	Laderas estructurales	Laderas fuertemente escarpadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados y erosión hídrica	Bien drenados- de grupo textural moderadamente fino y superficiales limitados por contacto con roca	Consociación	Typic Ustorthents- familia franca gruesa- mezcla- isomésica	AC-16	70	MMSg		690,9	0,13
										Crestones homoclinales rocas clásticas limoarcillosas	Laderas estructurales y erosionales	Laderas ligera a moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien drenados- de textura fina y moderadamente profundos- limitados por contacto lítico
		MMVe		6.187,7	1,13								
		MMVfr		1.487,0	0,27								
		MMVe3		1.137,9	0,21								
		MMVe2		782,8	0,14								
		MMVf2		267,0	0,05								
		Cuestas en depósitos de ceniza volcánica que recubren parcialmente rocas clásticas limoarcillosas	Laderas estructurales y erosionales	Laderas ligera a moderadamente inclinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados y erosión hídrica laminar moderada	Bien drenados- moderadamente profundos- limitados por capas rocosas continuas y coherentes	Consociación	Lithic Hapludands- familia franca media- isomésica	AC-90	75	MMTd		233,8	0,04
										MMTd2		2.982,8	0,54
		Glacis coluvial en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Laderas erosionales	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Moderadamente bien drenados- moderadamente profundos y de texturas finas a moderadamente gruesas	Consociación	Typic Haplustalfs- familia franca fina- mezcla- isomésica	CC-174	90	MMKc		1.304,3	0,24
										MMKd		4.910,9	0,9
		Lomas en rocas clásticas limo arcillosas	Laderas erosionales	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien drenados- de texturas medias a moderadamente finas y de evolución baja	Consociación	Humic Dystrudepts- familia franca fina- mezcla- isomésica	CC-230	80	MMCd		17.798,7	3,25
MMCe										5.996,1	1,09		
MMCe2										5.102,6	0,93		
MMCd1										2.015,8	0,37		
MMCe2p										1.122,7	0,21		

Medio húmedo	Montaña estructural erosional	Misceláneo erosionado	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	ME		337,7	0,06
		Abanicos terraza en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Plano de abanico terraza	Zonas planas de suelos evolucionados	Moderadamente bien drenados- de texturas finas a moderadamente finas y moderadamente profundos- limitados por la presencia de un horizonte argílico endurecido en los primeros 50 cm de profundidad	Consociación	Humic Hapludults- familia franca fina- mezcla- isotérmica	CU-138	75	MQXb		599,7	0,11
		Crestas homoclinales en rocas clásticas limoarcillosas	Laderas estructurales	Laderas fuertemente escarpadas- caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	Excesivamente drenados- muy superficiales limitados por fragmentos de roca que aparecen en promedio a partir de los 17 cm y de grupo textural moderadamente fino a moderadamente grueso	Consociación	Typic Udorthents- familia franca fina- mezcla- isotérmica	CU-116	80	MQSg		2.820,0	0,51
		Crestones homoclinales en rocas clásticas limoarcillosas y químicas carbonatadas	Laderas estructurales	Laderas ligera a moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien drenados- originados a partir de rocas clásticas limoarcillosas calcáreas- de texturas finas y superficiales por causa del contacto lítico	Consociación	Lithic Hapludolls- familia fina- mezcla- isotérmica	PT-466	80	MQVf		5.914,9	1,08
		Espinazos en rocas clásticas arenosas	Laderas erosionales	Laderas moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien drenados- de texturas moderadamente gruesas y superficiales- limitados por la presencia de fragmentos de roca en el perfil	Consociación	Lithic Udorthents- familia franca gruesa- mezcla- isotérmica	CU-105	75	MQFf		844,7	0,15
		Glacis coluvial en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Laderas erosionales	Laderas ligeramente inclinadas afectadas esporádicamente por presencia de pedregosidad superficial	Bien drenados- de texturas moderadamente finas y profundidad efectiva moderada- limitada por fragmentos de roca en el perfil	Consociación	Humic Eutrudepts- familia franca fina- mezcla- isotérmica	G-22	70	MQKd		9.862,7	1,8
		Lomas en rocas clásticas limoarcillosas	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien drenados- profundos a moderadamente profundos (limitados por presencia de fragmentos de roca en el perfil) de texturas finas	Consociación	Dystric Eutrudepts- familia fina- mezcla- isotérmica	AC-24	90	MQBe		2.269,8	0,41	
										MQBd		272,8	0,05

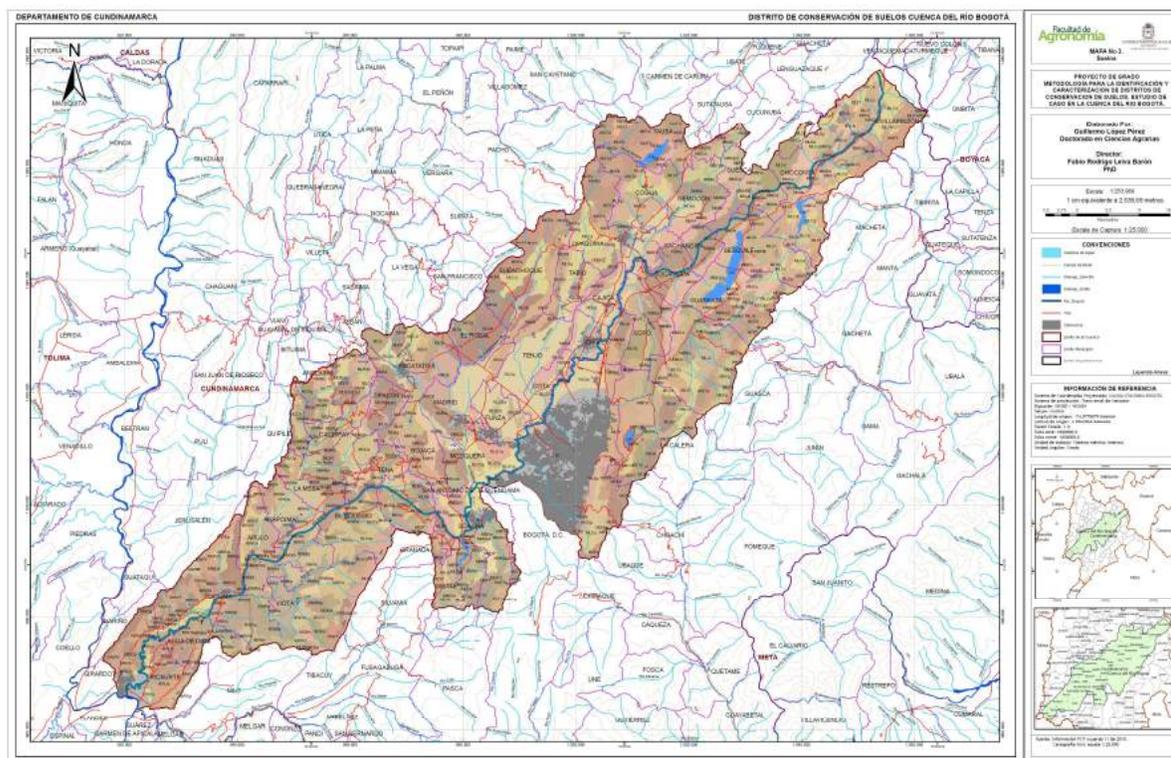
		Lomas en rocas clásticas limoarcillosas con depósitos de ceniza volcánica	Laderas erosionales	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por deslizamientos frecuentes sectorizados	Muy poco evolucionados- desarrollados a partir de rocas clásticas limoarcillosas- de texturas finas a medias- bien drenados y de profundidad efectiva muy superficial limitada por fragmentos de roca en el perfil	Consociación	Typic Udorthents- familia franca fina- mezclada- isotérmica	AC-28	70	MQCe		14.116,8	2,58
										MQCd		2.532,2	0,46
		Vallecitos coluvio – aluviales en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Laderas erosionales	Laderas ligeramente inclinadas	Profundos- bien drenados y de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas	Consociación	Typic Eutrudepts- familia franca fina- mezclada- isotérmica	AC-84	80	MQNb		705,5	0,13
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	Glacis coluvial en rocas clásticas heterométricas	Laderas erosionales	Laderas ligeramente inclinadas afectadas esporádicamente por presencia de pedregosidad superficial	Bien drenados- de texturas finas y de profundidad efectiva superficial- limitada por fragmentos de roca en el perfil	Consociación	Typic Dystrudepts- familia fina- mezclada- isohipertérmica-	AC-62	75	MVKd		1.163,3	0,21
		Lomas en rocas clásticas limoarcillosas	Laderas erosionales	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por deslizamientos frecuentes sectorizados	Bien drenados- profundos y de grupo textural moderadamente fino	Consociación	Oxic Dystrudepts- familia franca fina- mezclada- isohipertérmica	AC-49	65	MVCe		353,7	0,06
Cálido seco	Montaña estructural erosional	Abanicos aluviales en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Laderas erosionales	Áreas ligeramente inclinadas	Bien drenados- moderadamente profundos a superficiales y de texturas finas a moderadamente finas	Consociación	Typic Calcistolls- familia fina- mezclada- isohipertérmica	AC-76	80	MWJb		9.631,4	1,76
										MWJc		689,2	0,13
		Abanicos terraza en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Plano de abanico terrazas	Zonas planas de suelos evolucionados	Bien drenados- de textura media- muy baja evolución a partir de depósitos clásticos hidrogravigénicos y profundidad efectiva muy superficial- limitada por fragmentos de roca a una profundidad inferior a los 50 cm	Consociación	Typic Ustorthents- familia franca fina- mezclada- isohipertérmica	AC-82	80	MWXb		1.355,6	0,25
										MWXd		539,4	0,1
										Crestas homoclinales en rocas clásticas limoarcillosas y depósitos de ceniza volcánica	Laderas estructurales y erosionales	Laderas fuertemente escarpadas- caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	Bien drenados- de texturas medias a moderadamente gruesas y moderadamente profundas a superficiales- limitados por contacto con roca dura y coherente y en fragmentos
Crestones homoclinales rocas clásticas limoarcillosas y depósitos de espesor variable de ceniza volcánica	Laderas estructurales y erosionales	Laderas ligera a moderadamente escarpadas- caracterizadas por deslizamientos frecuentes sectorizados	Bien drenados- profundos a muy superficiales limitados por contacto con el material rocoso coherente	Consociación	Typic Dystrudepts- familia franca fina- mezclada- isohipertérmica	AC-58	80	MWVd					
								MWVe		9.578,8	1,75		
								MWVf		8.308,6	1,52		

		Espinazos en rocas clásticas limoarcillosas y químicas carbonatadas	Laderas erosionales	Laderas ligera a moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien a excesivamente drenados- muy superficiales- limitados por contacto lítico y de texturas moderadamente finas	Consociación	Lithic Ustorhents- familia franca fina- mezcla- isohipertérmica	CU-17	70	MWFf		4.896,9	0,89
										MWFe		1.869,9	0,34
		Glacis coluvial en rocas clásticas heterométricas	Laderas erosionales	Laderas ligeramente inclinadas afectadas esporádicamente por presencia de pedregosidad superficial	Bien drenados de texturas finas- baja evolución y profundidad efectiva superficial- limitada por la presencia de fragmentos de roca que aparecen a profundidades inferiores a los 25 cm	Consociación	Entic Haplustolls- familia franca fina- mezcla- isohipertérmica	AC-74	80	MWKd		2.342,1	0,43
		Lomas en rocas clásticas limoarcillosas	Laderas erosionales	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien a moderadamente bien drenados- de texturas moderadamente finas a finas y superficiales limitados por presencia de fragmentos de roca en el perfil	Consociación	Humic Dystrustepts- familia franca fina- mezcla- isohipertérmica	CU-12	75	MWBd		9.156,0	1,67
										MWBdp		3.597,8	0,66
										MWBe		6.018,4	1,1
MWBep										1.067,3	0,19		
Lomas en rocas clásticas limoarcillosas con depósitos de ceniza volcánica	Laderas erosionales	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	Bien drenados- de texturas finas y profundidad efectiva superficial limitada por abundantes fragmentos de roca en el perfil	Consociación	Entic Haplustolls- familia franca fina- mezcla- isohipertérmica	CU-19	80	MWCc		3.223,1	0,59		
								MWCd		3.974,4	0,73		
								MWCe		2.916,5	0,53		
Vallecito coluvial aluvial en	Laderas erosionales	Áreas ligeramente inclinadas	Bien drenados- muy superficiales (limitados por fragmentos de roca)- de texturas finas y evolución muy baja	Consociación	Typic Ustorhents- familia fina- mezcla- isohipertérmica	CU-39	70	MWNa		1.604,5	0,29		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	Plano de inundación en sedimentos clásticos hidrogénicos	Sobrevega	Áreas planas del valle aluvial- afectadas por periódicas inundaciones y encharcamientos	Profundos a superficiales- bien a pobremente drenados- de texturas finas a medias	Consociación	Aeric Endoaquepts- familia franca fina- mezcla- isomésica	CT-2b	80	RLO2a		1.141,4	0,21
							Fluvaquentic Endoaquepts- familia franca fina- mezcla- isomésica	CU-142	80	RLO1a		5.397,3	0,99
							Typic Endoaquepts- familia franca fina- mezcla- isomésica	AC-19	80	RLOa		10.883,7	1,99
		Terrazas aluviales en depósitos de ceniza volcánica	Plano de terraza	Áreas planas- afectadas en sectores muy aislados por encharcamiento poco frecuentes	Baja a moderadamente evolucionados- de texturas moderadamente finas a través de todo el perfil- muy profundos y bien drenados	Consociación	Pachic Melanudands- familia franca media- isomésica	AC-8	90	RLQa		38.578,9	7,04
										RLQb		8.605,7	1,57
Terrazas aluviales en depósitos fluvio lacustres	Plano de terraza	Áreas planas- afectadas en sectores muy aislados por encharcamiento poco frecuentes	Baja a moderadamente evolucionados- de texturas moderadamente finas a través de todo el perfil- muy profundos y bien drenados	Consociación	Andic Dystrustepts- familia franca gruesa- mezcla- isomésica	CT-4a	90	RLQ1a		2.787,0	0,51		

		Terrazas aluviales en depósitos fluvio lacustres-parcialmente cubiertos con cenizas volcánicas	Plano de terraza	Áreas planas- afectadas en sectores muy aislados por encharcamiento poco frecuentes	Baja a moderadamente evolucionados- de texturas moderadamente finas a través de todo el perfil- muy profundos y bien drenados	Consociación	Aquic Hapludands- familia medial- isomésica	CT-14a	90	RLQ2a		925,7	0,17
Frio Seco	Planicie aluvial	Plano de inundación en sedimentos clásticos hidrogénicos	Sobrevega	Áreas planas- afectadas por encharcamientos e inundaciones	Muy pobremente drenados- de texturas finas a través de todo el perfil y muy superficiales- limitados por nivel freático fluctuante	Consociación	Aeric Epiaquents- familia fina- mezclada- isomésica	AC-14	80	RMOa		8.393,1	1,53
		Terrazas en depósitos de ceniza volcánica sobre materiales clásticos hidrogénicos	Plano de terraza	Áreas planas- afectadas en sectores muy aislados por encharcamiento poco frecuentes	Profundos a muy profundos- bien a moderadamente bien drenados y de texturas finas a moderadamente gruesas	Consociación	Pachic Hapludands- familia medial- isomésica	MU-1	70	RMQb		5.778,8	1,06
		Terrazas en depósitos clásticos hidrogénicos	Plano de terraza	Áreas planas- afectadas en sectores muy aislados por encharcamiento poco frecuentes	Moderadamente bien drenados- profundos y de texturas finas	Consociación	Humic Dystrustepts- familia fina- mezclada- isomésica	CU-132	90	RMRa		17.223,7	3,15
										RMRb		2.719,4	0,5
Cálido seco	Valle aluvial	Plano de inundación en depósitos aluviales	Sobrevega	Zonas planas afectadas por inundaciones ocasionales	Moderadamente profundos limitados por fragmentos de roca en el perfil; bien drenados y de muy baja evolución	Consociación	Typic Ustipsamments- familia franca fina- mezclada- isohipertérmica	CU-46	75	VWOa		2.875,0	0,53
		Terraza aluvial en depósitos clásticos hidrogénicos	Plano de terraza	Zonas planas de suelos poco evolucionados	Texturas moderadamente gruesas a gruesas- profundos y bien drenados	Consociación	Typic Haplustepts- familia franca gruesa- mezclada- isohipertérmica	CU-44	75	VWQa		4.134,7	0,76
Otras Areas	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	EMBALSE/ C UERPO DE AGUA		4.443,3	0,81
					(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	PN		172,1	0,03
					(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	ZU		231,6	0,05
					(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	(en blanco)	ZU		40.581,3	7,41
TOTAL CUENCA											547.583,6	100	

Fuente: La investigación d adaptada y ajustada de IGAC 2002, CAR, 200

Mapa 4.4. Suelos cuenca hidrográfica río Bogotá.



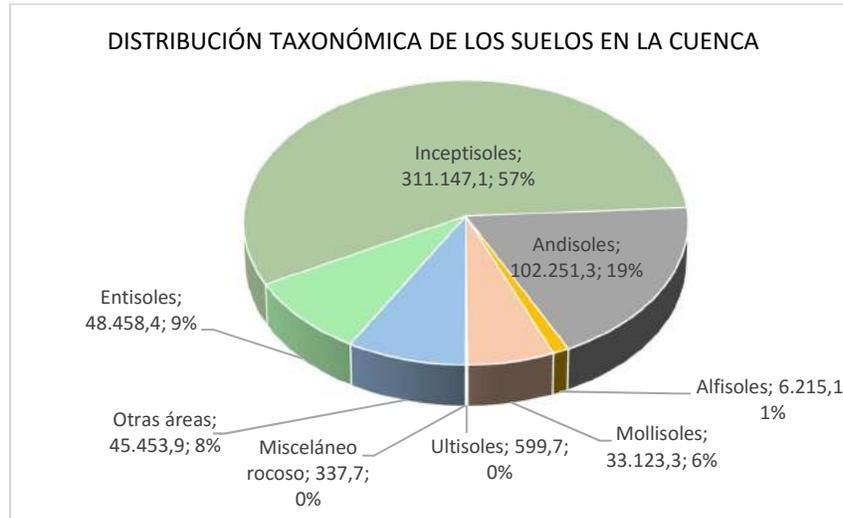
Fuente: La investigación

➤ Aspectos relevantes de los suelos

- **Por su distribución taxonómica.** El estudio de los suelos, mostró que al interior de la cuenca del río Bogotá, los inceptisoles son el orden más sobresalientes, alcanzado el 57% del total del área, están diseminados a lo largo y ancho de la cuenca; le siguen en su orden los grupos entisoles que se ubican principalmente en los falcos oriental y occidenat de la ceunca y molisoles que se ubcan principalmente en las partes planas en climas de clima cálido seco con el 9% y 7% repectivaente; los menos dominantes corresponden a los alfisoles con el 1% y los últisoles con menos del 1%, que se ubican en la parte media de la ceunca en climas principalmente templados.

Esto indica que los suelos de la cuenca son muy jóvenes a medianamente evolucionados. Ver gráfica 4.18.

Gráfica 4.18. Dominio de suelos por taxonomía, en la cuenca.



Fuente: La investigación

- Por su ubicación en el paisaje.** Del total del área de los suelos de la cuenca del río Bogotá, que asciende a 547.583,56 ha; el 71,13% se ubican en paisajes de montaña estructural erosional en los flancos oriental y occidental de la cuenca a través de toda su estructura, el 19,29% en planicie aluvial del tercio medio y bajo de la cuenca, el 1,28 % en el valle aluvial del sector medio y bajo de la cuenca, el restante 8,30 % corresponde a otras áreas (zonas urbanas y cuerpos de agua). Tabla 4.36. Cada paisaje presenta variedad de formas, descritos en la leyenda fisiográfica pedológica (suelos tabla 4.35) respectiva, asociados fundamentalmente con:

- Artesas en depósitos clásticos
 - Campo morrénico en depósitos clásticos
 - Espinazos- crestas y escarpes mayores
 - Crestas homoclinales
 - Crestones homoclinales

- Glacís de acumulación y lomas en depósitos de ceniza volcánica
- Cuestas en depósitos de ceniza volcánica
- Lomas
- Vallecitos coluvio aluviales
- Abanicos aluviales
- Terrazas aluviales
- Planos de inundación

Tabla 4.36. Ubicación de los suelos de la cuenca por paisaje.

PAISAJE	AREA (ha)	(%)
MONTAÑA ESTRUCTURAL EROSIONAL	389.506,8	71,13
PLANICIE ALUVIAL	105.614,0	19,29
VALLE ALUVIAL	7.009,70	1,28
OTRAS AREAS	45.453,90	8,30
TOTAL	547.583,6	100,00

Fuente: La investigación

- **Por el tipo de clima.** En la cuenca, el 67.07% de los suelos se ubican en el clima frío cubriendo un área de 367.264,80 ha, y se ubican en el tercio alto y medio de la cuenca, discriminados por la zona climática así: suelos en clima extremadamente frío húmedo el 1.38%, en clima muy frío muy húmedo el 7.68%, en clima frío muy húmedo 0.21%, en clima frío húmedo el 37.59%, en clima frío seco la cobertura es del 20.21%. En clima medio se ubican suelos con un área de 48.982,3 ha, (8.94%), en el la parte alta del tercio bajo de la cuenca, específicamente en clima medio húmedo. En clima cálido se ubican 85.883,40 ha, (15.68%), y corresponde en su totalidad al tercio bajo de la cuenca, específicamente en clima cálido húmedo el 0.28% y en clima cálido seco el 15.41%. Las demás áreas corresponden a otras áreas (zonas urbanas y cuerpos de agua). Tabla 4.37.

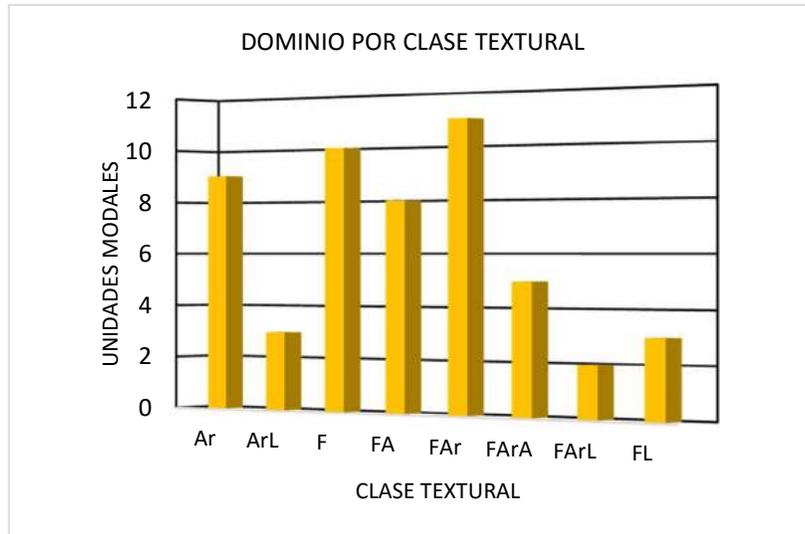
Tabla 4.37. Ubicación de los suelos de la cuenca por piso térmico.

PISO TERMICO	AREA (ha)	(%)
Extremadamente frío húmedo	7.563,60	1.38
Muy frío muy húmedo	42.046,20	7.68
Frío muy húmedo	1.139,20	0.21
Frío húmedo	205.823,50	37.59
Frío seco	110.692,30	20.21
Medio húmedo	48.982,30	8.95
Cálido húmedo	1.517,00	0.28
Cálido seco	84.366,40	15.41
Otras Areas	45.453,90	8.30
TOTAL	547.583,60	100

Fuente: La investigación

- Por dominio de clase textural.** Para el análisis de la dominancia de la clase textural, se tomo la información de los perfiles modales representativos de la unidad cartográfica y específicamente del horizonte A. Los resultados muestran que en la capa superficial del suelo, se presenta un dominio de las clases texturales francas, con mayor dominancia de la Franco Arcillosa, seguida de la Franca y Franco Arenosa. En segundo orden, se identificó a la clase textural Arcillosa y Arcillo Limosa, con dominio en ciertas unidades de suelo. Se aclara que en la cuenca del río Bogotá la clase textural clasificada como arenosa no se hace presente en las unidades de suelos. Gráfica 4.19. Las texturas FArA, FL y F, tienen mayor dominio en el tercio alto y medio de la cuenca, en tanto las texturas Ar, Arl, FArL, en el tercio bajo de la cuenca.

Gráfica 4.19. Dominio de la clase textural de los perfiles modales de suelos presentes en la cuenca.



Fuente: La investigación

4.6.3. Caracterización de la pendiente en la cuenca del río Bogotá. Este indicador fue caracterizado directamente para esta investigación, en ella se agruparon las pendientes en clases, calculadas con base en el MDE de acuerdo a los rangos de grado preestablecidos.

Para cada rango de grado de pendiente, se colocó un símbolo (letras minúsculas) y se asoció con las características generales del relieve; los terrenos con pendientes menores a 7% se califican como planos a ligeramente inclinados. Las pendientes entre 7 y 25% describen relieves con grados que van de ondulado a fuertemente ondulado o inclinado. Las pendientes entre 25-50% califican como de relieve fuertemente quebrado. En el rango entre 50 hasta 75% se considera que el relieve es escarpado y finalmente, las pendientes por encima de 75% se consideran como de relieve muy escarpado.

La cuenca del río Bogotá presenta una predominancia de relieve fuertemente ondulado a fuertemente quebrado en más de la mitad de su extensión territorial (52.3%), ubicados principalmente a las zonas montañosas que rodean la Sabana de Bogotá, altimétricamente se

encuentran superando los 2.600 msnm, también se encuentran en las zonas montañosas del flanco oeste de la cordillera oriental que drena hacia el río Magdalena, en altitudes que oscilan entre 240 y 2.000 msnm.

Alrededor de 15.18% de la extensión territorial de la cuenca corresponde a relieves planos a ligeramente planos que corresponden al altiplano de la Sabana de Bogotá y a las zonas de relieve muy suave que caracterizan los valles aluviales estrechos de los ríos principales de la región.

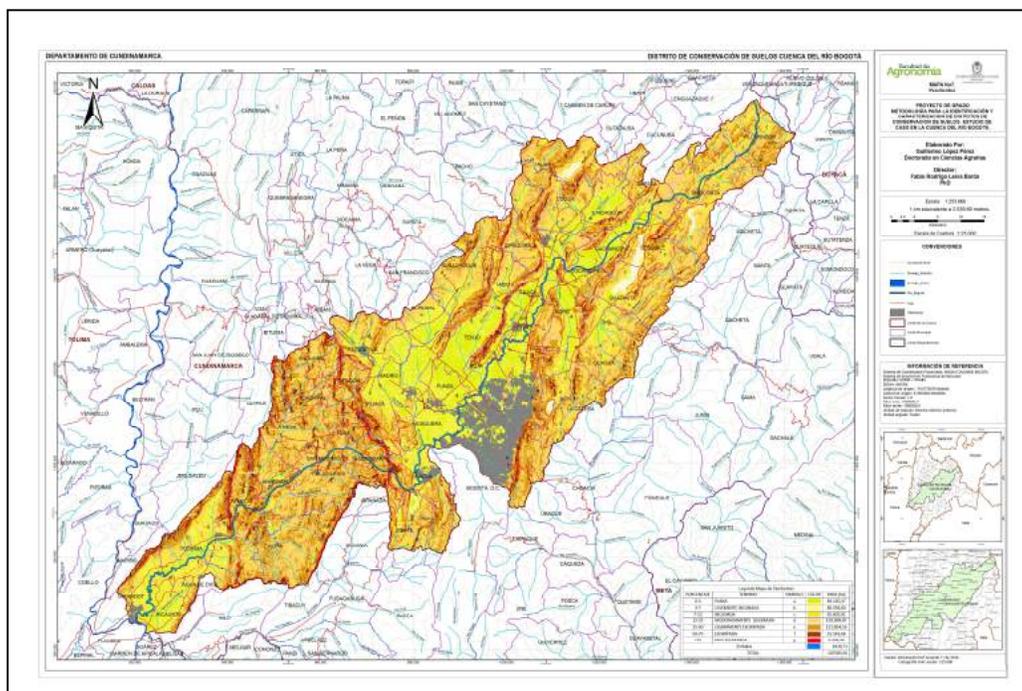
Un porcentaje del 14.72% corresponde a relieves ligeramente inclinados a ligeramente ondulados y 11.98% a relieves ondulados e inclinados. Pendientes moderadamente quebradas que ascienden al 29.2%, se ubican en los costados oriental y occidental del tercio alto y medio de la cuenca y en casi todo el tercio bajo de la misma, al igual que el 22.25% de pendientes ligeramente escarpadas. Finalmente, una fracción menor al 5.84% del área total corresponde relieves escarpados y muy escarpados principalmente en las zonas de fallamiento y de escarpes mayores en las partes más altas de las montañas del tercio alto y medio de la cuenca, en los flancos oriental y occidental. . Ver Tabla 4.38, mapa 4.5.

Tabla 4.38. Distribución de los diferentes rangos de pendiente, extensión territorial y porcentual para la totalidad de la cuenca del río Bogotá.

PORCENTAJE	TERMINO	SIMBOLO	COLOR	ÁREA (ha)	(%)
0-3	PLANA	a		83.130,17	15,18
3-7	LEVEMENTE INCLINADA	b		80.594,60	14,72
7-12	INCLINADA	c		65.605,91	11,98
12-25	MODERADAMENTE QUEBRADA	d		159.999,87	29,22
25-50	LIGERAMENTE ESCARPADA	e		121.854,16	22,25
50-75	ESCARPADA	f		25.543,68	4,66
>75	MUY ESCARPADA	g		6.436,46	1,18
Embalse				4.418,71	0,81
TOTAL				547.583,56	100,00

Fuente: La investigación

Mapa 4.5. Pendientes cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.6.4. Caracterización de las coberturas y usos del suelo. La caracterización de esta variable o indicador se construyó directamente para poder ser aplicada en el modelo de DCS, se siguió la estructura metodológica denominada CORINE (Coordination of Information on the Environmental) Land Cover adaptada para Colombia, tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la (cobertura) biofísica de la superficie de la tierra, a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica.

Las coberturas y usos más representativos de la cuenca del río Bogotá, corresponden de una parte al tejido urbano continuo y discontinuo, tiene un alto nivel de significancia cubriendo cerca de 43.211,22 ha, dado que al interior de ella se ubica no solo la cabecera municipal de la ciudad de Bogotá DC, sino 45 cabeceras municipales más. Su mayor influencia está en el tercio medio de la cuenca.

Los territorios agrícolas, donde hay mezcla de cultivos principalmente frutales, caducifolios, cítricos, cultivos bajo cubierta representados por flores, hortalizas y aromáticas, cubren un área significativa de 57.537,67 ha, haciéndose presente en el sector central y occidental del tercio alto y medio y en el sector central del tercio bajo; igualmente el cultivo de papa que se ubica en el tercio alto, cubre un área de 18.554,76ha y el café en el tercio bajo cubriendo 12.341,86ha.

Pero la cobertura mas sobresaliente de los territorios agrícolas al interior de la cuenca corresponde a los pastos, especialmente a los pastos limpios para ganadería de leche y doble propósito, cubre un área de 209.786,90ha, en estas zonas se realizan prácticas de manejo (limpieza, enclavamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizado impide el desarrollo de otras coberturas; las especies mas sobresalientes en pastos limpios corresponden a Kikuyo, Azul Orchoro, Kudzu, Carretón, Braquiura y pastos de corte como Guinea en lotes poco representativos, que se ubican a lo largo y ancho de toda la cuenca, principalmente en el tercio alto y medio.

La cobertura de bosque que incorpora los densos, abiertos de tierras firme, bosque secundario, fragmentado y bosques de galería, cubren 97.034,13 ha, siendo una cuenca que tan solo el 17.72% de su área conserva este tipo de vegetación de algún modo natural, dicha cobertura se ubica principalmente en las áreas inclinadas de los flancos oriental y occidental a lo largo de toda la cuenca y en el tercio bajo de la misma.

Una cobertura fragmentada que corresponde a los arbustos densos, abarca un área de 70.902,42 ha, y se encuentran ubicada principalmente en el tercio alto y bajo de la cuenca, en las zonas de pendientes dominante entre el 7 al 25%, este tipo de cobertura se constituyó principalmente por el uso en actividades agropecuarias que algún día se les dio a estas áreas, y hoy se encuentran abandonadas para esta actividad, y estan proceso de revegetalización; en el mismo sentido se se han formado por la alta intervención de la vegetación primaria y las áreas han reducido su biomasa, encontrándose en arbustos densos.

Las superficies de agua en esta cuenca cubren 6.308,43ha, y corresponden al cuerpo del rio y los embalses que se ubican en la parte plana de del tercio alto y medio de la cuenca.

Las diferentes unidades de coberturas y usos de los suelos de la cuenca del río Bogotá, se identifican en la tabla 4.39 y mapa 4.6.

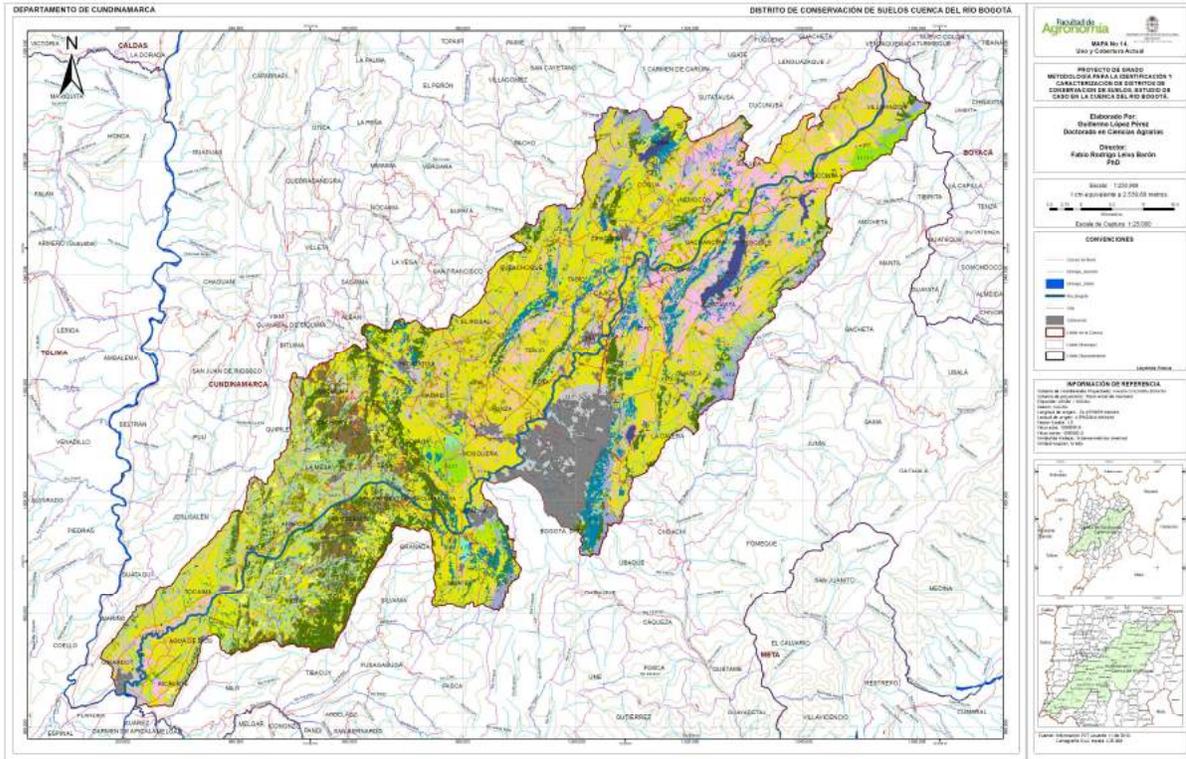
Tabla 4.39. Coberturas y usos de los suelos presentes al interior de la cuenca del río Bogotá.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Símbolo	AREA (ha)	(%)	
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo			1.1.1	25.485,26	4,65	
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo			1.1.2	17.725,96	3,24	
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales				1.2.1	529,82	0,10
		1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera			1.3.1	1.318,88	0,24
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios			2.1.1	86,16	0,02	
		2.1.2. Cereales	2.1.2.2. Arroz		2.1.2.2.	559,28	0,10	
		2.1.4. Hortalizas				35,28	0,01	
		2.1.5. Tubérculos	2.1.5.1. Papa		2.1.5.1	18.554,76	3,39	
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos			2.2.1.1	57.357,67	10,47
			2.2.1.2. Caña	2.2.1.2.2 Caña Panelera		2.2.1.2.2	1.558,37	0,28
			2.2.1.3. Plátano y banano			2.2.1.3	158,13	0,03
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.2.2.2. Café		2.2.2.2	12.341,86	2,25	
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.2.3. 5. Otros frutales		2.2.3.5	3.138,17	0,57	
			2.2.3.6. Cultivos bajo cubierta(invernaderos)		2.2.3.6	6.439,43	1,18	
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios			2.3.1	209.783,90	38,31	
		2.3.2. Pastos arbolados			2.3.2	258,48	0,05	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de cultivos			2.4.1	70,14	0,01	
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos			2.4.2	3.589,92	0,66	
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales			2.4.4	4.422,09	0,81	

3. BOSQUES Y AREAS SEMI NATURALES	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque Denso	3.1.1.1. Bosque Denso Alto	3.1.1.1.1. Bosque Denso Alto de Tierra Firme	3.1.1.1.1	388,47	0,07
			3.1.1.2. Bosque Denso Bajo	3.1.1.2.1. Bosque Denso Bajo de Tierra Firme		3.346,88	0,61
		3.1.2. Bosque Abierto	3.1.2.1. Bosque Abierto Alto	3.1.2.1.1. Bosque Abierto Alto de Tierra Firme	3.1.2.1.1	13.357,07	2,44
		3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria		3.1.3.2	53.327,90	9,74
		3.1.4. Bosque de galería y ripario			3.1.4	974,04	0,18
		3.1.5. Plantación forestal			3.1.5	25.639,77	4,68
		3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazales	3.2.1.2. Hebazal abierto	3.2.1.2.1. hebazal abierto arenoso		1.362,64
	3.2.2. Arbustal		3.2.2.1. Arbustal denso			70.902,42	12,95
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición		3.2.3.1. Vegetación Secundaria Alta		3.2.3.1	3.353,96	0,61
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación		3.3.3. Tierras desnudas y degradadas		3.3.3	4.352,90	0,79
	4. AREAS HUMEDAS	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Zonas Pantanosas		4.1.1	289,27	0,05
			4.1.3. Vegetación acuosa sobre cuerpos de agua			566,25	0,10
	5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales		5.1.2	945,15	0,17
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales				5.1.4	5.363,28	0,98	
TOTAL						547.583,56	100,00

Fuente: La investigación

Mapa 4.6. Coberturas y usos de los suelos presentes al interior de la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

En resumen, se identifica a la cuenca del río Bogotá con una cobertura de territorios artificializados cubriendo 45.059,92ha; los territorios agrícolas tienen el área más significativa al interior de la cuenca cubriendo 318.353,64ha, las áreas en bosques alcanzan 177.006,05ha, las áreas húmedas llegan tan solo a 855.52ha y las superficies de agua cubren 6.308.43ha. Ver tabla 4.40.

Tabla 4.40. Resumen de las coberturas del suelo de la cuenca.

TIPO DE COBERTURA	AREA (ha)	(%)
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	45.059,92	8.23
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	318.353,64	58.14
3. BOSQUES Y AREAS SEMI NATURALES	177.006,05	32.32
4. AREAS HUMEDAS	855,52	0.16
5. SUPERFICIES DE AGUA	6.308,43	1.15
TOTAL	547.583,56	100

Fuente: La investigación

4.6.5. Caracterización de la erosión. Se calculó la erosión actual y la aerosión potencial.

➤ **Erosión actual en la cuenca.** Para la investigación, se calculó la erosión actual de la cuenca, se tomó con base en el grado de afectación de las unidades de suelo presentes al interior de cada unidad cartográfica descrita, es decir se identificaron los rasgos de erosión presentes.

- **Origen de la erosión en la cuenca.** Los rasgos actuales de erosión visibles están dados en menor proporción por las acciones lentas de tipo geológico y en mayor escala las de origen antrópico, apoyadas por las condiciones de los suelos y microclimas puntuales en zonas de la cuenca, las que manifiestan el estado actual de los procesos erosivos.
- **Tipo de erosión.** El tipo de erosión presente en la cuenca se debe únicamente a la acción hídrica.
- **Agentes causantes.** En el caso de los rasgos de erosión de origen geológico, el principal agente causante de tipo pasivo es la gravedad apoyada en las altas pendientes; otra contribución la hace el agua a través de la lluvia y la esorrentía.

El origen de la erosión antrópica se debe principalmente a la acción de los agentes activos, especialmente al hombre, al agua lluvia y la esorrentía. Se manifiesta debido a los cambios efectuados a través del tiempo por los usuarios al interior de la cuenca, dinámica que se ve reflejada en la pérdida de la vegetación natural, el establecimiento de sistemas de producción sin un adecuado manejo del suelo, el uso intensivo y semiintensivo de la ganadería y la carencia de prácticas de control de erosión. A lo anterior se asocian los microclimas áridos, localizados en ciertas áreas de la cuenca que, asociados a la fragilidad de los suelos, los hace altamente vulnerables a los procesos de degradación y específicamente a la erosión.

- **Grados de erosión presentes en la cuenca.**

A continuación se describen los niveles de erosión actual encontrados en los suelos de la cuenca según su grado, datos que se identifican en la tabla 4.41.

Tabla 4.41. Grado de erosión actual presente en la cuenca.

GRADO	Perdida de suelo	% Área suelo afectado	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
No apreciable	No se aprecia	0-5	NA		120.062,28	21,93
Ligero	<25% horizonte A	5-10	LS		150.822,62	27,54
Moderado	Del 25 -75% del horizonte A	10-25	M		192.654,77	35,18
Severo	>75% del horizonte A	25 - 50	SV		32.795,35	5,99
Muy severo	Pérdida total del Horizonte A.	>50	MS		5.725,66	1,05
CUERPO DE AGUA			CA		4.444,29	0,81
URBANO			U		40.941,60	7,48
ME + PA					136,99	0,03
TOTAL					547.583,56	100

Fuente: La investigación

- **Sin erosión.** Las áreas de la cuenca donde no se aprecia ningún grado de erosión o por lo menos no visible, se ubican en suelos de pendientes por lo general menores al 7% cubriendo un área de 120.062,28 ha. . Cubre una pequeña parte del tercio alto de la cuenca del Bogotá que se extienden desde los lados del municipio de Villapinzón, y se repliega al costado occidental de la cuenca sobre las planicies del municipio de Zipaquirá y Nemocón; en el tercio medio encuentra su mayor expresión sobre la parte aluvial o cuenca media del río Bogotá, en los suelos de las planicies, vegas y terrazas medias y bajas, siguiendo la distancia que este recorre desde Sopó hasta el municipio de Sibaté; en el tercio bajo de la cuenca se no se hace evidente la erosión en las zonas aluviales del área de influencia de los municipios de Tocaima, Girardot y Ricaurte principalmente. Foto 4.1.

Foto 4.1 Áreas sin erosión visible.



Fuente: La investigación

- **Erosión ligera.** Este grado erosivo es causado principalmente por la lluvia y la escorrentía, predominando los rasgos visibles sobre el suelo en formas laminares y por surcos.

El área de afectación del suelo en este grado es menor al 5%, y cubre una extensión de 150.822,62 ha, espacialmente se identifica este rango en el tercio bajo de la ceunca, desde la inflexión del Salto de Tequendama, hasta el municipio de Restrepo y Girardot parte parte muy cercano a desembocadura del rio Bogotá, también se encuentran en las partes bajas de las laderas oriental y occidental de los cerros que rodean el tercio madio y alto de la ceunca, y en general sobre áreas donde las pendientes medias del terreno están entre el 7 al 25%. Los suelos afectados con este grado de erosión poseen coberturas con matorrales y arbustales; los usos del suelo están representados en praderas de ganadería de leche y doble propósito y explotación de cultivos de clima frío como hortalizas, papa y avena forrajera; igualmente en suelos de clima medio y caliente donde actualmente se desarrollan sistemas productivos de café, platano, cítricos, frutales y arroz, en ganadería de pastoreo semiintensivo y extensivo de engorde. Foto 4.2.

Foto 4.2. Área de la cuenca con erosión ligera.



Fuente: La investigación

- **Erosión moderada.** Se identifica este grado de erosión en las unidades de suelos que tengan niveles de afectación entre el 5 al 10% de su extensión. Al interior de la cuenca se identificaron 192.654,77 ha, distribuida espacialmente sobre las laderas de montaña estructurales denudativas, donde las pendientes dominantes van del 12% al 50%, y en ocasiones superiores.

Los usos del suelo que dominan en las áreas donde se presenta este grado están representados por pastos con ganadería semiintensiva y de pastoreo, con altas cargas de ganado/ha. Es evidente que áreas cercanas a las zonas de expansión urbana, explotaciones mineras

Espacialmente se identifica este grado de erosión sobre el tercio alto y medio de la cuenca en los cerros tutelares de la parte oriental y occidental de la misma, formando franjas alargadas en dirección norte-sur, también en el tercio bajo de la cuenca en los cerros perimetrales a la corriente del río principal.

Las formas más visibles de erosión estado plástico corresponden a (flujos terrosos, donde se destacan las patas de vaca y terracetas y algunos desprendimientos localizados), los fenómenos de erosión por escorrentía y lluvia de tipo laminar también se hace presente en formas de cárcavas y surcos. Foto 4.3.

Foto 4.3. Área de la cuenca con erosión moderada.



Fuente: La investigación

- **Erosión severa.** Este grado de erosión se identifica cuando las unidades de suelo están afectadas entre el 10-25% de su área, en la cuenca dichas áreas ascienden a 32.795,35 ha, calificadas con erosión severa. Espacialmente son áreas muy localizadas principalmente en los cerros con pendientes superiores al 25% de los municipios de Zipaquirá, Cogua, Suesca, Necmoción, Sesquile y Guatavita; otro sector con este grado de erosión se ubica en la parte alta del tercio bajo de la cuenca sobre la franja montañosa de los municipios de Soacha, Sibaté y parte de Bojacá. Los análisis muestran que este grado de erosión afecta suelos de baja a media evolución, generalmente poco profundos y de climas secos; los detonantes de este nivel erosivo está también relacionado con el clima seco, el uso del suelo y las pendientes, las actividades antrópicas por deforestación e incorporación de los suelos a las explotaciones ganaderas extensivas, cultivos igualmente extensivos de bajo nivel tecnológico y el avance de la colonización.

En las áreas afectadas se hacen visible los deslizamientos mixtos, algunos desprendimientos por caídas de escombros y la más común, que son la erosión hídrica por lluvia y escorrentía donde se marcan algunas surcos, laminar y cárcavas, también se manifiestan en los flujos de suelo por terracetas y patas de vaca, los flujos de suelo en estado plástico principalmente los golpes de cuchara y la erosión laminar. Foto 4.4.

Foto 4.4. Área de la cuenca con erosión severa.



Fuente: La investigación

- **Erosión muy severa.** Se da cuando las unidades de suelo están afectadas entre un 25% a 50% de su área, corresponde al grado de erosión más crítico cubriendo 5.725,66 ha, en zonas de la cuenca con pendientes que van del 12% al 50% muy puntuales de la cuenca, principalmente en las laderas de los cerros y colinas del tercio alto en jurisdicción de los municipios de Suesca, Nemocón y Guatavita; en el tercio medio se evidencia áreas afectadas en los cerros orientales de Bogotá, municipios de Mosquera, Bojacá y Soacha, donde la cobertura vegetal es escasa o nula, hay dominio de climas muy secos microclima muy frío seco a ligeramente árido, bastante incipientes gracias a que ya se han perdido por el fenómeno erosivo, hay evidencias que estos suelos alguna vez fueron cultivados, pero hoy en día se encuentran en rastrojos o pastos nativos muy poco mejorados.

Los inductores erosivos están asociados con la pendiente, los microclimas localizados secos y muy secos, precipitaciones intensas en períodos de tiempo muy espacializados o de baja frecuencia, generan una gran energía cinética que desprende las partículas y hacen que se pierdan y se arrastren, dejando en ocasiones expuesto el material parental del suelo.

Las formas más comunes de manifestarse este grado de erosión, corresponde a la erosión superficial especialmente láminas, surcos y cárcavas. También se presentan deslizamientos de tipo planar y transversal, se evidencian desprendimientos por caídas de escombros, saltamientos, rodamientos, desplomes y volcamiento de materiales. Foto 4.5.

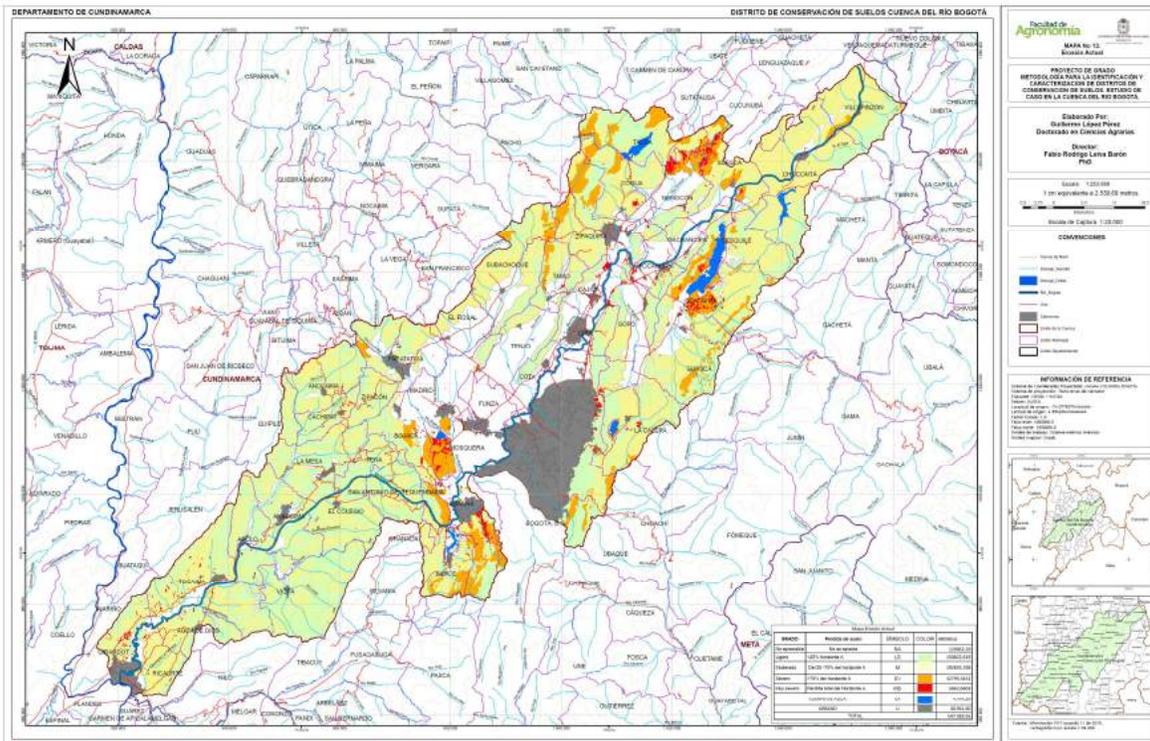
La distribución espacial de los grados de erosión al interior de la cuenca del río Bogotá, se identifican en el mapa 4.7.

Foto 4.5. Área de la cuenca con erosión muy severa.



Fuente: La investigación

Mapa 4.7. Distribución espacial de la erosión actual de los suelos de la cuenca.



Fuente: La investigación

- **Erosión potencial en la cuenca por el método USLE - RUSLE.** Al igual que la erosión actual, para esta investigación también se determinaron por métodos indirectos las pérdidas potenciales de suelo, tomando como elementos de análisis sus atributos actuales, es decir en condiciones de lluvia actual, los tipos de suelos, las longitudes y grados de pendiente, el tipo de cobertura vegetal y las prácticas de manejo, condiciones que puedan contribuir a detener las pérdidas.

Si los indicadores antes mencionados permanecen estáticos en un sitio y lugar determinado de la cuenca, las pérdidas de suelo se manifiestan en un grado determinado, si alguno de ellos tiende a cambiar, automáticamente el grado de erosión se verá modificado.

En condiciones normales, cuando se predice la erosión, la validez de los datos predichos se mantiene hasta que uno de sus atributos que la califican cambie significativamente, generalmente quien más modifica potencialmente los grados o pérdidas de erosión son las pendientes pero estas no cambian en el largo tiempo, las variables más cambiantes son la coberturas vegetales y los niveles de precipitación.

El método utilizado en este estudio para determinar la pérdida potencial de suelos, es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos – EUPS o USLE (en inglés), las predicciones de erosión a través del modelo de la USLE se deben revisar para un periodo de tiempo entre tres a cinco años, para poder definir y recalcular su nuevo grado de erosión y proyectarlo.

- **Origen de la erosión en la cuenca.** El origen de la erosión aquí presentada, esta únicamente relacionada con la lluvia y su efecto en las áreas de utilidad o uso antrópico, específicamente con la erosión pluvial, no hay manifestaciones de origen eólico. Es decir que en su mayoría el origen de la erosión es de tipo antrópico y no geológico. La predicción de la erosión presentada en este documento, se calcula solo para las zonas rurales excluyendo las áreas urbanas y cuerpos de agua.

- **Tipo de erosión.** El tipo de erosión presente en el ecosistema se debe únicamente a la acción hídrica.
- **Agentes causantes.** Los agentes causantes de la erosión están íntimamente asociados a los atributos que la califican, en primer lugar se tiene los agentes móviles que mayor influencia tienen en la determinación e las pérdidas y son la lluvia y el hombre, asociado este a los cambios en la cobertura vegetal. Como agentes pasivos se tiene aquellos relacionados con el suelo, los grados de pendiente, las longitudes de pendiente y los agentes combinados que integran las prácticas culturales y mecánicas de control de erosión.
- **Análisis de los factores involucrados en la modelación con la ecuación universal de pérdida de suelo.** El ejercicio de modelación de la erosión potencial a nivel de la cuenca del río Bogotá utilizando la USLE, ofrece la oportunidad de integrar diversos factores causales de la erosión obtenidos de manera empírica, los cuales a su vez, aportan y complementan la valoración de campo de la erosión actual, realizada a nivel de las distintas unidades de suelos dentro de la cuenca. Lo anterior con la finalidad de obtener una visión global de los procesos de erosión, que pueden tener lugar dentro de la cuenca y así contar con una herramienta diagnóstica, que permita definir áreas encaminados a la recuperación de zonas afectadas.

Para poner en contexto la modelación con la USLE, se presenta la distribución y variabilidad espacial de los diferentes parámetros que la componen dentro de la zona de estudio. En particular cuando surge la necesidad de aplicar modificaciones para obtener los parámetros necesarios, de manera indirecta, cuando no existen los registros adecuados que permitan estimar cada uno de los factores de manera directa.

El modelo USLE contempla la ecuación así:

$$A=R*K*LS*C*P$$

A = Pérdida de suelo promedio anual en [t/ha/año]

R = Factor erosividad de las lluvias en [MJ/ha*mm/hr]

K = Factor erodabilidad del suelo en [t/ha.MJ*ha/mm*hr]

LS = Factor topográfico (función de longitud-inclinación-forma de la pendiente), adimensional

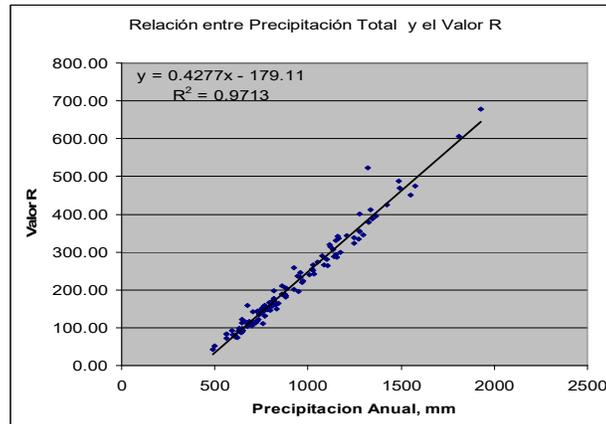
C = Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal), adimensional

P = Factor de prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional

- **Erosividad de la lluvia “R”.**

En ausencia de los parámetros para la estimación directa del factor R, se optó por una medición indirecta mediante el cálculo del índice de Fournier modificado por FAO (I_{fm}), con base a la información disponible de las cantidades de precipitación medias para cada mes y los totales anuales, que son datos que se encuentran ampliamente disponibles a nivel de las estaciones meteorológicas dentro de la jurisdicción.

El índice de Fournier se calculó mediante aplicación de la formula indicada en cada uno de los valores de precipitación mensual y anual en las 126 estaciones pluviométricas disponibles y posteriormente se transformó en valores de R mediante la ecuación de correlación, modificada por Arnoldus, H.M.J. (1980). Dichos valores de R se espacializaron como polígonos de Thiessen para el área total de la cuenca.



Este factor muestra la posibilidad que un suelo pierda determinadas toneladas en un año, es decir que si el suelo está desnudo, se pueden perder por acción de la lluvia y según donde ella actúe entre mínimo 43 y más de 400 toneladas de suelo por hectárea al año, dependiendo de la longitud y grado de pendientes y los demás elementos asociados al modelo de predicción.

- **Factor “K” de erodabilidad del suelo.**

El factor de erodabilidad del suelo se determinó a partir de la ecuación de Wischmeier y Smith (1978), que relaciona la materia orgánica, textura superficial, estructura del suelo y permeabilidad, parámetros que fueron tomados del horizonte superficial de cada uno de los perfiles modales de las consociaciones de suelos en que se dividió la cuenca.

La información analítica de los horizontes de cada perfil se tomó de los estudios de suelos existentes para la zona elaborados por el IGAC y ajustados por la investigación, los cuales finalmente permiten la estimación del factor K.

Del total de 57 perfiles modales, correspondiendo a igual número de consociaciones de suelos existentes en la cuenca, se extrajeron los valores analíticos del horizonte superficial para las distintas fracciones texturales, el carbono orgánico, y las clases de permeabilidad y estructura y

se estimó el valor de K, mismo que se reclasifico en cuatro clases que varían de muy baja a alta susceptibilidad a la erosión. La síntesis de los resultados se presenta en el Tabla 4.42.

Tabla 4.42. Resumen de los valores promedio de los parámetros requeridos para estimar el factor K de acuerdo con el grado de susceptibilidad a la erosión.

SUSCEPTIBILIDAD	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	C ORGANICO	CLS PERMEAB	CLS ESTRUCTURA	VALOR MEDIO K
MUY BAJA	42	24	35	8.90	2.3	2.1	0.065
BAJA	38	32	31	3.27	2.8	2.6	0.155
MEDIA	31	42	26	3.71	4.0	2.6	0.265
ALTA	28	54	18	0.49	2.5	2.3	0.379
PROMEDIO	37	33	30	4.62	2.8	2.4	0.162

Fuente: La investigación

El rango de valores de K en la base de datos va desde 0.023 hasta 0.460, con los valores promedio ilustrados en el cuadro anterior. Como K es un factor adimensional, a mayor el número, mayor susceptibilidad a perderse el suelo. En condiciones de la cuenca del río Bogotá, los suelos porcentualmente se pueden perder hasta máximo en un 46%, pero mínimo en un 2.3%.

Se observa que en la clase muy baja y baja de susceptibilidad a la erosión (valores $K < 0.155$) se ubican los suelos con los valores altos de materia orgánica y mayor contenido de arcilla, permeabilidad rápida y estructura granular fina a media, factores que de hecho confieren mayor estabilidad a los agregados estructurales del suelo, brindando consigo un efecto de menor susceptibilidad a la erosión. De manera adicional, se debe reconocer el efecto estabilizador de la estructura que tienen las arcillas amorfas como la alófana, presente en las cenizas volcánicas que se presentan de manera común en muchos de los suelos de la cuenca.

Como se indicó, la condición de estabilidad estructural de estos horizontes se debe en buena parte a la presencia de los coloides amorfos que le confieren algunas de las características distintivas de la presencia de cenizas volcánica en los suelos, como es la baja densidad aparente en muchos casos menor o igual que 1 g/cc .

- **Factor “LS” de longitud y grado de la pendiente.**

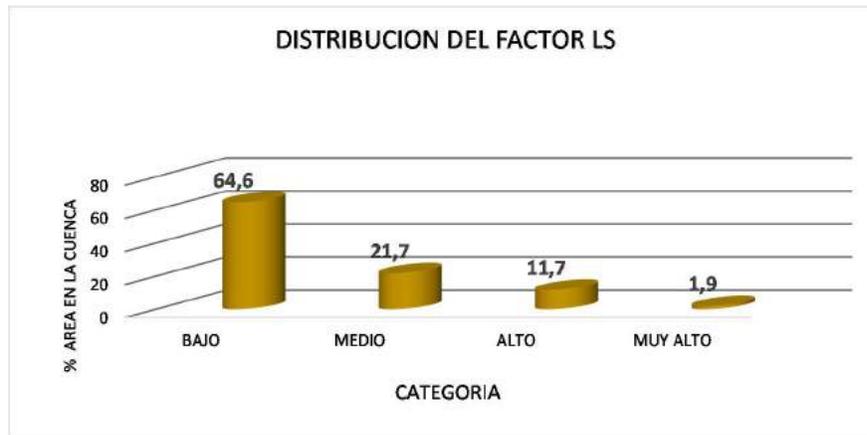
El efecto de la topografía sobre la susceptibilidad a la erosión está representado por los factores longitud (L) y grado de pendiente (S) tomados de manera multiplicativa. La longitud L, se define como la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente al grado de que se presente la sedimentación del suelo erosionado, o bien, hasta el punto donde el escurrimiento encuentra un canal de salida definido. Como se anotó en la metodología, existen limitaciones inherentes a USLE para estimar la erosión en surcos de ahí la necesidad de un límite superior de la longitud de la pendiente, que para el cálculo descrito se tomo como máximo de 150 m, de tal manera que se limita la acumulación de flujo a este valor de longitud de pendiente.

El grado de la pendiente (S) corresponde a la valoración cuantitativa del nivel de pendiente (medida en radianes) y estimado a partir del modelo digital de elevación (MDE).

La distribución de los valores LS para la cuenca varía entre 0 y 48, lo que indica que un suelo puede perderse en la cuenca del río Bogotá según la longitud y grado de pendiente hasta 48 veces más, dependiendo del sitio donde se encuentre por lo que se reclasificó cualitativamente en categorías de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

La distribución porcentual del factor LS en porcentaje del área de la cuenca muestra que el 65% presenta valores bajos correspondiendo de manera directa a las zonas planas a ligeramente inclinadas mientras que el 35% restante corresponde a las zonas de ladera y montaña como se presenta en la gráfica 4.20.

Gráfica 4.20. Distribución porcentual de las clases del factor LS, dentro de la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

Las zonas clasificadas con nivel muy-bajo a bajo representan aquellas zonas que tienen una baja susceptibilidad a la erosión en función de la pendiente y se trata de zonas planas a ligeramente inclinadas. En la medida que el factor LS aumenta la topografía se va haciendo más pendiente y el relieve más quebrado, hasta las zonas más escarpadas que presentan un factor LS clasificado como muy alto.

- **Factor “C” de cobertura vegetal.**

El coeficiente C contempla las diferencias frente a la erosión dependiendo del tipo de cobertura del suelo y constituye uno de los factores más importantes en la medida que atenúan sensiblemente el efecto erosivo del agua, aún en zonas con condiciones que la favorecen, tales como áreas muy inclinadas y de condiciones de alta erodabilidad del suelo.

En la metodología se presentaron los valores de C asociados con cada tipo de cobertura en las que se dividió la zona. Estos valores se reclasificaron en grupos por tipos generales de vegetación como se ilustra en la tabla 4.43.

Tabla 4.43. Clasificación de los rangos del factor C en relación al tipo de cobertura y la susceptibilidad a la erosión.

VALOR C	TIPO COBERTURA	SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION
0	AREAS URBANAS Y CUERPOS DE AGUA	EXCLUIDO DEL ANALISIS
0.001-0.005	BOSQUES - MATORRALES – PARAMOS – INVERNADEROS	MUY BAJA
0.005-0.009	CADUCIFOLIOS - FRUTALES - CAÑA – CAFÉ	BAJA
0.009-0.15	PASTOS – RASTROJOS – AREAS MIXTAS	MODERADA
0-15-0.35	CULTIVOS LIMPIOS	ALTA
0.35-1	SUELO DESNUDO	MUY ALTA

Fuente: La investigación

Los coeficientes del factor C, son adimensionales y van desde 0.0001 hasta 1, esto quiere decir que en la cuenca, las pérdidas de suelo se pueden disminuir en 1000 veces si existe bosque, o solo se pierde el 0.1% cuando los suelos están bajo la cobertura respectiva en este caso de Bosques, Páramos, Matorrales e invernaderos, pero se puede perder el 100% si el suelo está desnudo.

Se observa una amplia variación del factor C en las cuencas de la parte alta dependiendo de la vegetación dominante, donde se presentan extensas zonas con cultivos limpios y áreas de suelo desnudo que presentan una susceptibilidad potencial alta a muy alta a la erosión hídrica.

En la zona media de la cuenca, predominan los valores moderados de susceptibilidad a la erosión debido en la presencia de amplias zonas con pastos y rastrojos, aunque existen algunas zonas de cultivos limpios y presencia de invernaderos, estos últimos se clasifican como de muy baja susceptibilidad a la erosión y se consideran con el valor similar al bosque para el coeficiente C.

En la zona baja de la cuenca, predominan las zonas de baja susceptibilidad a la erosión debido a la predominancia de áreas cubiertas de bosque, vegetación secundaria o matorrales espesos y o cultivos como el café y la caña que ofrecen una mayor protección al suelo que los cultivos limpios.

- **Factor “P” de prácticas de conservación de suelos.**

Como se indicó con anterioridad, este factor no se espacializó debido a que la información sobre prácticas de conservación no esta disponible en unidades geográficas a nivel de la escala de trabajo, por lo tanto se uso un valor multiplicativo constante de 1 en la aplicación de la USLE.

A continuación se describe los grados de erosión presentes en la cuenca, con base en las condiciones de lluvia, tipo de suelos, longitudes de pendiente, grados de pendiente, tipos de cobertura vegetal y prácticas de manejo presentes en los suelos de la cuenca. Los atributos combinados factorialmente, determinan los diferentes grados de erosión.

- **Calculo de la erosión potencial.**

Los resultados cuantitativos de la localización y extensión territorial afectada por los diferentes niveles de erosión potencial difieren ampliamente dependiendo de la cuenca, los datos muestran la distribución porcentual de los diferentes niveles de erosión en relación al área total de la cuenca del río Bogotá, que se observan en la tabla 4.44.

Tabla 4.44. Grado de erosión potencial (USLE-RUSLE) presentes en la cuenca.

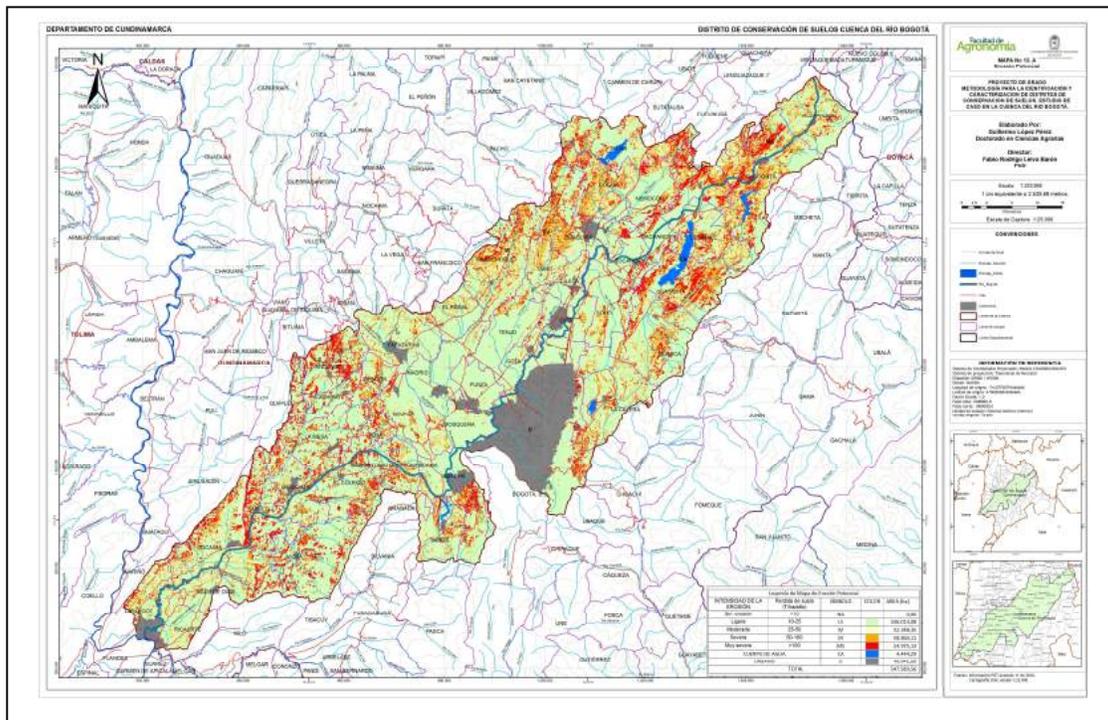
INTENSIDAD DE LA EROSIÓN	Perdida de suelo (T/ha/año)	SÍMBOLO	COLOR	AREA (ha)	%
Sin erosión	<10	NA		0,00	0,00
Ligera	10-25	LS		336.014,08	61,36
Moderada	25-50	M		52.348,35	9,56
Severa	50-100	SV		58.860,11	10,75
Muy severa	>100	MS		54.975,13	10,04
CUERPO DE AGUA		CA		4.444,29	0,81
URBANO		U		40.941,60	7,48
TOTAL				547.583,56	100

Fuente: La investigación

La mayor parte del área de la cuenca se ubica en el grado ligera o sin erosión indica que no presenta problemas graves de erosión, el 30.35% del área aparece como afectada por erosión potencial moderada, severa y muy severa, dentro de la cuenca. Sin embargo, resultan de

particular interés aquellas zonas con niveles de erosión severa y muy severa, dado que se constituyen en zonas donde potencialmente la restauración y recuperación de suelos, pueden constituirse en actividades importantes para el mantenimiento del equilibrio ambiental dentro de la cuenca. La distribución espacial de los niveles de erosión dentro de la cuenca se presenta en el mapa 4.8.

Mapa 4.8. Distribución espacial de las niveles de erosión potencial en la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

Se observa que la erosión potencial se distribuye de manera muy variable dentro de las diferentes cuencas. En la parte alta de la cuenca se presentan predominancia de niveles moderados a muy severos en ciertas zonas, principalmente áreas de ladera, donde se encuentran suelos con alta susceptibilidad a la erosión y donde la cobertura protectora es escasa. En la zona media de la cuenca la erosión por lo general es ligera a baja. En la zona baja de la cuenca se presenta un mosaico complejo de niveles de erosión dependiendo de los tipos de cobertura y de las pendientes predominantes.

En toda la cuenca del río Bogotá, se observa que las subcuencas con grado de erosión ligero o sin erosión, cubre 336.014,08 ha y guardan una estrecha relación con su tamaño, destacándose las subcuencas del río Balsillas, subcuenca del río Bogotá sector Tibitoc - Soacha, río Apulo, río Bajo Bogotá, río Neusa, las demás varían en área según su tamaño, siendo el río Negro la de menor proporción. El grado de erosión moderado potencialmente ocupa un área relativamente baja con 52.348,35 ha, siendo las subcuencas del río Balsillas, Bajo Bogotá, Neusa, alto Bogotá y Embalse de Tominé las que demandan la mayor área, en tanto las subcuencas de río Soacha, Negro y río Chicú, cubren un área relativamente pequeño en suelos con este grado de erosión.

El grado de erosión potencial severo que cubre un área de 58.860,11 ha, es de especial cuidado en las cuencas de río Neusa, río Balsillas, embalse de Tominé, río Bajo Bogotá, y río Apulo, quienes cubren la mayor área, contrastando con las cuencas de río Soacha, río Negro y río Bogotá sector Salto – Soacha. El grado de erosión potencial muy severo cubre un área de 54.975,13 ha, siendo las cuencas más críticas la de río Apulo, río Bajo Bogotá río Neusa, embalse de Tominé y río medio Bogotá sector Salto - Apulo los que ameritan un cuidado especial, ya que estas cuencas en el futuro son las que más pérdida de suelo van a tener. Con este grado de erosión las cuencas con menos suelos afectados son las subcuencas de río Bogotá sector Salto – Soacha, río Chicú y río Negro.

4.6.6. Caracterización del índice aridez. Para el desarrollo de la investigación, y basados en los datos climáticos analizados, se calculó el índice de aridez específico de la cuenca del río Bogotá, los resultados muestran que el 12.82% del área estudiada (70.192,84 ha), están afectadas por fenómenos de aridez, es decir que la relación de la precipitación sobre la evapotranspiración potencial (P/ETP) tiene un coeficiente entre 0.05 a 0.2, esto indica que los suelos están sujetos a sufrir procesos de desertificación. Estas condiciones se ubican en unas franjas alargadas en el sector oriental y occidental del tercio superior de la cuenca, en la parte central del tercio medio y en el sector oriental del tercio bajo de la cuenca.

Dado que la cuenca se identificaron zonas climáticas secas en todos los pisos térmicos presentes en ella, las condiciones semiáridas son las más relevantes cubriendo un área de 337.333,46ha

(61.60%), es decir que el índice de aridez que identifica la precipitación sobre la evapotranspiración potencial (P/ETP) tiene un coeficiente entre va de 0.20 a 0.45. y son sujetas a desertificación, se considera una cuenca hídricamente deficitaria. Dicha condición se encuentra diseminado en toda la cuenca, desde la parte alta a la parte baja.

Con niveles más altos de humedad se encuentran 101.460,99ha, el índice de aridez oscila entre 0.45 a 0.7, es decir que la evaporación se aproxima a los mismos valores de evaporación en la zona, siendo desde luego mas alta los niveles de evapotranspiración potencial, esta condición se presenta en el tercio alto de la cuenca sector oriental y occidental, con franjas alargadas en el costado occidental del tercio medio y en la parte nororiental del tercio bajo de la misma.

En la cuenca, el índice de precipitación sobre la evapotranspiración potencial (P/ETP) con un coeficiente menor a 0.05 no se identificó, es decir que el clima hiperbárico o el denominado verdadero desierto, no se hace presente.

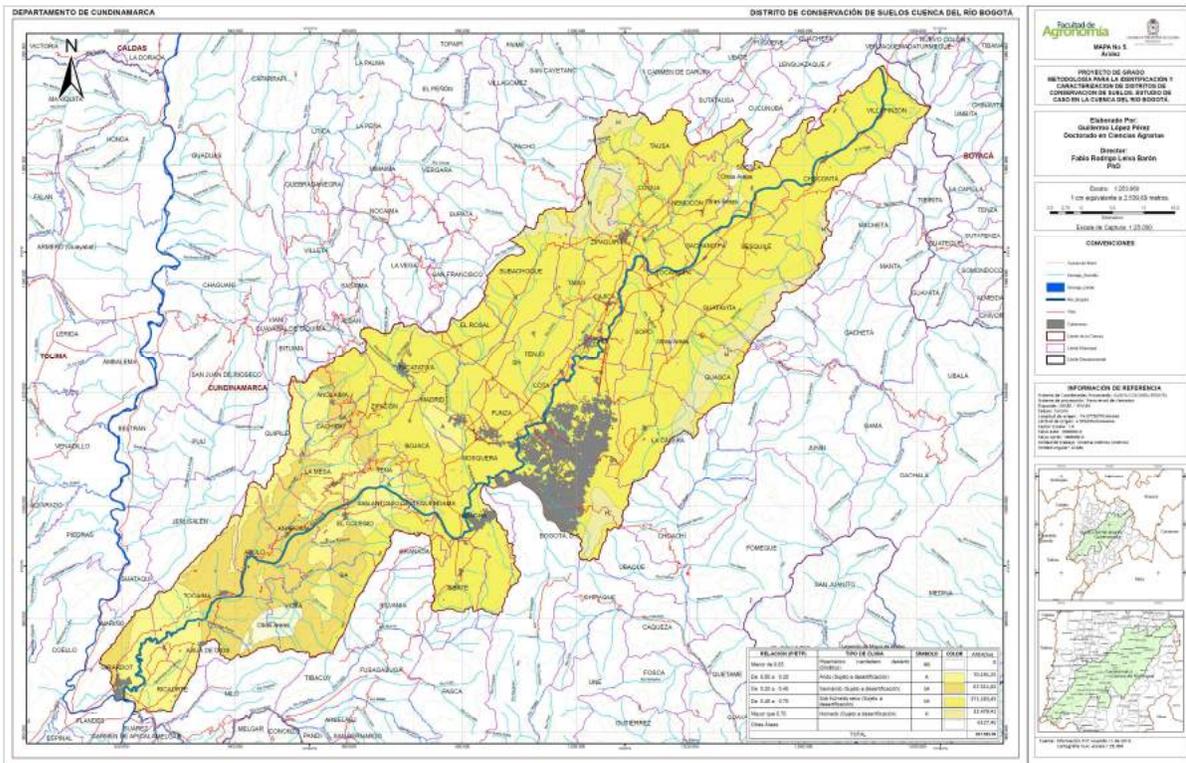
Los datos de aridez según su índice, la distribución espacial y el porcentaje de cada categoría se identifican en la tabla 4.45, mapa 4.9.

Tabla 4.45. Índices de aridez presentes en la cuenca del río Bogotá.

RELACION (P/ETP)	TIPO DE CLIMA	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(Ha)
Menor de 0.05	Hiperbárico (verdadero desierto climático)	HB		0,00	0,00
De 0.05 a 0.20	Árido (Sujeto a desertificación)	A		70.192,84	12,82
De 0.20 a 0.45	Semiárido (Sujeto a desertificación)	SA		337.333,46	61,60
De 0.45 a 0.70	Sub húmedo seco (Sujeto a desertificación)	SH		101.460,99	18,53
Mayor que 0.70	Húmedo (Sujeto a desertificación)	H		503,98	0,09
Otras Areas				38.092,29	6,96
TOTAL				547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.9. Distribución espacial de los índices de aridez de los suelos, presentes en la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.6.7. Caracterización de la compactación. Para la caracterización de este indicador, se tomó como base las diferentes unidades representadas en el mosaico de suelos de la cuenca, individual y taxonómicamente representativas (perfiles modales), a las cuales se les determinó los niveles de compactación de los horizontes diagnósticos, empezando por los superficiales u (horizonte A), los datos se representan siguiendo la escala predefinida oportunamente.

Los resultados de la profundidad efectiva de cada perfil modal categorizado según su condición, se identifican en la tabla 4.46.

Tabla 4.46. Identificación de los niveles de compactación de los diferentes suelos presentes en la cuenca.

UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	SUELOS			COMPACTACIÓN	
		Perfil No.	%	Símbolo suelo	CLASE	SÍMBOLO
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	CU-152	80	MEAd	MUY BAJA	MB
				MEAc	MUY BAJA	MB
		MU-31	80	MEUe	EXTREMADAMENTE BAJA	EB
				MEUf	EXTREMADAMENTE BAJA	EB
		CU-132	70	MEFe	BAJA	B
				MEFg	BAJA	B
				MEFep	BAJA	B
MEFf	BAJA			B		
Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGsG	BAJA	B
		CU-126	75	MGFf	BAJA	B
				MGFe	BAJA	B
				MGFg	BAJA	B
				MGFfr	BAJA	B
		CC-284	85	MGtd	BAJA	B
				MGtc	BAJA	B
		CC-332	80	MGNa	BAJA	B
MGNb	BAJA			B		
Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	BAJA	B
				MKcf	BAJA	B
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	BAJA	B
				MLJe	BAJA	B
				MLJd	BAJA	B
		CC-94	70	MLSg	MUY BAJA	MB
				MLSgr	MUY BAJA	MB
		CC-307	70	MLVf	MUY BAJA	MB
				MLVe	MUY BAJA	MB
				MLVe2	MUY BAJA	MB
				MLVfr	MUY BAJA	MB
		AC-69	85	MLTd	MUY BAJA	MB
				MLTc	MUY BAJA	MB
		AC-54	85	MLFf	MUY BAJA	MB
		MU-9	75	MLKd	MUY BAJA	MB
				MLKc	MUY BAJA	MB
MLKdp	MUY BAJA			MB		
CC-226	70	MLCd	MUY BAJA	MB		

			MLCe	MUY BAJA	MB	
			MLCc	MUY BAJA	MB	
	CC-52	75	MLNa	MUY BAJA	MB	
			MLNb	MUY BAJA	MB	
	CC-205	80	MMJb	MUY BAJA	MB	
			MMJc	MUY BAJA	MB	
	AC-16	70	MMSg	MUY BAJA	MB	
Frio seco	Montaña estructural erosional	AC-40	80	MMVf	MODERADA	M
				MMVe	MODERADA	M
				MMVfr	MODERADA	M
				MMVe3	MODERADA	M
				MMVe2	MODERADA	M
				MMVf2	MODERADA	M
				MMVf3	MODERADA	M
		AC-90	75	MMTd	BAJA	B
				MMTd2	BAJA	B
		CC-174	90	MMKc	MUY BAJA	MB
MMKd	MUY BAJA			MB		
CC-230	80	MMCd	MUY BAJA	MB		
		MMCe	MUY BAJA	MB		
		MMCe2	MUY BAJA	MB		
		MMCd1	MUY BAJA	MB		
		MMCe2p	MUY BAJA	MB		
		MMCep	MUY BAJA	MB		
		MMCc	MUY BAJA	MB		
		MMCd2	MUY BAJA	MB		
		MMCe1	MUY BAJA	MB		
MMCd1	MUY BAJA	MB				
(en blanco)	(en blanco)	ME				
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	BAJA	B
		CU-116	80	MQSg	BAJA	B
		PT-466	80	MQVf	BAJA	B
				MQVe	BAJA	B
		CU-105	75	MQFf	BAJA	B
		G-22	70	MQKd	BAJA	B
				MQKdp	BAJA	B
		AC-24	90	MQBe	MUY ALTA	MA
				MQBd	MUY ALTA	MA
		AC-28	70	MQCe	MUY BAJA	MB
MQCd	MUY BAJA			MB		

		AC-84	80	MQNb	BAJA	B
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	BAJA	B
		AC-49	65	MVCe	ALTA	A
Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	ALTA	A
				MWJc	ALTA	A
		AC-82	80	MWXb	BAJA	B
				MWXd	BAJA	B
		AC-20	70	MWSg	EXTREMADAMENTE BAJA	EB
		AC-58	80	MWVd	BAJA	B
				MWVe	BAJA	B
				MWVf	BAJA	B
		CU-17	70	MWVf	BAJA	B
				MWFe	BAJA	B
		AC-74	80	MWKd	MODERADA	M
		CU-12	75	MWBd	MUY BAJA	MB
				MWBdp	MUY BAJA	MB
				MWBe	MUY BAJA	MB
				MWBep	MUY BAJA	MB
		CU-19	80	MWCc	MUY BAJA	MB
MWCd	MUY BAJA			MB		
MWCe	MUY BAJA			MB		
CU-39	70	MWNa	MUY BAJA	MB		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	ALTA	A
		CU-142	80	RLO1a	MODERADA	M
		AC-19	80	RLOa	MODERADA	M
		AC-8	90	RLQa	MUYA BAJA	MB
				RLQb	MUYA BAJA	MB
		CT-4a	90	RLQ1a	EXTREMADAMENTE BAJA	EB
CT-14a	90	RLQ2a	MUY BAJA	MB		
Frio Seco	Planicie aluvial	AC-14	80	RMOa	ALTA	A
				RMOb	ALTA	A
		MU-1	70	RMQb	EXTREMADAMENTE BAJA	EB
				RMQa	MUY BAJA	MB
		CU-132	90	RMRa	MUY BAJA	MB
RMRb	MUY BAJA			MB		
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	MUY BAJA	MB
		CU-44	75	VWQa	MUY BAJA	MB

Fuente: La investigación

Los niveles de compactación de los suelos en la cuenca del río Bogotá, en más del 80% se ubican en las categorías de extremadamente baja, muy baja y baja, con áreas representativas de 14.262,71 ha, 304.080,19 ha y 117.128,80 ha, respectivamente, se ubican a lo largo y ancho de la cuenca principalmente en las áreas más planas y de pendientes ligeramente inclinadas; las categorías de moderada, alta y muy alta compactación de suelos cubren en su orden: 43.241,99 ha, 20.498,15 ha y 2.542,55 ha, se ubican en la parte central del tercio bajo de la cuenca. Niveles de compactación de suelos extremadamente altos, no se presentan en la cuenca.

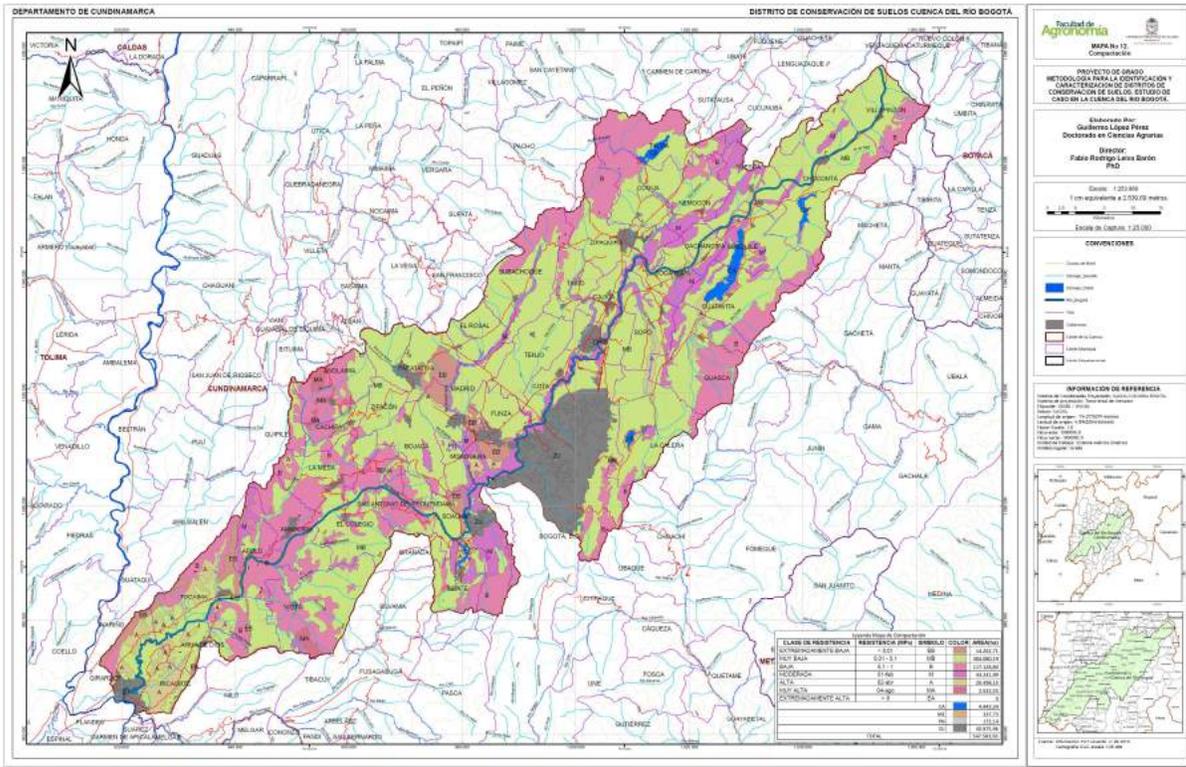
Los datos categóricos por rangos de compactación de los suelos, con su respectiva distribución espacial al interior de la cuenca del río Bogotá, se identifican en la tabla 4.47 y mapa 4.10.

Tabla 4.47. Distribución de los niveles de compactación de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.

CLASE DE RESISTENCIA	RESISTENCIA (MPa)	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
EXTREMADAMENTE BAJA	< 0,01	EB		14.262,71	2,60
MUY BAJA	0,01 - 0,1	MB		304.080,19	55,53
BAJA	0,1 - 1	B		117.128,80	21,39
MODERADA	1-2	M		43.241,99	7,90
ALTA	2-4	A		20.498,15	3,74
MUY ALTA	4-8	MA		2.542,55	0,46
EXTREMADAMENTE ALTA	> 8	EA		0	0,00
		CA		4.443,34	0,81
		ME		337,73	0,06
		PN		172,14	0,03
		ZU		40.875,96	7,46
TOTAL				547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.10. Distribución espacial de la compactación de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.6.8. Caracterización de la zona climática. Se constituyó directamente la zonificación climática para la cuenca del río Bogotá, teniendo presente los parámetros que la componen como son: temperatura, altura (msnm), volumen de lluvia o precipitación y coeficiente de la relación evaporación/precipitación.

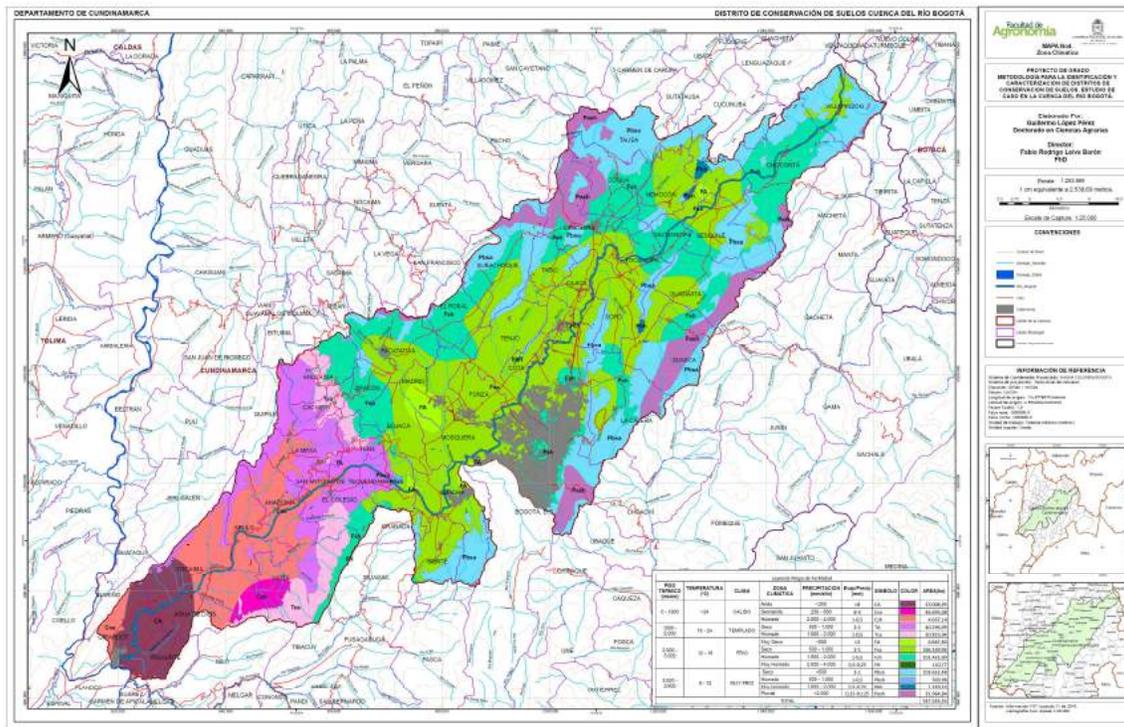
Los resultados muestran que la zona climática templado seco, frío seco y muy frío seco, que se ubican en la parte alta del tercio bajo, sectores tercio medio alto de la cuenca, sobre todo en la parte plana y ligeramente ondulada, cubren el 56.63%, que representan 310.118,53ha; le sigue en su orden la zona climática cálida húmeda, templada húmeda, fría húmeda y muy fría húmeda que cubren el 23.27% de la cuenca con un área representativa de 127.448,26ha, distribuidas en toda la cuenca y especialmente en las franjas oriental y occidental, también sobre las zonas montañosas y colimadas de la cuenca; la zona climática cálida semiárida se ubica en la parte baja de la cuenca cubriendo 46.695,08ha que representa el 8.53% del total de su área; la zona árida representa el 4.20% (23.008,95ha) y se ubica en el tercio bajo de la cuenca costado oriental; finalmente las zonas climáticas pluvial, muy seca y muy húmeda que representan el 5.84%, 1.26 y 0.27% respectivamente, cubren en conjunto un área de 40.312,95ha, se ubican en los costados oriental y occidental y unas pequeñas áreas de la parte central, del tercio alto y medio de la cuenca. Los datos discriminados de las zonas climáticas de la cuenca se ubican en la tabla 4.48, mapa 4.11.

Tabla 4.48. Tipos de zona climática presentes en la cuenca del río Bogotá.

PISO TERMICO (msnm)	TEMPERATURA (°C)	CLIMA	ZONA CLIMÁTICA	PRECIPITACION (mm/año)	Evap/Precip (mm)	SIMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
0 - 1000	>24	CALIDO	Árido	<250	>8	CA		23.008,95	4,20
			Semiárido	250 - 500	8-4	Csa		46.695,08	8,53
			Húmedo	2.000 - 4.000	1-0,5	Csh		4.667,14	0,85
1000 - 2.000	18 - 24	TEMPLADO	Seco	500 - 1.000	2-1	TA		40.296,09	7,36
			Húmedo	1.000 - 2.000	1-0,5	Tsa		20.815,94	3,80
2.000 - 3.000	12 - 18	FRIO	Muy Seco	<500	>2	FA		6.887,80	1,26
			Seco	500 - 1.000	2-1	Fsa		166.169,96	30,35
			Húmedo	1.000 - 2.000	1-0,5	Fsh		101.461,00	18,53
			Muy Húmedo	2.000 - 4.000	0,5-0,25	FH		110,77	0,02
3.000 - 3.600	8 - 12	MUY FRIO	Seco	<500	2-1	Pbsa		103.652,48	18,93
			Húmedo	500 - 1.000	1-0,5	Pbsh		503,98	0,09
			Muy Húmedo	1.000 - 2.000	0,5-0,25	Pbh		1.349,54	0,25
			Pluvial	>2.000	0,25-0,125	Pash		31.964,84	5,84
TOTAL								547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.11. Distribución espacial de las zonas climáticas presentes en la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.6.9. Caracterización de la geomorfología. Esta variable se construyó directamente para el área de cuenca, acudiendo a las necesidades metodológicas de la investigación, para ser aplicada en el modelo de identificación de los DCS.

La geomorfología de la cuenca del río Bogotá, está enmarcada dentro del contexto geoestructural de la formación de la Cordillera Oriental, caracterizada por el plegamiento de capas sedimentarias, y la conformación de estructuras y depresiones tectónicas hacia el cretácico.

La definición de las unidades geomorfológicas en la cuenca del río Bogotá, metodológicamente se tomó la jerarquización propuesta para este indicador, con modificaciones de acuerdo con la morfogénesis y las formas de terreno presentadas. Los paisajes de la cuenca del río Bogotá, está

dominado por el paisaje de montaña en lo que concierne principalmente al tercio superior y parte del tercio inferior de la cuenca, en los sectores oriental y occidental; en las zonas adyacentes a la planicie fluvio-lacustre se encuentran depósitos de tipo coluvial y coluvio-aluvial originados por la denudación de las montañas que rodean la planicie, considerando las diferencias de altura se definen los paisajes de lomerío, las cuales serán explicadas posteriormente, que se ubica principalmente en la cuenca media y alta, bordeando las zonas planas de la sabana de Bogotá; en el sector de la Sabana de Bogotá es dominado por paisajes de tipo planicie lacustre, seguido por los valles aluviales recientes que configuran los ríos Bogotá y Balsillas principalmente, y en menor medida por otros afluentes importantes como los ríos Neusa, Teusacá, Frío y Chicú, así como el drenaje asociado a la cuenca Botello - Checua. En la parte baja de la cuenca sobre los municipios principalmente de Girardot y Ricaurte se ubican el paisaje de valle, que cubre un área menor dentro de la cuenca.

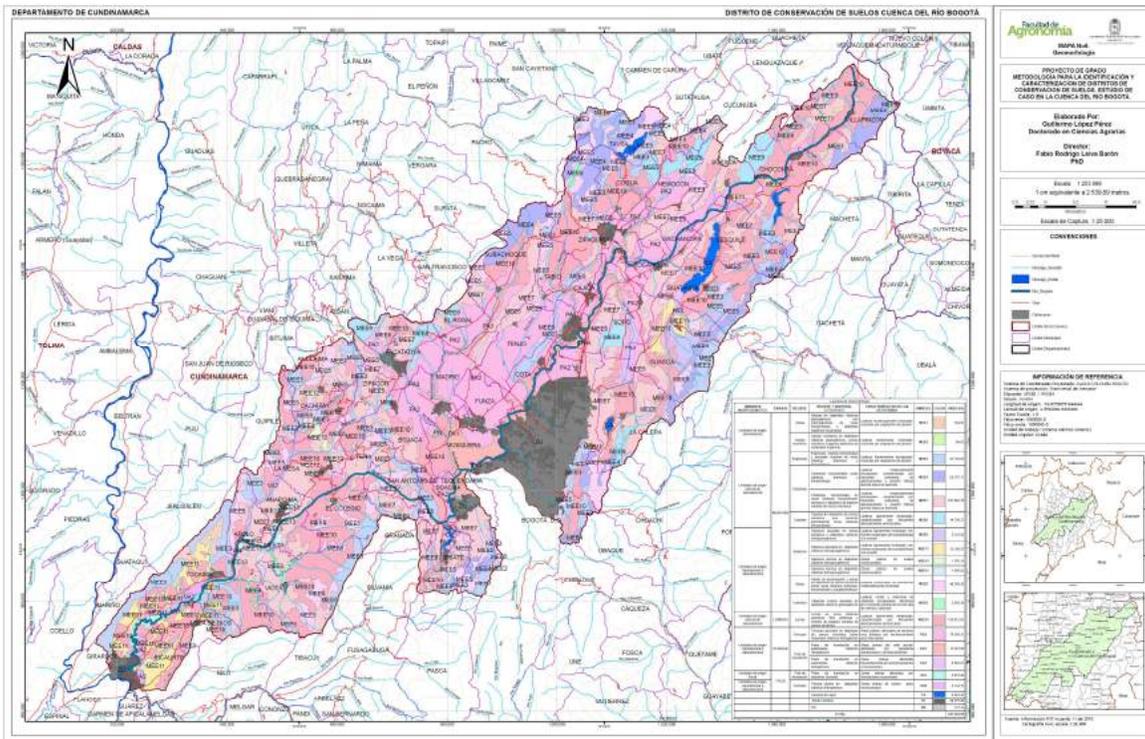
Las unidades geomorfológicas identificadas al interior de la cuenca del río Bogotá, se identifican en la tabla 4.49 y mapa 4.12.

Tabla 4.49. Geomorfología de la cuenca del río Bogotá.

AMBIENTE MORFOGENETICO	PAISAJE	RELIEVE	RELIEVE Y MATERIAL LITOLÓGICO	CARACTERÍSTICAS DE LAS GEOFORMAS	SIMBOLO	COLOR	AREA (ha)
Unidades de origen denudacional	MONTAÑA	Artesa	Artesas en depósitos clásticos glaciogénicos con intercalaciones de rocas limoarcillosas y depósitos orgánicos localizados	Laderas moderadamente inclinadas-cubiertas por vegetación de páramo	MEE1		364,85
		Campo morrénico	Campo morrénico en depósitos clásticos glaciogénicos- ceniza volcánica y algunos depósitos de materiales orgánicos	Laderas fuertemente inclinadas-cubiertas por vegetación de páramo	MEE2		66,62
Unidades de origen estructural denudacional	MONTAÑA	Espinazos	Espinazos- crestas homoclinales y escarpes mayores en rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Laderas fuertemente escarpadas-cubiertas por vegetación de páramo	MEE3		47.176,03
		Crestones	Crestones homoclinales rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Laderas moderadamente escarpadas-caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	MEE4		25.757,71
			Crestones homoclinales en rocas clásticas limoarcillosas- arenosas y depósitos de espesor variable de ceniza volcánica	Laderas moderadamente escarpadas-caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	MEE7		107.062,76
		Questras	Questras en depósitos de ceniza volcánica que recubren parcialmente rocas clásticas limoarcillosas	Laderas ligeramente empinadas-caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	MEE9		14.706,27
Unidades de origen Agradacional o depositacional	MONTAÑA	Abanicos	Abanicos aluviales en ceniza volcánica y depósitos clásticos hidrogravigénicos.	Laderas ligeramente inclinadas- con niveles moderados de susceptibilidad a la erosión	MEE8		5.137,93
			Abanicos aluviales en depósitos clásticos hidrogravigénicos.	Laderas ligeramente inclinadas- con niveles moderados de susceptibilidad a la erosión	MEE11		13.190,67
			Abanicos terraza en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Zonas planas de suelos evolucionados	MEE12		1.305,19
		Glacis	Abanicos terraza en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Zonas planas de suelos evolucionados	MEE13		1.895,02
			Glacis de acumulación y lomas en depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas arenosas-limoarcillosas y conglomeráticas.	Laderas erosionales de pendientes moderadamente inclinadas	MEE5		49.740,28
		Vallecitos	Vallecitos coluvio aluviales en depósitos clásticos glaciogénicos	Laderas cortas y estrechas de vallecitos encajonados- afectadas por crecientes súbitas de los ríos que las drenan y disectan	MEE6		2.458,30
Unidades de origen estructural denudacional	LOMERIO	Lomas	Lomas en rocas clásticas arenosas-limo arcillosas y mantos de espesor variable de ceniza volcánica	Laderas ligeramente empinadas-caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	MEE10		120.612,65
Unidades de origen Agradacional o depositacional	PLANICIE	Terrazas	Terrazas aluviales en depósitos de ceniza volcánica sobre materiales clásticos hidrogénicos	Áreas planas- afectadas en sectores muy aislados por encharcamiento poco frecuentes	PA2		79.504,31
		Plan de inundación	Plano de inundación en sedimentos clásticos hidrogénicos	Áreas planas del valle aluvial-afectadas por periódicas inundaciones y encharcamientos	PA1		17.421,68
			Plano de inundación en sedimentos clásticos hidrogénicos	Áreas planas- afectadas frecuentemente por encharcamientos e inundaciones	PA3		8.682,57
Unidades de origen fluvial	VALLE	Plan de inundación	Plano de inundación en depósitos aluviales	Zonas planas afectadas por inundaciones ocasionales	VA1		2.874,98
Unidades de origen Agradacional o depositacional		Terrazas	Terraza aluvial en depósitos clásticos hidrogénicos	Zonas planas de suelos poco evolucionados	VA2		4.134,72
			Cuerpos de Agua		CA		4.443,34
			Zonas urbanas		ZU		40.875,96
			PN		PN		172,14
TOTAL							547.583,56

Fuente: La investigación

Mapa 4.12. Geomorfología de la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

De manera resumida, se identificó que la dinámica geomorfológica de la cuenca está representada en un 49,11% en el paisaje de montaña; el 22,03% en paisaje de lomerío; el 19,29% en paisaje de planicie aluvial y el 1,28% en paisaje de valle. Las demás áreas que corresponden a cuerpos de agua y zonas urbanizadas cubren un área del 8,3%. Ver tabla 4.50.

Tabla. 4.50. Distribución del paisaje al interior de la cuenca del río Bogotá.

PAISAJE	AREA(ha)	(%)
MONTAÑA	268.880,8	49,11
LOMERIO	120.622,2	22,03
PLANICIE	105.614,0	19,29
VALLE	7.012,7	1,28
OTRAS AREAS	45.453,9	8,30
TOTAL	547.583,6	100,00

Fuente: La investigación

4.6.10. Caracterización de la profundidad efectiva. Para el análisis de la profundidad efectiva, se tomó como de base las diferentes unidades representadas en el mosaico de suelos de la cuenca, e individualmente las unidades taxonómicas representativas (perfiles modales), se identificó el grado evolutivo del suelo y sus limitaciones en profundidad, dichos resultados determinaron los niveles categóricos de profundidad efectiva presentes en los suelos de la cuenca, representados según la escala predefinida oportunamente.

Los resultados de la profundidad efectiva de cada perfil modal categorizado según su condición, se identifican en la tabla 4.51.

Tabla 4.51. Identificación de los niveles de profundidad efectiva de los diferentes suelos presentes en la cuenca.

UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	SUELOS			PROFUNDIDAD EFECTIVA	
		Perfil No.	%	Símbolo suelo	CLASE	SÍMBOLO
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	CU-152	80	MEAd	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD
				MEAc	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD
		MU-31	80	MEUe	SUPERFICIAL	S
				MEUf	SUPERFICIAL	S
		CU-132	70	MEFe	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD
				MEFg	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD
				MEFep	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD
MEFf	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD				
Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGSg	SUPERFICIAL	S
		CU-126	75	MGFf	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MGFe	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MGFg	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MGFfr	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
		CC-284	85	MGTd	PROFUNDA	P
				MGTc	PROFUNDA	P
		CC-332	80	MGNa	MUY SUPERFICIAL	MS
MGNb	MUY SUPERFICIAL			MS		
Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	SUPERFICIAL	S
				MK Cf	SUPERFICIAL	S
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	PROFUNDA	P
				MLJc	PROFUNDA	P

			MLJd	PROFUNDA	P	
	CC-94	70	MLSg	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	
			MLSgr	SUPERFICIAL	S	
	CC-307	70	MLVf	SUPERFICIAL	S	
			MLVe	SUPERFICIAL	S	
			MLVe2	SUPERFICIAL	S	
			MLVfr	SUPERFICIAL	S	
	AC-69	85	MLTd	PROFUNDA	P	
			MLTc	PROFUNDA	P	
	AC-54	85	MLFf	SUPERFICIAL	S	
	MU-9	75	MLKd	PROFUNDA	P	
			MLKc	PROFUNDA	P	
			MLKdp	PROFUNDA	P	
	CC-226	70	MLCd	PROFUNDA	P	
MLCe			PROFUNDA	P		
MLCc			PROFUNDA	P		
CC-52	75	MLNa	PROFUNDA	P		
		MLNb	PROFUNDA	P		
Frío seco	Montaña estructural erosional	CC-205	80	MMJb	SUPERFICIAL	S
				MMJc	SUPERFICIAL	S
		AC-16	70	MMSg	MUY SUPERFICIAL	MS
		AC-40	80	MMVf	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMVe	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMVfr	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMVe3	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMVe2	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMVf2	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMVf3	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
		AC-90	75	MMTd	SUPERFICIAL	S
				MMTd2	SUPERFICIAL	S
		CC-174	90	MMKc	PROFUNDA	P
				MMKd	PROFUNDA	P
		CC-230	80	MMCd	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMCe	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMCe2	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMCd1	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMCe2p	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
MMCep	MODERADAMENTE PROFUNDA			MP		
MMCc	MODERADAMENTE PROFUNDA			MP		
MMCd2	MODERADAMENTE PROFUNDA			MP		

				MMCe1	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MMCdp	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
		(en blanco)	(en blanco)	ME		
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
		CU-116	80	MQSg	MUY SUPERFICIAL	MS
		PT-466	80	MQVf	SUPERFICIAL	S
				MQVe	SUPERFICIAL	S
		CU-105	75	MQFf	MUY SUPERFICIAL	MS
		G-22	70	MQKd	SUPERFICIAL	S
				MQKdp	SUPERFICIAL	S
		AC-24	90	MQBe	SUPERFICIAL	S
				MQBd	SUPERFICIAL	S
AC-28	70	MQCe	MUY SUPERFICIAL	MS		
		MQCd	MUY SUPERFICIAL	MS		
AC-84	80	MQNb	SUPERFICIAL	S		
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
		AC-49	65	MVCe	PROFUNDA	P
Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MWJc	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
		AC-82	80	MWXb	MUY SUPERFICIAL	MS
				MWXd	MUY SUPERFICIAL	MS
		AC-20	70	MWSg	MUY SUPERFICIAL	MS
		AC-58	80	MWVd	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MWVe	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
				MWVf	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
		CU-17	70	MWFf	MUY SUPERFICIAL	MS
				MWFe	MUY SUPERFICIAL	MS
		AC-74	80	MWKd	SUPERFICIAL	S
		CU-12	75	MWBd	SUPERFICIAL	S
				MWBdp	SUPERFICIAL	S
				MWBbe	SUPERFICIAL	S
				MWBep	SUPERFICIAL	S
		CU-19	80	MWCc	SUPERFICIAL	S
MWCd	SUPERFICIAL			S		
MWCe	SUPERFICIAL			S		
CU-39	70	MWNa	MUY SUPERFICIAL	MS		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	PROFUNDA	P
		CU-142	80	RLO1a	SUPERFICIAL	S
		AC-19	80	RLOa	SUPERFICIAL	S
		AC-8	90	RLQa	PROFUNDA	P

				RLQb	PROFUNDA	P
		CT-4a	90	RLQ1a	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP
		CT-14a	90	RLQ2a	PROFUNDA	P
Frío Seco	Planicie aluvial	AC-14	80	RMOa	MUY SUPERFICIAL	MS
				RMOb	MUY SUPERFICIAL	MS
		MU-1	70	RMQb	PROFUNDA	P
				RMQa	PROFUNDA	P
		CU-132	90	RMRa	PROFUNDA	P
				RMRb	PROFUNDA	P
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	MUY SUPERFICIAL	MS
		CU-44	75	VWQa	SUPERFICIAL	S

Fuente: La investigación

La dinámica de la profundidad efectiva de los suelos de la cuenca del río Bogotá, varía de 10 a 143 cm, con una media de 62 cm, datos que se identifican en la gráfica 4.21.

Gráfica 4.21. Profundidad efectiva de los suelos cuenca río Bogotá.



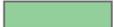
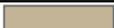
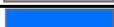
Fuente: La investigación

Los suelos categorizados al interior de la cuenca como muy superficiales se ubican en el tercio bajo de esta, en los flancos oriental y occidental de la misma cubriendo un área de 48.993,59 ha; la categoría de superficiales cubre un área significativa de 147.540,19 ha, ubicados en menor proporción en el tercio alto y medio de la cuenca y con mayor extensión en el tercio bajo de esta, sobre las zonas de pendientes medias y altas; los suelos moderadamente profundos cubren apenas 7.496,40 ha y se ubican en el flanco oriental y occidental del tercio medio y alto de la cuenca, sobre las zonas de franjas más montañosas; los suelos profundos y muy profundos, son los más extensivos en la cuenca cubriendo 162.260,11 ha y 135.464,09 ha respectivamente, están ubicados

principalmente en el tercio medio y parte del tercio alto de la cuenca en las zonas planas, de relieves de sabana de Bogotá y vallecitos de los ríos principal y secundarios.

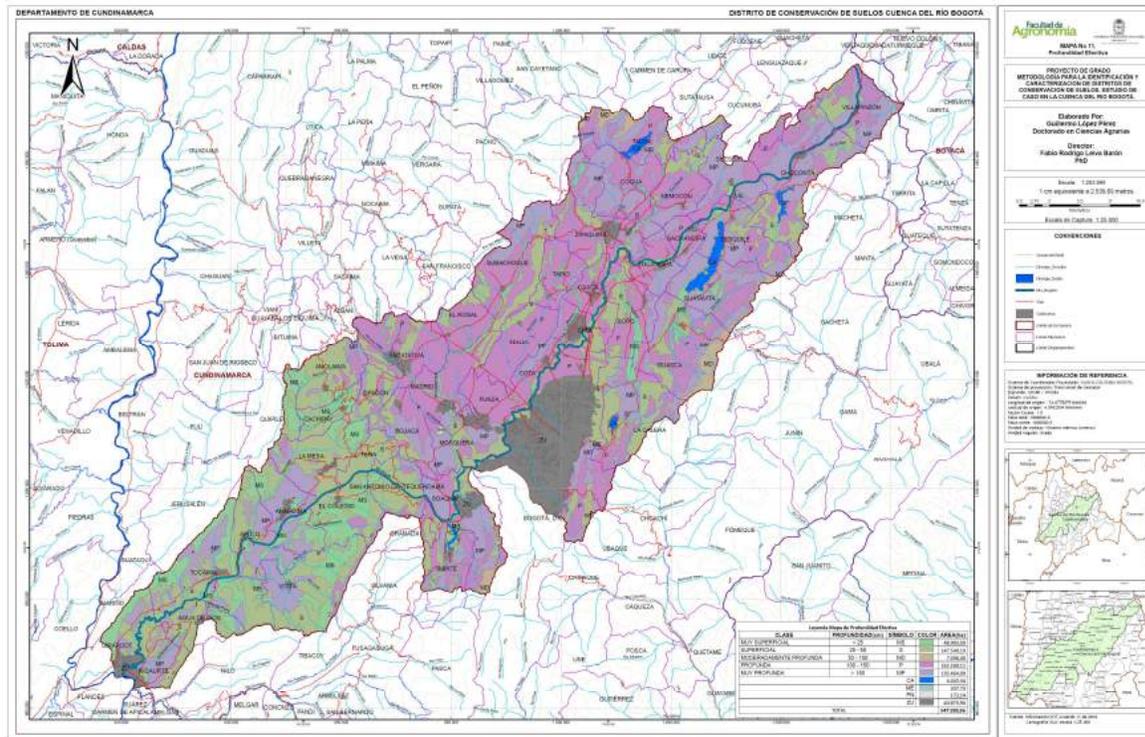
Los datos categóricos por rangos de profundidad efectiva de los suelos, con su respectiva distribución espacial al interior de la cuenca del río Bogotá, se identifican en la tabla 4.52 y mapa 4.13.

Tabla 4.52. Distribución de los niveles de profundidad efectiva de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.

CLASE	PROFUNDIDAD(cm)	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)
MUY SUPERFICIAL	< 25	MS		48.993,59
SUPERFICIAL	25 - 50	S		147.540,19
MODERADAMENTE PROFUNDA	50 - 100	MD		7.496,40
PROFUNDA	100 - 150	P		162.260,11
MUY PROFUNDA	> 150	MP		135.464,09
		CA		4.443,34
		ME		337,73
		PN		172,14
		ZU		40.875,96
TOTAL				547.583,56

Fuente: La investigación

Mapa 4.13. Distribución espacial de la profundidad efectiva de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.6.11. Caracterización de la salinidad. La caracterización de esta variable se construyó directamente a partir de la estructura de las unidades del mosaico de suelos de la cuenca, para cada una de las unidades taxonómicas representativas (perfiles modales), se realizaron análisis de laboratorio para identificar las propiedades fisicoquímicas de los suelos, de dichos resultados se determinaron los niveles de salinidad del suelo, y se clasificaron en las escalas predefinidas oportunamente.

Los resultados de laboratorio por cada unidad representativa de suelos se identifican en el anexo 2, los resultados específicos de la categoría de salinidad, se identifican en la tabla 4.53.

Tabla 4.53. Identificación de los niveles de salinidad de los diferentes suelos presentes en la cuenca.

UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	SUELOS			SALINIDAD	
		Perfil No.	%	Símbolo suelo	CLASE	SÍMBOLO
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	CU-152	80	MEAd	NORMAL	NORMAL
				MEAc	NORMAL	NORMAL
		MU-31	80	MEUe	SÓDICO	Na
				MEUf	SÓDICO	Na
		CU-132	70	MEFe	NORMAL	NORMAL
				MEFg	NORMAL	NORMAL
				MEFep	NORMAL	NORMAL
MEFf	NORMAL			NORMAL		
Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGSG	SÓDICO	Na
		CU-126	75	MGff	NORMAL	NORMAL
				MGFe	NORMAL	NORMAL
				MGfg	NORMAL	NORMAL
				MGffr	NORMAL	NORMAL
		CC-284	85	MGTd	NORMAL	NORMAL
				MGTc	NORMAL	NORMAL
CC-332	80	MGNa	MODERADAMANETE SALINO	S2		
		MGNb	MODERADAMANETE SALINO	S2		
Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	NORMAL	NORMAL
				MKcf	NORMAL	NORMAL
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	NORMAL	NORMAL
				MLJc	NORMAL	NORMAL
				MLJd	NORMAL	NORMAL
		CC-94	70	MLSg	NORMAL	NORMAL
				MLSgr	NORMAL	NORMAL
		CC-307	70	MLVf	NORMAL	NORMAL
				MLVe	NORMAL	NORMAL
				MLVe2	NORMAL	NORMAL
				MLVfr	NORMAL	NORMAL
		AC-69	85	MLTd	NORMAL	NORMAL
				MLTc	NORMAL	NORMAL
		AC-54	85	MLFf	NORMAL	NORMAL
		MU-9	75	MLKd	NORMAL	NORMAL
				MLKc	NORMAL	NORMAL
				MLKdp	NORMAL	NORMAL
CC-226	70	MLCd	NORMAL	NORMAL		
		MLCe	NORMAL	NORMAL		
		MLCc	NORMAL	NORMAL		

		CC-52	75	MLNa	SÓDICO	Na
				MLNb	SÓDICO	Na
Frio seco	Montaña estructural erosional	CC-205	80	MMJb	NORMAL	NORMAL
				MMJc	NORMAL	NORMAL
		AC-16	70	MMSg	NORMAL	NORMAL
		AC-40	80	MMVf	NORMAL	NORMAL
				MMVe	NORMAL	NORMAL
				MMVfr	NORMAL	NORMAL
				MMVe3	NORMAL	NORMAL
				MMVe2	NORMAL	NORMAL
				MMVf2	NORMAL	NORMAL
				MMVf3	NORMAL	NORMAL
		AC-90	75	MMTd	NORMAL	NORMAL
				MMTd2	NORMAL	NORMAL
		CC-174	90	MMKc	MODERADAMANETE SALINO	S2
				MMKd	MODERADAMANETE SALINO	S2
		CC-230	80	MMCd	NORMAL	NORMAL
				MMCe	NORMAL	NORMAL
				MMCe2	NORMAL	NORMAL
				MMCd1	NORMAL	NORMAL
				MMCe2p	NORMAL	NORMAL
				MMCep	NORMAL	NORMAL
MMCc	NORMAL			NORMAL		
MMCd2	NORMAL			NORMAL		
MMCe1	NORMAL			NORMAL		
MMCdP	NORMAL			NORMAL		
(en blanco)	(en blanco)	ME				
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	NORMAL	NORMAL
		CU-116	80	MQSg	NORMAL	NORMAL
		PT-466	80	MQVf	NORMAL	NORMAL
				MQVe	NORMAL	NORMAL
		CU-105	75	MQFf	NORMAL	NORMAL
		G-22	70	MQKd	NORMAL	NORMAL
				MQKdp	NORMAL	NORMAL
		AC-24	90	MQBe	NORMAL	NORMAL
				MQBd	NORMAL	NORMAL
		AC-28	70	MQCe	NORMAL	NORMAL
				MQCd	NORMAL	NORMAL
AC-84	80	MQNb	NORMAL	NORMAL		
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	NORMAL	NORMAL
		AC-49	65	MVCe	SÓDICO	Na

Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	NORMAL	NORMAL
				MWJc	NORMAL	NORMAL
		AC-82	80	MWXb	NORMAL	NORMAL
				MWXd	NORMAL	NORMAL
		AC-20	70	MWSg	NORMAL	NORMAL
		AC-58	80	MWVd	NORMAL	NORMAL
				MWVe	NORMAL	NORMAL
				MWVf	NORMAL	NORMAL
		CU-17	70	MWVf	NORMAL	NORMAL
				MWFe	NORMAL	NORMAL
		AC-74	80	MWKd	NORMAL	NORMAL
		CU-12	75	MWBd	NORMAL	NORMAL
				MWBdp	NORMAL	NORMAL
				MWBe	NORMAL	NORMAL
MWBep	NORMAL			NORMAL		
CU-19	80	MWCc	NORMAL	NORMAL		
		MWCd	NORMAL	NORMAL		
		MWCe	NORMAL	NORMAL		
CU-39	70	MWNa	SÓDICO	Na		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	NORMAL	NORMAL
		CU-142	80	RLO1a	NORMAL	NORMAL
		AC-19	80	RLOa	NORMAL	NORMAL
		AC-8	90	RLQa	NORMAL	NORMAL
				RLQb	NORMAL	NORMAL
		CT-4a	90	RLQ1a	NORMAL	NORMAL
CT-14a	90	RLQ2a	NORMAL	NORMAL		
Frio Seco	Planicie aluvial	AC-14	80	RMOa	NORMAL	NORMAL
				RMOb	NORMAL	NORMAL
		MU-1	70	RMQb	MODERADAMANETE SALINO	S2
				RMQa	MODERADAMANETE SALINO	S2
		CU-132	90	RMRa	NORMAL	NORMAL
RMRb	NORMAL			NORMAL		
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	NORMAL	NORMAL
		CU-44	75	VWQa	NORMAL	NORMAL

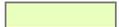
Fuente: La investigación

Al identificar los niveles de salinidad de los suelos en la cuenca del río Bogotá, se observa que la mayor parte de su área que representa 480.472,38 ha no se encuentra afectada por sales, es decir que su condición es normal; los niveles de salinidad categorizados como moderadamente salinos apenas cubren 15.421,70 ha y se ubican en la parte plana de la cuenca en el tercio medio; la otra

categoría presente en la cuenca pertenece a suelos catalogados como sódicos y son muy localizados en la parte baja de la cuenca en el sector occidental, siguiendo las vegas de un drenaje secundario, cubre un área de 5.860,30 ha.

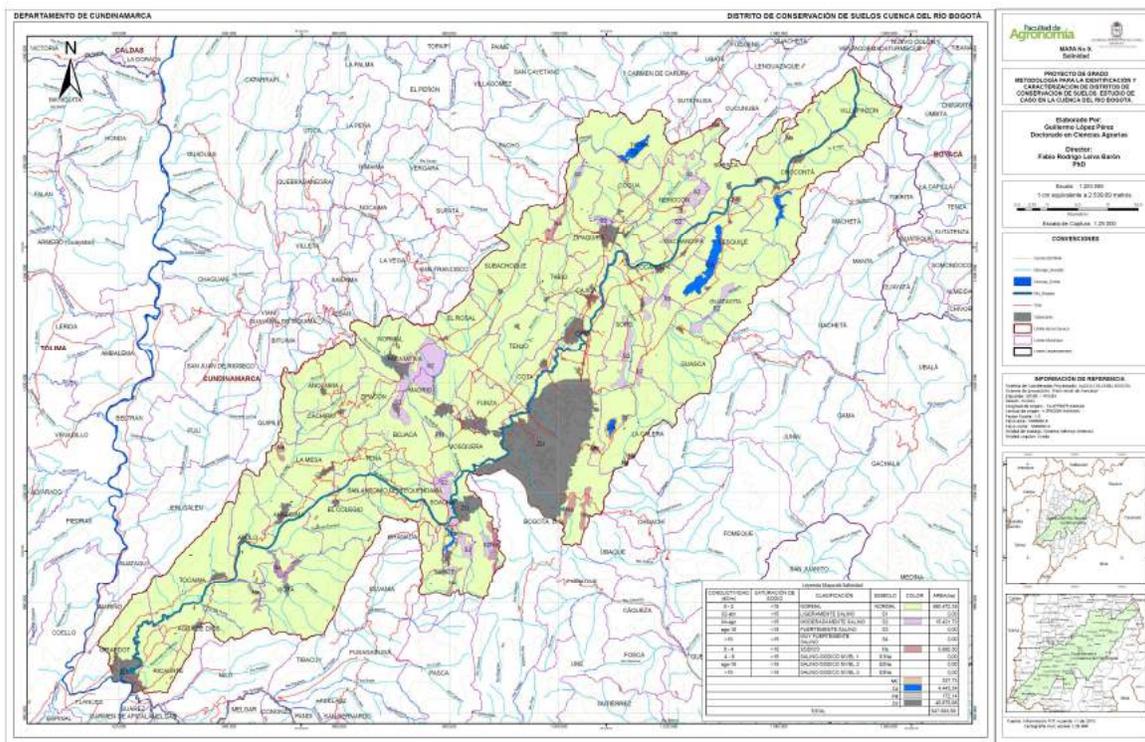
Los datos categóricos por áreas de salinidad de los suelos, con su respectiva distribución espacial al interior de la cuenca del río Bogotá, se identifican en la tabla 4.54 y mapa 4.14.

Tabla 4.54. Distribución de los niveles de salinidad de suelos por categorías, en la cuenca del río Bogotá.

CONDUCTIVIDAD (dS/m)	SATURACIÓN DE SODIO	CLASIFICACIÓN	SIMBOLO	COLOR	AREA(ha)
0 - 2	<15	NORMAL	NORMAL		480.472,38
2-4	<15	LIGERAMENTE SALINO	S1		0,00
4-8	<15	MODERADAMENTE SALINO	S2		15.421,70
8-16	<15	FUERTEMENTE SALINO	S3		0,00
>16	<15	MUY FUERTEMENTE SALINO	S4		0,00
0 - 4	>15	SODICO	Na		5.860,30
4 - 8	>15	SALINO-SODICO NIVEL 1	S1Na		0,00
8-16	>15	SALINO-SODICO NIVEL 2	S2Na		0,00
>16	>15	SALINO-SODICO NIVEL 3	S3Na		0,00
				ME	 337,73
				CA	 4.443,34
				PN	 172,14
				ZU	 40.875,96
TOTAL					547.583,56

Fuente: La investigación

Mapa 4.14. Distribución espacial de la salinidad de suelos, en la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.6.12. Caracterización de la materia orgánica - M.O. Esta variable se construyó directamente en el área de la cuenca para meterla en el modelo de identificación de DCS, tomando como base las diferentes unidades representadas en el mosaico de suelos de la cuenca, y para cada una de las unidades taxonómicas representativas (perfiles modales), se realizaron análisis de laboratorio para identificar las propiedades fisicoquímicas de los suelos, de dichos resultados se determinaron los niveles de materia orgánica de los suelos de la cuenca, y se representaron en las escalas predefinidas oportunamente.

Los resultados de laboratorio por cada unidad representativa de suelos se identifican en el anexo 2, los resultados específicos de la categoría de materia orgánica, se identifican en la tabla 4.55 y gráfica 4.22.

Tabla 4.55. Identificación de los niveles de materia orgánica de los diferentes suelos presentes en la cuenca.

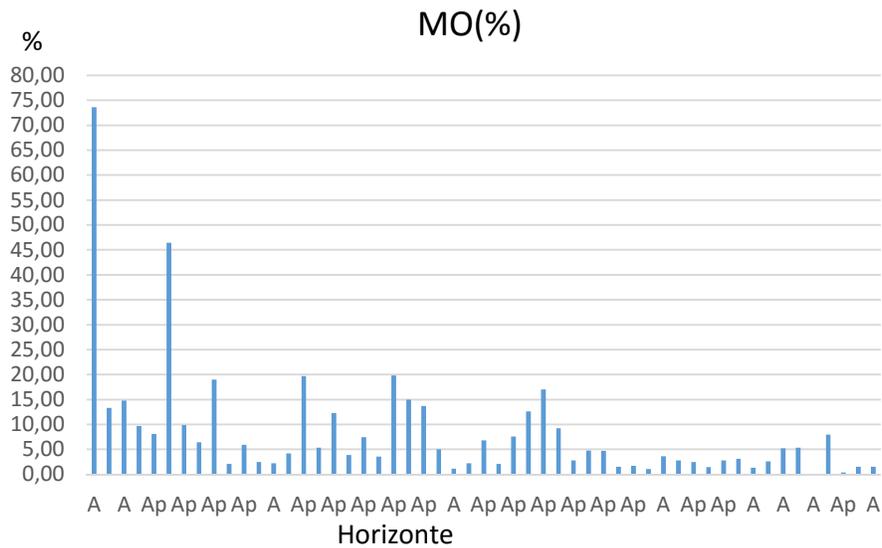
UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	SUELOS			MATERIA ORGÁNICA	
		Perfil No.	%	Símbolo suelo	CLASE	SÍMBOLO
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	CU-152	80	MEAd	MUY ALTA	MA
				MEAc	MUY ALTA	MA
		MU-31	80	MEUe	MUY ALTA	MA
				MEUf	MUY ALTA	MA
		CU-132	70	MEFe	MUY ALTA	MA
				MEFg	MUY ALTA	MA
				MEFep	MUY ALTA	MA
		MEFf	MUY ALTA	MA		
Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGSg	MUY ALTA	MA
		CU-126	75	MGFf	MUY ALTA	MA
				MGFe	MUY ALTA	MA
				MGFg	MUY ALTA	MA
				MGFfr	MUY ALTA	MA
		CC-284	85	MGTd	MUY ALTA	MA
				MGTc	MUY ALTA	MA
CC-332	80	MGNa	MUY ALTA	MA		
		MGNb	MUY ALTA	MA		
Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	MUY ALTA	MA
				MK Cf	MUY ALTA	MA
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	MUY ALTA	MA
				MLJc	MUY ALTA	MA
				MLJd	MUY ALTA	MA
		CC-94	70	MLSg	MEDIA	M
				MLSgr	MUY ALTA	MA
		CC-307	70	MLVf	MUY ALTA	MA
				MLVe	MUY ALTA	MA
				MLVe2	MUY ALTA	MA
				MLVfr	MUY ALTA	MA
		AC-69	85	MLTd	MEDIA	M
				MLTc	MEDIA	M
		AC-54	85	MLFf	ALTA	A
		MU-9	75	MLKd	MUY ALTA	MA
				MLKc	MUY ALTA	MA
				MLKdp	MUY ALTA	MA
CC-226	70	MLCd	MUY ALTA	MA		
		MLCe	MUY ALTA	MA		
		MLCc	MUY ALTA	MA		

		CC-52	75	MLNa	MUY ALTA	MA
				MLNb	MUY ALTA	MA
Frio seco	Montaña estructural erosional	CC-205	80	MMJb	MUY ALTA	MA
				MMJc	MUY ALTA	MA
		AC-16	70	MMSg	BAJA	B
		AC-40	80	MMVf	MEDIA	M
				MMVe	MEDIA	M
				MMVfr	MEDIA	M
				MMVe3	MEDIA	M
				MMVe2	MEDIA	M
				MMVf2	MEDIA	M
		AC-90	75	MMTd	MUY ALTA	MA
				MMTd2	MUY ALTA	MA
		CC-174	90	MMKc	MEDIA	M
				MMKd	MEDIA	M
		CC-230	80	MMCd	ALTA	A
				MMCe	ALTA	A
				MMCe2	ALTA	A
				MMCd1	ALTA	A
MMCe2p	ALTA			A		
MMCep	ALTA			A		
MMCc	ALTA			A		
MMCd2	ALTA			A		
MMCe1	ALTA			A		
MMCd1p	ALTA	A				
(en blanco)	(en blanco)	ME				
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	MEDIA	M
		CU-116	80	MQSg	ALTA	A
		PT-466	80	MQVf	ALTA	A
				MQVe	ALTA	A
		CU-105	75	MQFf	BAJA	B
		G-22	70	MQKd	BAJA	B
				MQKdp	BAJA	B
		AC-24	90	MQBe	BAJA	B
				MQBd	BAJA	B
		AC-28	70	MQCe	ALTA	A
MQCd	ALTA			A		
AC-84	80	MQNb	MEDIA	M		
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	MEDIA	M
		AC-49	65	MVCe	BAJA	B

Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	MEDIA	M
				MWJc	MEDIA	M
		AC-82	80	MWXb	MEDIA	M
				MWXd	MEDIA	M
		AC-20	70	MWSg	BAJA	B
		AC-58	80	MWVd	MEDIA	M
				MWVe	MEDIA	M
				MWVf	MEDIA	M
		CU-17	70	MWFf	MUY ALTA	MA
				MWFe	MUY ALTA	MA
		AC-74	80	MWKd	MUY ALTA	MA
		CU-12	75	MWBd	DEFICIENTE	D
				MWBdp	DEFICIENTE	D
				MWBe	DEFICIENTE	D
MWBep	DEFICIENTE			D		
CU-19	80	MWCc	MUY ALTA	MA		
		MWCd	MUY ALTA	MA		
		MWCe	MUY ALTA	MA		
CU-39	70	MWNa	DEFICIENTE	D		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	ALTA	A
		CU-142	80	RLO1a	MUY ALTA	MA
		AC-19	80	RLOa	ALTA	A
		AC-8	90	RLQa	MUY ALTA	MA
				RLQb	MUY ALTA	MA
		CT-4a	90	RLQ1a	MUY ALTA	MA
CT-14a	90	RLQ2a	MUY ALTA	MA		
Frio Seco	Planicie aluvial	AC-14	80	RMOa	MUY ALTA	MA
				RMOb	MUY ALTA	MA
		MU-1	70	RMQb	MUY ALTA	MA
				RMQa	MUY ALTA	MA
CU-132	90	RMRa	MUY ALTA	MA		
		RMRb	MUY ALTA	MA		
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	BAJA	B
		CU-44	75	VWQa	BAJA	B

Fuente: La investigación

Gráfica 4.22. Contenido de MO del horizonte superficial, suelos cuenca río Bogotá.



Fuente: La investigación

Al interior de la cuenca se identifica que el rango de materia orgánica que califica como deficiente en los suelos, cubre un área de 21.444,04 ha y se ubica en el tercio bajo en el clima cálido; la categoría baja y media cubren áreas de 31.545,83 ha y 91.451,52 ha respectivamente y se ubican igualmente en gran parte del tercio bajo de la cuenca en climas medios y cálidos; la categoría de alta, se ubica principalmente en la parte norte del tercio superior y al sur del tercio medio de la cuenca en su mayoría en clima frío y muy frío cubriendo una extensión de 82.501,39 ha; finalmente la categoría o rango más significativo al interior de la cuenca es el de muy alto, que cubre 274.812,01 ha, y se ubica principalmente en el tercio superior y medio de la cuenca, en las áreas de suelo de clima frío, indiscriminadamente si es parte plana o con rangos de pendiente.

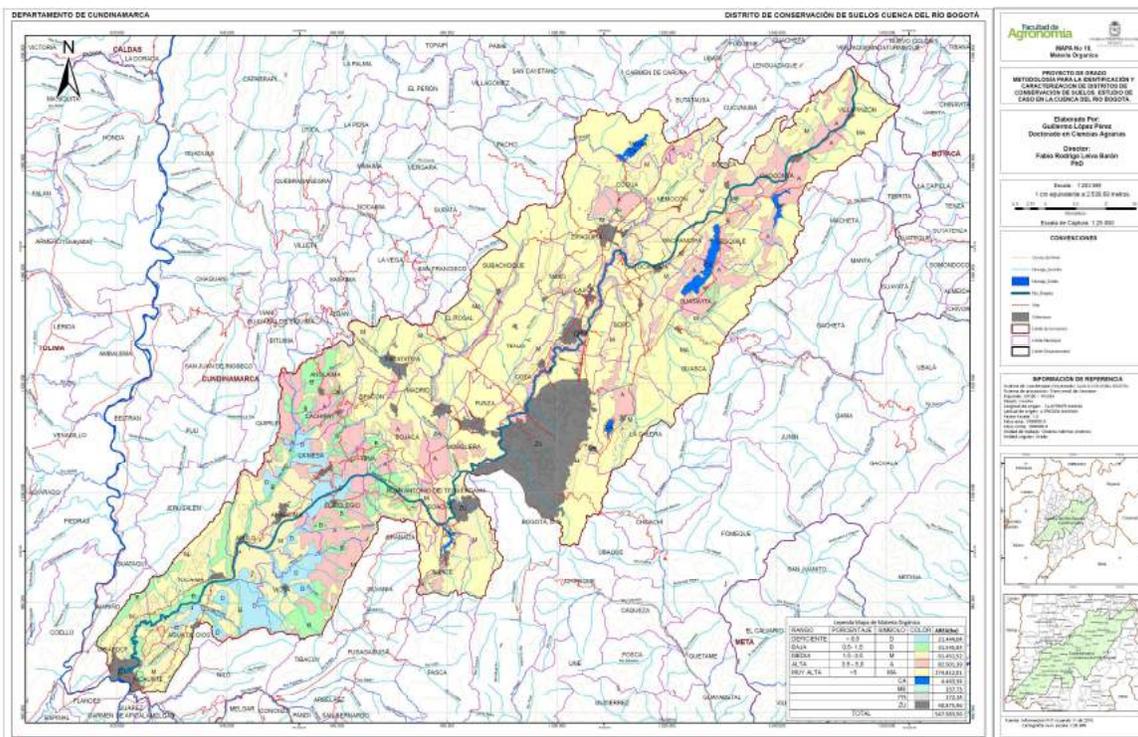
Los datos categóricos por rangos de materia orgánica de los suelos, con su respectiva distribución espacial al interior de la cuenca del río Bogotá, se identifican en la tabla 4.56 y mapa 4.15.

Tabla 4.56. Distribución de los niveles de materia orgánica de los suelos por categorías, en la cuenca del río Bogotá.

RANGO	PORCENTAJE	SIMBOLO	COLOR	AREA(ha)
DEFICIENTE	< 0,5	D		21.444,04
BAJA	0,5- 1,5	B		31.545,83
MEDIA	1,5 -3,5	M		91.451,52
ALTA	3,5 - 5,0	A		82.501,39
MUY ALTA	>5	MA		274.812,01
		CA		4.443,34
		ME		337,73
		PN		172,14
		ZU		40.875,96
TOTAL				547.583,56

Fuente: La investigación

Mapa 4.15. Distribución espacial de la materia orgánica de los suelos, en la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.6.13. Caracterización de la fertilidad. Se construyó esta variable tomando como base las diferentes unidades representadas en el mosaico de suelos de la cuenca, y para cada una de las unidades taxonómicas representativas (perfiles modales), se realizaron análisis de laboratorio para identificar las propiedades fisicoquímicas de los suelos, de dichos resultados se determinaron los niveles de fertilidad del suelo, y se clasificaron en las escalas predefinidas oportunamente.

Los resultados de laboratorio por cada unidad representativa de suelos se identifican en el anexo 2, y los resultados específicos de la categoría de fertilidad, se identifican en la tabla 4.57.

Tabla 4.57. Identificación de los niveles de fertilidad de los diferentes suelos presentes en la cuenca.

SUELOS					FERTILIDAD			
UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	Perfil No.	%	Símbolo suelo	SIMBOLO	CLASE		
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	CU-152	80	MEAd	M	MEDIA		
				MEAc	M	MEDIA		
		MU-31	80	MEUe	B	BAJA		
				MEUf	B	BAJA		
		CU-132	70	MEFe	B	BAJA		
				MEFg	B	BAJA		
				MEFep	B	BAJA		
						MEFf	B	BAJA
		Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGSg	B	BAJA
CU-126	75			MGFf	B	BAJA		
				MGFe	B	BAJA		
				MGFg	B	BAJA		
				MGFfr	B	BAJA		
CC-284	85			MGTd	M	MEDIA		
				MGTc	M	MEDIA		
CC-332	80			MGNa	M	MEDIA		
		MGNb	M	MEDIA				
Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	M	MEDIA		
				MKCf	M	MEDIA		
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	M	MEDIA		
				MLJc	M	MEDIA		
				MLJd	M	MEDIA		
		CC-94	70	MLSG	A	ALTA		
				MLSGr	A	ALTA		
		CC-307	70	MLVf	A	ALTA		
MLVe	A			ALTA				

			MLVe2	A	ALTA	
			MLVfr	A	ALTA	
		AC-69	85	MLTd	B	BAJA
				MLTc	B	BAJA
		AC-54	85	MLFf	B	BAJA
		MU-9	75	MLKd	M	MEDIA
				MLKc	M	MEDIA
				MLKdp	M	MEDIA
		CC-226	70	MLCd	B	BAJA
				MLCe	B	BAJA
				MLCc	B	BAJA
		CC-52	75	MLNa	M	MEDIA
MLNb	M			MEDIA		
Frío seco	Montaña estructural erosional	CC-205	80	MMJb	B	BAJA
				MMJc	B	BAJA
		AC-16	70	MMSg	B	BAJA
		AC-40	80	MMVf	M	MEDIA
				MMVe	M	MEDIA
				MMVfr	M	MEDIA
				MMVe3	M	MEDIA
				MMVe2	M	MEDIA
				MMVf2	M	MEDIA
				MMVf3	M	MEDIA
		AC-90	75	MMTd	A	ALTA
				MMTd2	A	ALTA
		CC-174	90	MMKc	M	MEDIA
				MMKd	M	MEDIA
		CC-230	80	MMCd	B	BAJA
				MMCe	B	BAJA
				MMCe2	B	BAJA
				MMCd1	B	BAJA
				MMCe2p	B	BAJA
				MMCep	B	BAJA
MMCc	B			BAJA		
MMCd2	B			BAJA		
MMCe1	B			BAJA		
MMCd1	B			BAJA		
(en blanco)	(en blanco)	ME				
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	MB	MUY BAJA
		CU-116	80	MQSg	M	MEDIA
		PT-466	80	MQVf	M	MEDIA
				MQVe	M	MEDIA
		CU-105	75	MQFf	MB	MUY BAJA
		G-22	70	MQKd	M	MEDIA

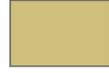
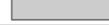
				MQKdp	M	MEDIA
		AC-24	90	MQBe	A	ALTA
				MQBd	A	ALTA
		AC-28	70	MQCe	M	MEDIA
				MQCd	M	MEDIA
		AC-84	80	MQNb	M	MEDIA
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	B	BAJA
		AC-49	65	MVCe	MB	MUY BAJA
Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	A	ALTA
				MWJc	A	ALTA
		AC-82	80	MWXb	A	ALTA
				MWXd	A	ALTA
		AC-20	70	MWSg	A	ALTA
		AC-58	80	MWVd	M	MEDIA
				MWVe	M	MEDIA
				MWVf	M	MEDIA
		CU-17	70	MWff	A	ALTA
				MWFe	A	ALTA
		AC-74	80	MWKd	MA	MUY ALTA
		CU-12	75	MWBd	M	MEDIA
				MWBdp	M	MEDIA
				MWBe	M	MEDIA
				MWBep	M	MEDIA
CU-19	80	MWCc	A	ALTA		
		MWCd	A	ALTA		
		MWCe	A	ALTA		
CU-39	70	MWNa	B	BAJA		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	M	MEDIA
		CU-142	80	RLO1a	A	ALTA
		AC-19	80	RLOa	M	MEDIA
		AC-8	90	RLQa	M	MEDIA
				RLQb	M	MEDIA
		CT-4a	90	RLQ1a	A	ALTA
CT-14a	90	RLQ2a	A	ALTA		
Frio Seco	Planicie aluvial	AC-14	80	RMOa	A	ALTA
				RMOb	A	ALTA
		MU-1	70	RMQb	M	MEDIA
				RMQa	M	MEDIA
		CU-132	90	RMRa	M	MEDIA
RMRb	M			MEDIA		
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	A	ALTA
		CU-44	75	VWQa	M	MEDIA

Fuente: La investigación

Los resultados identifican que los niveles de fertilidad de los suelos con denominación muy baja cubren apenas 1.798,04ha y se ubican en el tercio interior de la cuenca en sectores muy atomizados; la denominación baja que se ubica en la parte alta y media de la cuenca sobre los costados oriental y occidental, donde hay un dominio del clima frío, cubre 129.963,29 ha; la denominación moderada, es la más significativa en la cuenca, se ubica en la parte plana del tercio medio y casi todo el tercio bajo de la cuenca, alcanza las 239.501,42ha; los niveles de fertilidad categorizados como altos, cubren un área de 128.150,01ha y se ubican en franjas alargadas en el sector medio y al final del tercio bajo sobre las franjas oriental y occidental la cuenca; finalmente, los niveles de fertilidad muy altos en los suelos se ubican en el tercio bajo de la cuenca en franjas alargadas en el sector occidental, apenas alcanzando las 2.342,05ha.

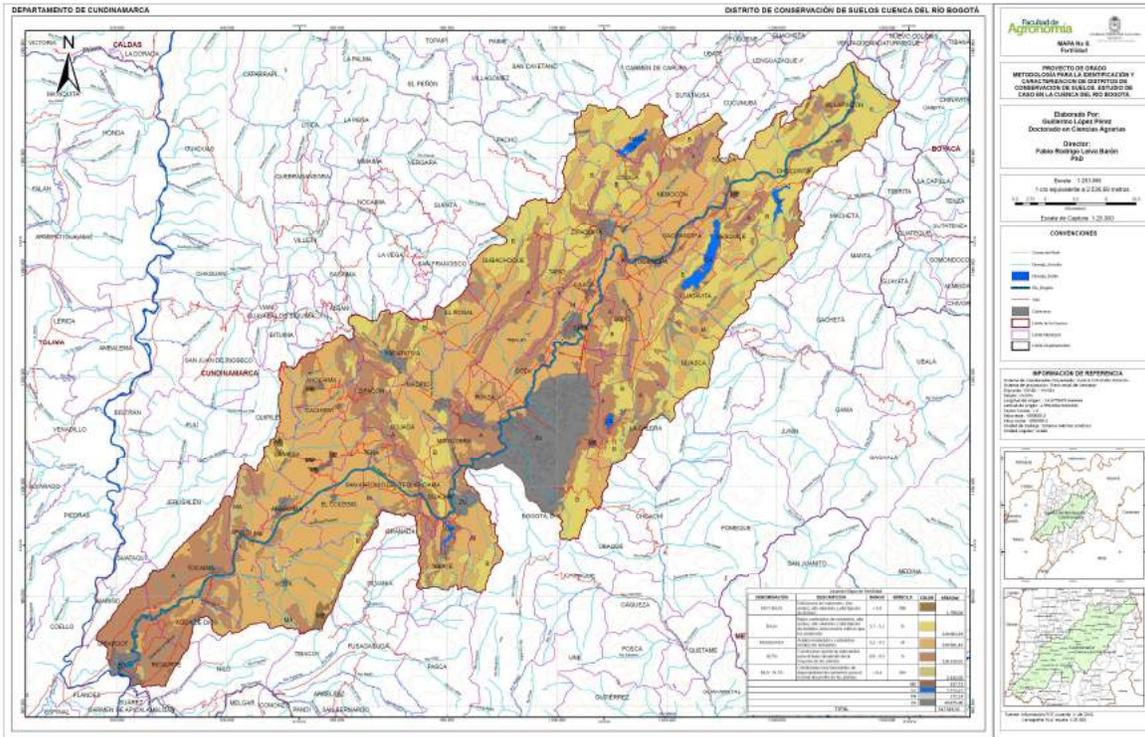
Los datos categóricos por áreas de fertilidad de los suelos, con su respectiva distribución espacial al interior de la cuenca del río Bogotá, se identifican en la tabla 4.58 y mapa 4.16.

Tabla 4.58. Distribución de los niveles de fertilidad de suelos por categorías, en la cuenca del río Bogotá.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	RANGO	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)
MUY BAJA	Deficiencia de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fósforo	≤ 3,6	MB		1.798,04
BAJA	Bajos contenidos de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fosfatos, pero menos críticos que los anteriores	3,7 - 5,1	B		129.963,29
MODERADA	Acidez moderada y contenidos medios de nutrientes	5,2 - 6,7	M		239.501,42
ALTA	Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas	6,8 - 8,3	A		128.150,01
MUY ALTA	Condiciones muy favorables de disponibilidad de nutrientes para el normal desarrollo de las plantas.	≥ 8,4	MA		2.342,05
			ME		337,73
			CA		4.443,34
			PN		172,14
			ZU		40.875,96
TOTAL					547.583,56

Fuente: La investigación

Mapa 4.16. Distribución espacial de la fertilidad de suelos, en la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.7. Asignación de índices por el método del estándar 10-E₁₀, y distribución espacial de los indicadores para la identificación de DCS, en la cuenca del río Bogotá

Una vez caracterizados los indicadores seleccionados que representan el área la cuenca del río Bogotá donde se probó el modelo, se procedió a hacer la asignación de índices por cada una de las categorías según el indicador, siguiendo los parámetros previamente fijados por el método del estándar 10-E₁₀, dentro de la estructura general del proceso, que permite hacer la identificación y caracterización de los DCS. Posteriormente, siguiendo las técnicas cartográficas, se espacializó la magnitud del impacto que presenta cada uno de los indicadores sobre los suelos de la cuenca.

Los resultados de cada indicador y su impacto en los suelos de la cuenca, analizadas según su distribución espacial y representadas en mapas a escala, se describen a continuación manteniendo el orden estructurado, según el nivel de impacto dentro del modelo.

4.7.1. Asignación del índice a las categorías de pendiente, siguiendo el método estándar 10-E₁₀. Dadas las características relacionadas con la variable de pendiente, se identificaron 7 niveles categóricos a los cuales se les asignó el índice del estándar 10, quedando finalmente consignados en 6 categorías de impacto, datos que se identifican en la tabla 4.59.

Tabla 4.59. Índices del estándar 10-E₁₀, para los parámetros de pendiente en la Cuenca del río Bogotá.

PORCENTAJE	TERMINO	SÍMBOLO	INDICE E ₁₀
0-3	PLANA	a	2
3-7	LEVEMENTE INCLINADA	b	4
7-12	INCLINADA	c	5
12-25	MODERADAMENTE QUEBRADA	d	7
25-50	LIGERAMENTE ESCARPADA	e	8
50-75	ESCARPADA	f	9
>75	MUY ESCARPADA	g	10

Fuente: La investigación

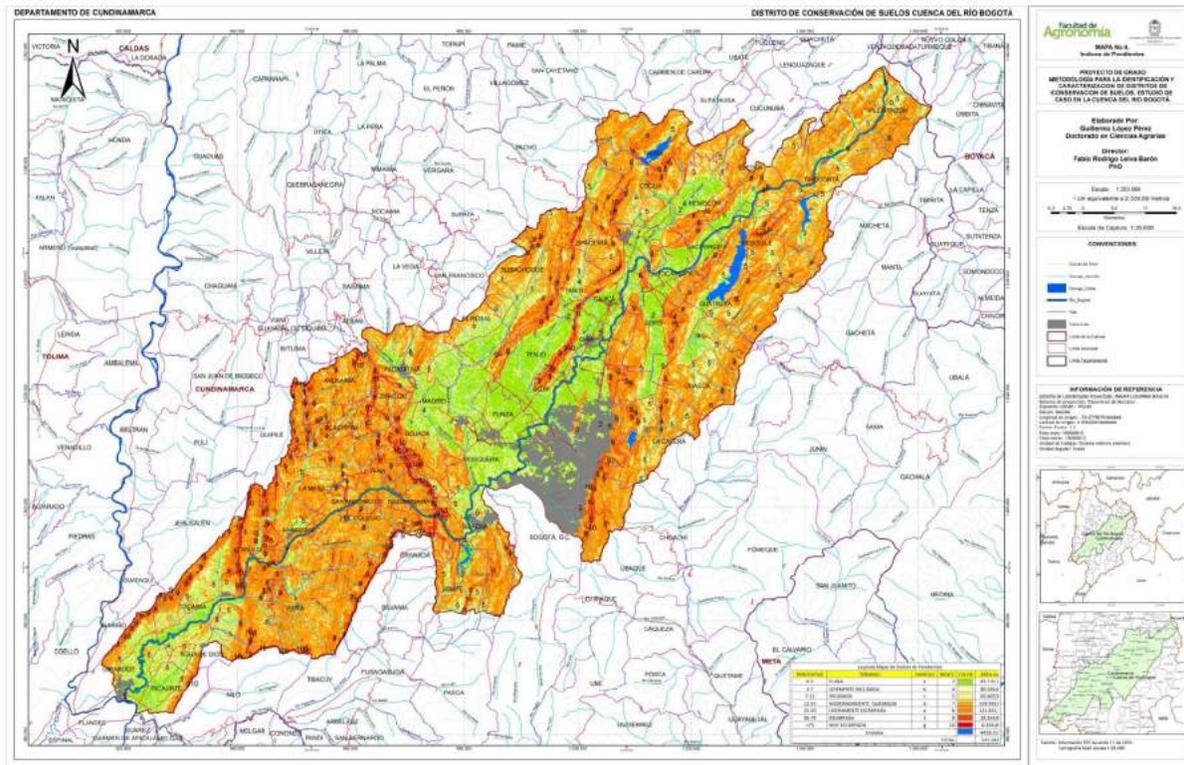
Los índices bajos de 1 a 5 relacionados con las variables de pendiente, cubren un área al interior de la cuenca de 220.330,68 ha los cuales son muy significativos por el área que representan, se ubican en el tercio medio, bajo y parte central de ésta; los niveles calificados como medios representados en los índices 6 y 7 cubren un área de 281.854,03 ha siendo el área con mayor cobertura y se ubican principalmente en los flancos oriental y occidental de los tercios alto y medio y casi toda el tercio bajo de la cuenca, con exception del sur de esta en su parte central; los niveles catalogados como altos, se ubican en franjas muy localizads del sector medio y en un cinturón en forma alargada que se desplaza en dirección noroccidental, suroriental, dividiendo el tercio medio y bajo de la cuenca que cubre 31.980,14 ha. Los datos se identifican en la table 4.60 y mapa 4.17.

Tabla 4.60. Impacto del índice de pendiente y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

PORCENTAJE PENDIENTE	TERMINO	SIMBOLO	INDICE PENDIENTE	COLOR	ÁREA (ha)	(%)
0-3	PLANA	a	2		83.130,17	15,18
3-7	LEVEMENTE INCLINADA	b	4		80.594,60	14,72
7-12	INCLINADA	c	5		65.605,91	11,98
12-25	MODERADAMENTE QUEBRADA	d	7		159.999,87	29,22
25-50	LIGERAMENTE ESCARPADA	e	8		121.854,16	22,25
50-75	ESCARPADA	f	9		25.543,68	4,66
>75	MUY ESCARPADA	g	10		6.436,46	1,18
Embalse					4.418,71	0,81
TOTAL					547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.17. Distribución espacial del índice de pendiente, en la Cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.7.2. Asignación del índice a las categorías de cobertura y uso del suelo, siguiendo el método estándar 10-E₁₀. Luego de la estructuración de la variable de usos y coberturas del suelo, se identificaron 30 niveles categóricos a los cuales se les asignó el índice definido por el estándar 10, quedando finalmente consignados en 6 categorías de impacto, datos que se identifican en la table 4.61.

Tabla 4.61. Índices del estándar 10-E₁₀ para los parámetros de usos y coberturas del suelo.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Símbolo	INDICE E ₁₀
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo			1.1.1	0
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo			1.1.2	0
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales			1.2.1	0

	1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera			1.3.1	0		
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios			2.1.1	7		
		2.1.2. Cereales	2.1.2.2. Arroz		2.1.2.2.	5		
		2.1.4. Hotalizas				6		
		2.1.5. Tubérculos	2.1.5.1. Papa		2.1.5.1	6		
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos			2.2.1.1	5	
			2.2.1.2. Caña	2.2.1.2.2 Caña Panelera		2.2.1.2.2	5	
			2.2.1.3. Plátano y banano			2.2.1.3	5	
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.2.2.2. Café			2.2.2.2	4	
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.2.3. 5. Otros frutales				2.2.3.5	5
			2.2.3.6. Cultivos bajo cubierta(invernaderos)				2.2.3.6	3
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios				2.3.1	6	
		2.3.2. Pastos arbolados				2.3.2	5	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de cultivos				2.4.1	6	
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos					2.4.2	5		
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales					2.4.4	6		
3. BOSQUES Y AREAS SEMI NATURALES	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque Denso	3.1.1.1. Bosque Denso Alto	3.1.1.1.1. Bosque Denso Alto de Tierra Firme	3.1.1.1.1	2		
			3.1.1.2. Bosque Denso Bajo	3.1.1.2.1. Bosque Denso Bajo de Tierra Firme	3.1.1.2.1	2		
		3.1.2. Bosque Abierto	3.1.2.1. Bosque Abierto Alto	3.1.2.1.1. Bosque Abierto Alto de Tierra Firme	3.1.2.1.1	2		
		3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria		3.1.3.2	4		
		3.1.4. Bosque de galería y ripario			3.1.4	3		
		3.1.5. Plantación forestal			3.1.5	4		
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazales	3.2.1.2. Hebazal abierto	3.2.1.2.1. hebazal abierto arenoso	3.2.1.2.1	6		
		3.2.2. Arbustal	3.2.2.1. Arbustal denso		3.2.2.1	5		
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.1. Vegetación Secundaria Alta		3.2.3.1	4		
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas			3.3.3	9		
	4. AREAS HUMEDAS	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Zonas Pantanosas			4.1.1	5	
			4.1.3. Vegetación acuosa sobre cuerpos de agua				5	

5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales			5.1.2	0
		5.1.4. Cuerpos de agua artificiales			5.1.4	0

Fuente: La investigación

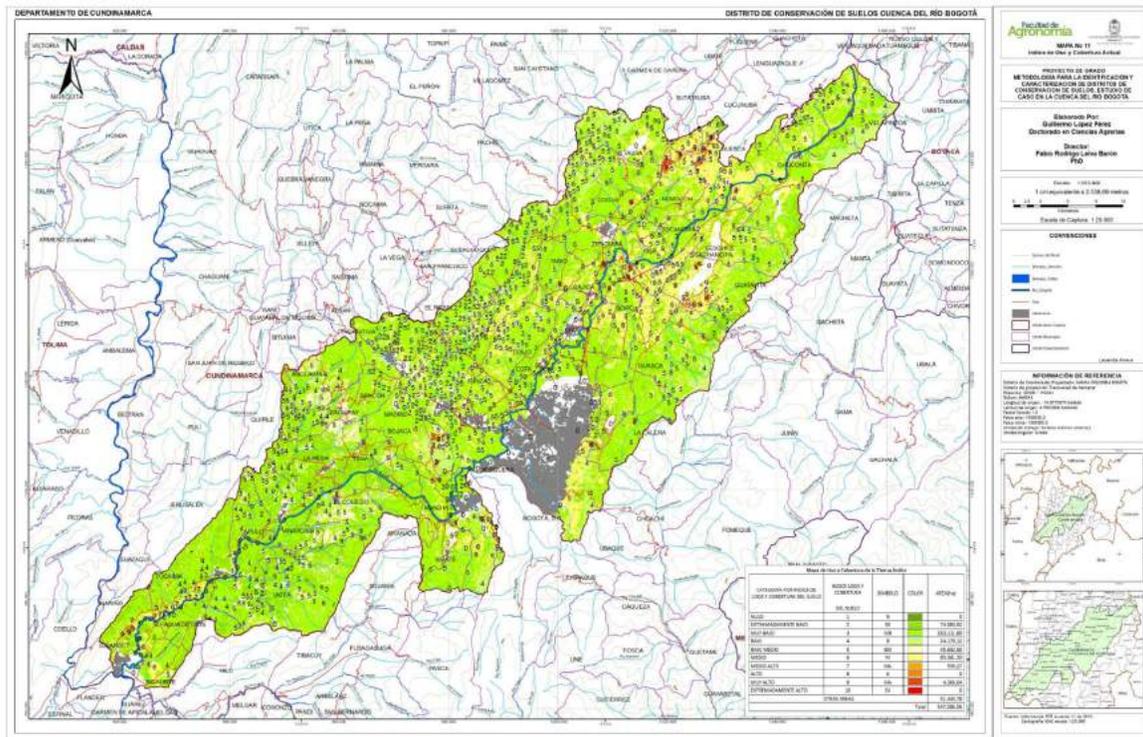
La espacialización de los índices de uso y cobertura del suelo, muestran que en los niveles bajos menores de 5, cubren cerca del 75% del total de la cuenca y representan 407.855,54 ha, se ubican a lo largo y ancho de esta; los niveles medios 6 y 7, representan un área equivalente de 83.920,60 ha, que se ubican en los sectores centrales del tercio alto y medio mas cercanos siempre a la corriente principal, igual condición se hace visible en el tercio bajo de la cuenca; es de aclarar que los niveles altos de los índices de impacto, cubren tal solo una pequeñas zonas atomizadas en la parte alta y media de esta, representada en 4.366.64 ha. Datos que se pueden verificar en la tabla 4.62 y mapa 4.18.

Tabla 4.62. Impacto del índice de coberturas y uso del suelo y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

CATEGORÍA POR INDICE DE USOS Y COBERTURA DEL SUELO	INDICE USOS Y COBERTURA DEL SUELO	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
NULO	1	N		0,00	0,00
EXTRAMADAMENTE BAJO	2	EB		74.880,82	13,67
MUY BAJO	3	MB		263.111,80	48,05
BAJO	4	B		24.170,12	4,41
BAJO MEDIO	5	BM		45.692,80	8,34
MEDIO	6	M		83.361,33	15,22
MEDIO ALTO	7	ML		4.925,93	0,90
ALTO	8	A		0,00	0,00
MUY ALTO	9	MA		0,00	0,00
EXTRAMADAMENTE ALTO	10	EA		0,00	0,00
OTRAS ÁREAS				51.440,76	9,39
Total				547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.18. Distribución espacial del índice de coberturas y uso del suelo, en la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.7.3. Asignación del índice a las categorías de erosión, siguiendo el método estándar 10-E₁₀. Para la erosión, se evaluaron 5 niveles categóricos a los cuales se les asignó el índice del estándar 10, quedando finalmente consignados en 5 categorías dependiendo su impacto, datos que se identifican en la table 4.63.

Tabla 4.63. Índices del estándar 10-E₁₀ para los parámetros de erosión.

GRADO	PERDIDA DE SUELO	% Área suelo afectado	SÍMBOLO	ÍNDICE E ₁₀
NO APRECIABLE	No se aprecia	0	NA	2
LIGERO	<25% horizonte A	0-5	LS	4
MODERADO	Del 25 -75% del horizonte A	5-10	M	6
SEVERO	>75% del horizonte A	10-25	SV	8
MUY SEVERO	Pérdida total del Horizonte A.	25 - 50	MS	10

Fuente: La investigación

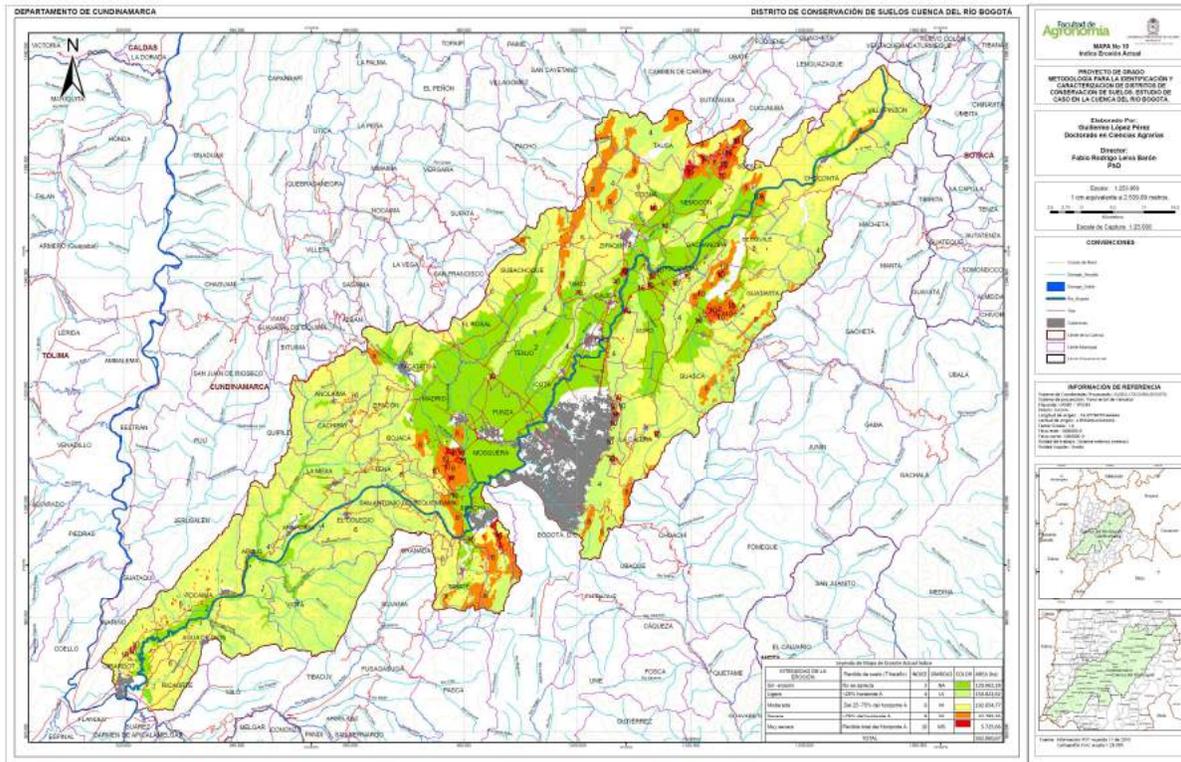
Espacialmente los índices de impacto relacionados con la erosión, muestran que los valores bajos calificados con (2) son los más representativos, cubren un área de 270.884,90 ha, se ubican principalmente en el tercio alto y medio de la cuenca sector central siguiendo las geoformas más planas; los niveles de impacto medios (4 a 6), ocupan la segunda proporción en área con 192.654,77 ha, se ubican principalmente en el tercio alto y medio de la cuenca en los sectores occidental y oriental, también se ubican en el tercio bajo de la cuenca, principalmente en la parte sur; los niveles de índice más alto (>7), se ubican en los sectores oriental y occidental del tercio alto y en la parte suroriental del tercio medio, cubriendo un área de 38.521,01 ha. Los datos se identifican en la tabla 4.64 y mapa 4.19.

Tabla 4.64. Impacto del índice de erosión y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

GRADO	Perdida de suelo	% Área suelo afectado	INDICE	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
No apreciable	No se aprecia	0-5	2	NA		120.062,28	21,93
Ligero	<25% horizonte A	5-10	4	LS		150.822,62	27,54
Moderado	Del 25 -75% del horizonte A	10-25	6	M		192.654,77	35,18
Severo	>75% del horizonte A	25 - 50	8	SV		32.795,35	5,99
Muy severo	Pérdida total del Horizonte A.	>50	10	MS		5.725,66	1,05
CUERPO DE AGUA				CA		4.444,29	0,81
URBANO				U		40.941,60	7,48
ME + PA						136,99	0,03
TOTAL						547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.19. Distribución espacial del índice de erosión, en la Cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.7.4. Asignación del índice a las categorías de aridez, siguiendo el método estándar 10-E₁₀. En la variable de aridez, se identificaron 4 niveles categóricos en los suelos de la cuenca a los cuales se les asignó el índice del estándar 10, quedando finalmente consignados en 4 categorías de impacto, datos que se identifican en la table 4.65.

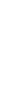
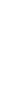
Tabla 4.65. Indices del estándar 10-E₁₀ para los parámetros de aridez.

RELACION (P/ETP)	TIPO DE CLIMA	SÍMBOLO	INDICE E ₁₀
De 0.05 a 0.20	Árido (Sujeto a desertificación)	A	10
De 0.20 a 0.45	Semiárido (Sujeto a desertificación)	SA	7
De 0.45 a 0.70	Sub húmedo seco (Sujeto a desertificación)	SH	5
Mayor que 0.70	Húmedo (Sujeto a desertificación)	H	3

Fuente: La investigación

Luego de asignados los índices de impacto por aridez a los suelos de la cuenca, se espacializaron los datos, en cuyos resultados se identificó que los niveles bajos están relacionados con los climas húmedo y subhúmedo secos, ambos sujetos a procesos de desertificación, que se ubican en el tercio alto y medio de la cuenca sector centro occidental y unas franjas alargadas en el sector oriental de la parte más montañosa, cubriendo un área en conjunto de 101.964,97 ha; los niveles 6 y 7 catalogados en el rango medio, son los más representativos al interior de la cuenca cubriendo más del 50% de esta con un área de 337.333,46 ha, ubicados espacialmente a lo largo y ancho de esta, principalmente en el sector medio; el índice crítico alto en la escala que va de 8 a 10, se ubica en un sector atomizado de la parte media de la cuenca y en su mayoría en el tercio bajo de esta, cubriendo un área de 70.192,84ha. Datos que se identifican en la tabla 4.66 y mapa 4.20.

Tabla 4.66. Impacto del índice de aridez y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

RELACION (P/ETP)	TIPO DE CLIMA	SÍMBOLO	INDICE ARIDEZ	COLOR	AREA(ha)	(%)
Menor de 0.05	Hiperbárico (verdadero desierto climático)	HB	0		0,00	0,00
De 0.05 a 0.20	Árido (Sujeto a desertificación)	A	10		70.192,84	12,82
De 0.20 a 0.45	Semiárido (Sujeto a desertificación)	SA	7		337.333,46	61,60
De 0.45 a 0.70	Sub húmedo seco (Sujeto a desertificación)	SH	5		101.460,99	18,53
Mayor que 0.70	Húmedo (Sujeto a desertificación)	H	3		503,98	0,09
Otras Areas					38.092,29	6,96
TOTAL					547.583,56	100

Fuente: La investigación

		CU-132	70	MEUf	EXTREMADAMENTE BAJA	EB	2
				MEFe	BAJA	B	5
				MEFg	BAJA	B	5
				MEFep	BAJA	B	5
				MEFf	BAJA	B	5
Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGsg	BAJA	B	5
		CU-126	75	MGff	BAJA	B	5
				MGFe	BAJA	B	5
				MGfg	BAJA	B	5
				MGffr	BAJA	B	5
		CC-284	85	MGTd	BAJA	B	5
				MGTc	BAJA	B	5
		CC-332	80	MGNa	BAJA	B	5
				MGNb	BAJA	B	5
		Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	BAJA
MKCf	BAJA					B	5
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	BAJA	B	5
				MLJc	BAJA	B	5
				MLJd	BAJA	B	5
		CC-94	70	MLSg	MUY BAJA	MB	4
				MLSgr	MUY BAJA	MB	4
		CC-307	70	MLVf	MUY BAJA	MB	4
				MLVe	MUY BAJA	MB	4
				MLVe2	MUY BAJA	MB	4
				MLVfr	MUY BAJA	MB	4
		AC-69	85	MLTd	MUY BAJA	MB	4
				MLTc	MUY BAJA	MB	4
		AC-54	85	MLFf	MUY BAJA	MB	4
		MU-9	75	MLKd	MUY BAJA	MB	4
				MLKc	MUY BAJA	MB	4
				MLKdp	MUY BAJA	MB	4
		CC-226	70	MLCd	MUY BAJA	MB	4
				MLCe	MUY BAJA	MB	4
				MLCc	MUY BAJA	MB	4
		CC-52	75	MLNa	MUY BAJA	MB	4
				MLNb	MUY BAJA	MB	4
Frío seco	Montaña estructural erosional	CC-205	80	MMJb	MUY BAJA	MB	4
				MMJc	MUY BAJA	MB	4
		AC-16	70	MMSg	MUY BAJA	MB	4
		AC-40	80	MMVf	MODERADA	M	6
				MMVe	MODERADA	M	6

				MMVfr	MODERADA	M	6
				MMVe3	MODERADA	M	6
				MMVe2	MODERADA	M	6
				MMVf2	MODERADA	M	6
				MMVf3	MODERADA	M	6
		AC-90	75	MMTd	BAJA	B	5
				MMTd2	BAJA	B	5
		CC-174	90	MMKe	MUY BAJA	MB	4
				MMKd	MUY BAJA	MB	4
		CC-230	80	MMCd	MUY BAJA	MB	4
				MMCe	MUY BAJA	MB	4
				MMCe2	MUY BAJA	MB	4
				MMCd1	MUY BAJA	MB	4
				MMCe2p	MUY BAJA	MB	4
				MMCep	MUY BAJA	MB	4
				MMCe	MUY BAJA	MB	4
				MMCd2	MUY BAJA	MB	4
				MMCe1	MUY BAJA	MB	4
				MMCd2	MUY BAJA	MB	4
(en blanco)	(en blanco)	ME					
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	BAJA	B	5
		CU-116	80	MQSg	BAJA	B	5
		PT-466	80	MQVf	BAJA	B	5
				MQVe	BAJA	B	5
		CU-105	75	MQFf	BAJA	B	5
		G-22	70	MQKd	BAJA	B	5
				MQKdp	BAJA	B	5
		AC-24	90	MQBe	MUY ALTA	MA	8
				MQBd	MUY ALTA	MA	8
		AC-28	70	MQCe	MUY BAJA	MB	4
MQCd	MUY BAJA			MB	4		
AC-84	80	MQNb	BAJA	B	5		
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	BAJA	B	5
		AC-49	65	MVCe	ALTA	A	7
Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	ALTA	A	7
				MWJc	ALTA	A	7
		AC-82	80	MWXb	BAJA	B	5
				MWXd	BAJA	B	5
		AC-20	70	MWSg	EXTREMADAMENTE BAJA	EB	2
		AC-58	80	MWVd	BAJA	B	5

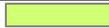
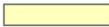
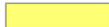
			MWVe	BAJA	B	5	
			MWVf	BAJA	B	5	
		CU-17	70	MWFF	BAJA	B	5
				MWFe	BAJA	B	5
		AC-74	80	MWKd	MODERADA	M	6
		CU-12	75	MWBd	MUY BAJA	MB	4
				MWBdp	MUY BAJA	MB	4
				MWBe	MUY BAJA	MB	4
				MWBep	MUY BAJA	MB	4
		CU-19	80	MWCe	MUY BAJA	MB	4
				MWCd	MUY BAJA	MB	4
MWCe	MUY BAJA			MB	4		
CU-39	70	MWNa	MUY BAJA	MB	4		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	ALTA	A	7
		CU-142	80	RLO1a	MODERADA	M	6
		AC-19	80	RLOa	MODERADA	M	6
		AC-8	90	RLQa	MUYA BAJA	MB	4
				RLQb	MUYA BAJA	MB	4
		CT-4a	90	RLQ1a	EXTREMADAMENTE BAJA	EB	2
CT-14a	90	RLQ2a	MUY BAJA	MB	4		
Frio Seco	Planicie aluvial	AC-14	80	RMOa	ALTA	A	7
				RMOb	ALTA	A	7
		MU-1	70	RMQb	EXTREMADAMENTE BAJA	EB	2
				RMQa	MUY BAJA	MB	4
		CU-132	90	RMRa	MUY BAJA	MB	4
RMRb	MUY BAJA			MB	4		
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	MUY BAJA	MB	4
		CU-44	75	VWQa	MUY BAJA	MB	4

Fuente: La investigación

La espacialización de la compactación en los suelos de la cuenca, identifica los niveles de impacto bajos (<5) como los más representativos en su interior, cubriendo un área de 435.471,70 ha, que abarca cerca del 80% del total del área estudiada, y se ubican a lo largo y ancho de ella en toda su extensión; Los niveles medios que cubren la escala 6 y 7, se ubican principalmente en la parte central del tercio medio, siguiendo las áreas aledañas a la corriente principal que da nombre a la cuenca y en el tercio bajo, en el costado sur con un área de 63.740,14 ha; los niveles de índices altos que van del 8 al 10, cubren la menor proporción del área de la cuenca con apenas 2.542,55 ha,

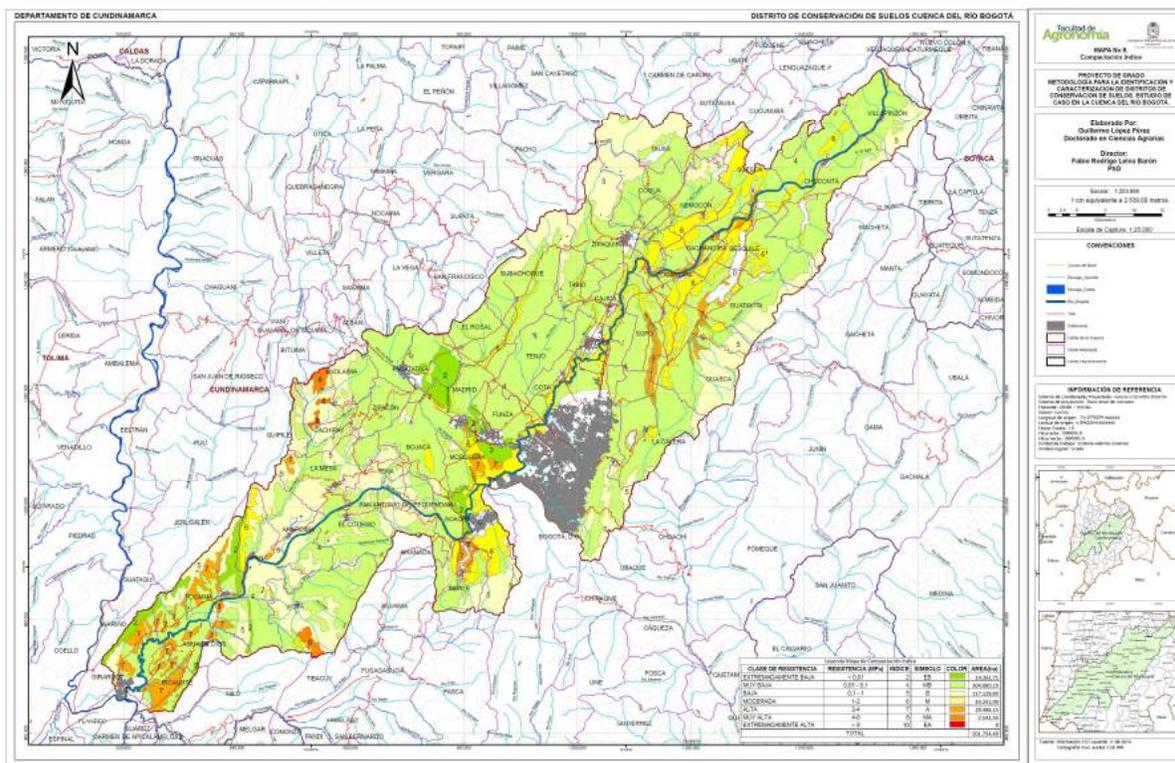
se ubican en el tercio medio de la cuenca en pequeñas franjas alargadas en los sectores oriente y occidente de la misma. Los datos se identifican en la table 4.68 y mapa 4.21.

Tabla 4.68. Impacto del índice de compactación y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

CLASE DE RESISTENCIA	RESISTENCIA (MPa)	INDICE COMPACTACIÓN	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
EXTREMADAMENTE BAJA	< 0,01	2	EB		14.262,71	2,60
MUY BAJA	0,01 - 0,1	4	MB		304.080,19	55,53
BAJA	0,1 - 1	5	B		117.128,80	21,39
MODERADA	1-2	6	M		43.241,99	7,90
ALTA	2-4	7	A		20.498,15	3,74
MUY ALTA	4-8	8	MA		2.542,55	0,46
EXTREMADAMENTE ALTA	> 8	10	EA		0	0,00
CA					4.443,34	0,81
ME					337,73	0,06
PN					172,14	0,03
ZU					40.875,96	7,46
TOTAL					547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.21. Distribución espacial del índice de compactación, en la Cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.7.6. Asignación del índice a las categorías de la zona climática, siguiendo el método estándar 10-E10. Para la zona climática se evaluaron 13 niveles categóricos a los cuales se les asignó el índice del estándar 10, quedando finalmente consignados en 7 categorías de impacto, datos que se identifican en la table 4.69.

Tabla 4.69. Indices del estándar 10-E10 para los parámetros de la zona climática.

PISO TERMICO (msnm)	TEMPERATURA (°C)	CLIMA	ZONA CLIMÁTICA	PRECIPITACION (mm/año)	Evap/Precip (mm)	INDICE E10
0 - 1000	>24	CALIDO	Árido	<250	>8	10
			Semiárido	250 - 500	8-4	9
			Húmedo	2.000 - 4.000	1-0,5	2
1000 - 2.000	18 - 24	TEMPLADO	Seco	500 - 1.000	2-1	7
			Húmedo	1.000 - 1.000	1-0,5	2
2.000 - 3.000	12 - 18	FRIO	Muy Seco	<500	>2	8
			Seco	500 - 1.000	2-1	7

			Húmedo	1.000 - 1.000	1-0,5	2
			Muy Húmedo	2.000 - 4.000	0,5-0,25	4
3.000 - 3.600	8 - 12	MUY FRIO	Seco	<500	2-1	7
			Húmedo	500 - 1.000	1-0,5	2
			Muy Húmedo	1.000 - 1.000	0,5-0,25	4
			Pluvial	>2.000	0,25-0,125	5

Fuente: La investigación

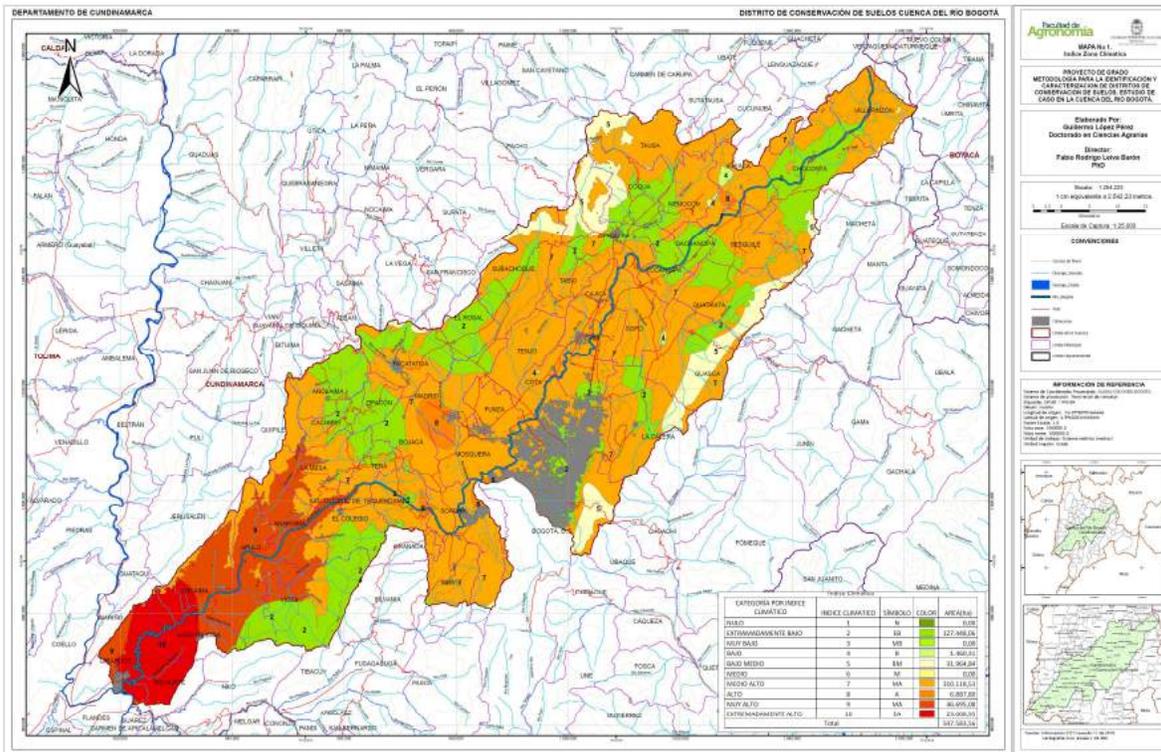
Espacialmente los resultados muestran que el impacto de la zona climática presenta niveles bajos de 1 a 5, en un área de 160.873,20 ha, se ubican en la parte alta y media de la cuenca parte central y occidental, también en la parte baja de la cuenca costado oriental; los niveles 6 y 7 catalogados en el rango medio, cubren la mayor extensión con un área de 310.118,53 ha (56.63%), y se ubican en la parte central, oriental y occidental de la cuenca en el tercio alto y medio y en el sector norte del tercio bajo; los niveles de 8 a 10, que son los más altos cubren 76.591,83 ha, se ubican en sectores localizados de la parte media y casi todo el tercio bajo de la cuenca. Datos que se identifican en la tabla 4.70 y mapa 4.22.

Tabla 4.70. Impacto del índice de zona climática y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

CATEGORÍA POR INDICE CLIMÁTICO	INDICE CLIMATICO	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	%)
NULO	1	N		0,00	0,00
EXTRAMADAMENTE BAJO	2	EB		127.448,06	23,27
MUY BAJO	3	MB		0,00	0,00
BAJO	4	B		1.460,31	0,27
BAJO MEDIO	5	BM		31.964,84	5,84
MEDIO	6	M		0,00	0,00
MEDIO ALTO	7	MD		310.118,53	56,63
ALTO	8	A		6.887,80	1,26
MUY ALTO	9	MA		46.695,08	8,53
EXTRAMADAMENTE ALTO	10	EA		23.008,95	4,20
Total				547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.22. Distribución espacial del índice climático en la Cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.7.7. Asignación del índice a las categorías de geomorfología – paisaje siguiendo, el método estándar 10-E10. En este caso relacionado con la variable de geomorfología, se trabajó la clasificación de formas por paisajes, donde se identificaron 18 niveles categóricos a los cuales se les asignó el índice del estándar 10, quedando finalmente consignados en 7 categorías de impacto, datos que se identifican en la tabla 4.71.

Tabla 4.71. Índices del estándar 10-E₁₀ para los parámetros de geomorfología – paisaje.

AMBIENTE MORFOGENETICO	PAISAJE	RELIEVE	RELIEVE Y MATERIAL LITOLÓGICO	CARACTERÍSTICAS DE LAS GEOFORMAS	SIMBOLO	INDICE E ₁₀
Unidades de origen denudacional	MONTAÑA	Artesa	Artesas en depósitos clásticos glaciogénicos con intercalaciones de rocas limoarcillosas y depósitos orgánicos localizados	Laderas moderadamente inclinadas- cubiertas por vegetación de páramo	MEE1	8
		Campo morrénico	Campo morrénico en depósitos clásticos glaciogénicos- ceniza volcánica y algunos depósitos de materiales orgánicos	Laderas fuertemente inclinadas- cubiertas por vegetación de páramo	MEE2	8
Espinazos		Espinazos- crestas homoclinales y escarpes mayores en rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Laderas fuertemente escarpadas- cubiertas por vegetación de páramo	MEE3	10	
Crestones		Crestones homoclinales rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Laderas moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	MEE4	10	
		Crestones homoclinales en rocas clásticas limoarcillosas-arenosas y depósitos de espesor variable de ceniza volcánica	Laderas moderadamente escarpadas- caracterizadas por frecuente presencia de deslizamientos y erosión hídrica laminar ligera en sectores	MEE7	10	
Cuestas		Cuestas en depósitos de ceniza volcánica que recubren parcialmente rocas clásticas limoarcillosas	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	MEE9	9	
Unidades de origen Agradacional o depositacional		Abanicos	Abanicos aluviales en ceniza volcánica y depósitos clásticos hidrogravigénicos.	Laderas ligeramente inclinadas- con niveles moderados de susceptibilidad a la erosión	MEE8	8
			Abanicos aluviales en depósitos clásticos hidrogravigénicos.	Laderas ligeramente inclinadas- con niveles moderados de susceptibilidad a la erosión	MEE11	7
			Abanicos terraza en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Zonas planas de suelos evolucionados	MEE12	7
			Abanicos terraza en depósitos clásticos hidrogravigénicos	Zonas planas de suelos evolucionados	MEE13	7
	Glacis	Glacis de acumulación y lomas en depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas arenosas- limoarcillosas y conglomeráticas.	Laderas erosionales de pendientes moderadamente inclinadas	MEE5	7	
	Vallecitos	Vallecitos coluvio aluviales en depósitos clásticos glaciogénicos	Laderas cortas y estrechas de vallecitos encajonados- afectadas por crecientes súbitas de los ríos que las drenan y disectan	MEE6	6	
Unidades de origen estructural denudacional	LOMERIO	Lomas	Lomas en rocas clásticas arenosas- limo arcillosas y mantos de espesor variable de ceniza volcánica	Laderas ligeramente empinadas- caracterizadas por frecuentes deslizamientos sectorizados	MEE10	8
Unidades de origen Agradacional o depositacional	PLANICIE	Terrazas	Terrazas aluviales en depósitos de ceniza volcánica sobre materiales clásticos hidrogénicos	Áreas planas- afectadas en sectores muy aislados por encharcamiento poco frecuentes	PA2	3

		Plan de inundación	Plano de inundación en sedimentos clásticos hidrogénicos	Áreas planas del valle aluvial- afectadas por periódicas inundaciones y encharcamientos	PA1	2
			Plano de inundación en sedimentos clásticos hidrogénicos	Áreas planas- afectadas frecuentemente por encharcamientos e inundaciones	PA3	2
Unidades de origen fluvial	VALLE	Plan de inundación	Plano de inundación en depósitos aluviales	Zonas planas afectadas por inundaciones ocasionales	VA1	2
Unidades de origen Agradacional o depositacional		Terrazas	Terraza aluvial en depósitos clásticos hidrogénicos	Zonas planas de suelos poco evolucionados	VA2	3
			Cuerpos de Agua		CA	0
			Zonas urbanas		ZU	0
			PN		PN	0

Fuente: La investigación

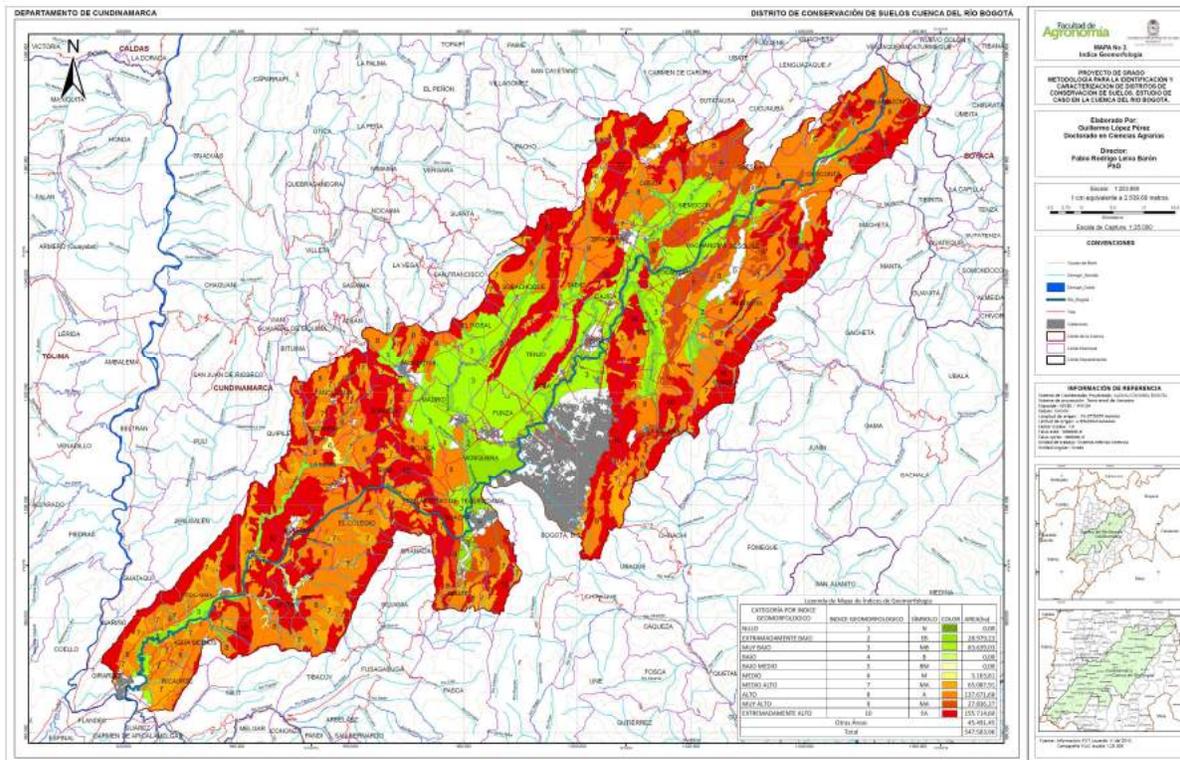
Desde el punto de vista espacial, los índices bajos que se ubican entre 1 y 5 se encuentran principalmente en el tercio medio de la cuenca asociado principalmente a las zonas planas y ligeramente onduladas, también se ubican en la parte baja, siguiendo los valles estrechos del río Apulo y río Bogotá, cubren en conjunto un área de 112.618,26 ha; los niveles 6 y 7 catalogados en el rango medio, ocupan un área de 68.251,73 ha siendo en área con la menor proporción en la cuenca, específicamente se ubican principalmente en los flancos del sector oriental y occidental del tercio alto y medio de esta y en la parte central del tercio bajo de la cuenca; los niveles de índices altos entre 8 a 10, se ubican marcadamente en los costados oriental y occidental a lo largo de toda la cuenca y en una franja de dirección noroccidente suroriente que divide el tercio medio y tercio bajo de esta, siendo el área más representativa cubriendo 321.222,54 ha. Datos que se identifican en la Tabla 4.72 y mapa 4.23.

Tabla 4.72. Impacto del índice de geomorfología-paisaje y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

CATEGORÍA POR INDICE GEOMORFOLOGICO	INDICE GEOMORFOLOGICO	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
NULO	1	N		0,00	0,00
EXTRAMADAMENTE BAJO	2	EB		28.979,23	5,29
MUY BAJO	3	MB		83.639,03	15,27
BAJO	4	B		0,00	0,00
BAJO MEDIO	5	BM		0,00	0,00
MEDIO	6	M		3.163,81	0,58
MEDIO ALTO	7	MA		65.087,91	11,89
ALTO	8	A		137.671,68	25,14
MUY ALTO	9	MA		27.836,27	5,08
EXTREMADAMENTE ALTO	10	EA		155.714,60	28,44
Otras Areas				45.491,45	8,31
Total				547.583,96	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.23. Distribución espacial del índice de geomorfología-paisaje, en la Cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación.

4.7.8. Asignación del índice a las categorías de profundidad efectiva siguiendo el método estándar 10-E₁₀. Establecidos los elementos de análisis de la variable de profundidad efectiva, se identificaron 111 unidades cartográficas y 53 unidades pedogenéticas diferenciales, a las cuales se les evaluó los niveles de profundidad efectiva y posteriormente se les asignó el índice del estándar 10, quedando finalmente consignados en 5 categorías de impacto, datos que se identifican en la table 4.73.

Tabla 4.73. Índices del estándar 10-E₁₀ para los parámetros de profundidad efectiva.

UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	SUELOS			PROFUNDIDAD EFECTIVA				
		Perfil No.	%	Símbolo suelo	CLASE	SÍMBOLO	ÍNDICE E ₁₀		
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	CU-152	80	MEAd	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD	6		
				MEAc	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD	6		
		MU-31	80	MEUe	SUPERFICIAL	S	8		
				MEUf	SUPERFICIAL	S	8		
		CU-132	70	MEFe	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD	6		
				MEFg	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD	6		
				MEFep	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD	6		
				MEFf	MODERADAMENTE PROFUNDA	MD	6		
		Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGSg	SUPERFICIAL	S	8
				CU-126	75	MGFf	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
MGFe	MODERADAMENTE PROFUNDA					MP	6		
MGFg	MODERADAMENTE PROFUNDA					MP	6		
MGFfr	MODERADAMENTE PROFUNDA					MP	6		
CC-284	85			MGTd	PROFUNDA	P	4		
				MGTc	PROFUNDA	P	4		
CC-332	80			MGNa	MUY SUPERFICIAL	MS	10		
		MGNb	MUY SUPERFICIAL	MS	10				
Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	SUPERFICIAL	S	8		
				MKcf	SUPERFICIAL	S	8		
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	PROFUNDA	P	4		
				MLJc	PROFUNDA	P	4		
				MLJd	PROFUNDA	P	4		
		CC-94	70	MLSg	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6		
				MLSgr	SUPERFICIAL	S	8		
		CC-307	70	MLVf	SUPERFICIAL	S	8		

			MLVe	SUPERFICIAL	S	8	
			MLVe2	SUPERFICIAL	S	8	
			MLVfr	SUPERFICIAL	S	8	
		AC-69	85	MLTd	PROFUNDA	P	4
				MLTc	PROFUNDA	P	4
		AC-54	85	MLFf	SUPERFICIAL	S	8
		MU-9	75	MLKd	PROFUNDA	P	4
				MLKc	PROFUNDA	P	4
				MLKdp	PROFUNDA	P	4
		CC-226	70	MLCd	PROFUNDA	P	4
				MLCe	PROFUNDA	P	4
				MLCc	PROFUNDA	P	4
		CC-52	75	MLNa	PROFUNDA	P	4
				MLNb	PROFUNDA	P	4
		Frio seco	Montaña estructural erosional	CC-205	80	MMJb	SUPERFICIAL
MMJc	SUPERFICIAL					S	8
AC-16	70			MMSg	MUY SUPERFICIAL	MS	10
AC-40	80			MMVf	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
				MMVe	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
				MMVfr	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
				MMVe3	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
				MMVe2	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
				MMVf2	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
				MMVf3	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
AC-90	75			MMTd	SUPERFICIAL	S	8
				MMTd2	SUPERFICIAL	S	8
CC-174	90			MMKc	PROFUNDA	P	4
				MMKd	PROFUNDA	P	4
CC-230	80			MMCd	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
		MMCe	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6		
		MMCe2	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6		
		MMCd1	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6		
		MMCe2p	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6		
		MMCep	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6		
		MMCc	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6		
		MMCd2	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6		
		MMCe1	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6		

				MMCdp	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
		(en blanco)	(en blanco)	ME			
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
		CU-116	80	MQSg	MUY SUPERFICIAL	MS	10
		PT-466	80	MQVf	SUPERFICIAL	S	8
				MQVe	SUPERFICIAL	S	8
		CU-105	75	MQFf	MUY SUPERFICIAL	MS	10
		G-22	70	MQKd	SUPERFICIAL	S	8
				MQKdp	SUPERFICIAL	S	8
		AC-24	90	MQBe	SUPERFICIAL	S	8
				MQBd	SUPERFICIAL	S	8
		AC-28	70	MQCe	MUY SUPERFICIAL	MS	10
MQCd	MUY SUPERFICIAL			MS	10		
AC-84	80	MQNb	SUPERFICIAL	S	8		
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
		AC-49	65	MVCe	PROFUNDA	P	4
Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
				MWJc	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
		AC-82	80	MWXb	MUY SUPERFICIAL	MS	10
				MWXd	MUY SUPERFICIAL	MS	10
		AC-20	70	MWSg	MUY SUPERFICIAL	MS	10
		AC-58	80	MWVd	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
				MWVe	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
				MWVf	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6
		CU-17	70	MWVf	MUY SUPERFICIAL	MS	10
				MWFe	MUY SUPERFICIAL	MS	10
		AC-74	80	MWKd	SUPERFICIAL	S	8
		CU-12	75	MWBd	SUPERFICIAL	S	8
				MWBdp	SUPERFICIAL	S	8
				MWBbe	SUPERFICIAL	S	8
				MWBep	SUPERFICIAL	S	8
		CU-19	80	MWCc	SUPERFICIAL	S	8
				MWCd	SUPERFICIAL	S	8
MWCe	SUPERFICIAL			S	8		
CU-39	70	MWNa	MUY SUPERFICIAL	MS	10		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	PROFUNDA	P	4
		CU-142	80	RLO1a	SUPERFICIAL	S	8
		AC-19	80	RLOa	SUPERFICIAL	S	8
		AC-8	90	RLQa	PROFUNDA	P	4

			RLQb	PROFUNDA	P	4	
	CT-4a	90	RLQ1a	MODERADAMENTE PROFUNDA	MP	6	
	CT-14a	90	RLQ2a	PROFUNDA	P	4	
Frio Seco	AC-14	80	RMOa	MUY SUPERFICIAL	MS	10	
			RMOb	MUY SUPERFICIAL	MS	10	
	MU-1	70	RMQb	PROFUNDA	P	4	
			RMQa	PROFUNDA	P	4	
	CU-132	90	RMRa	PROFUNDA	P	4	
			RMRb	PROFUNDA	P	4	
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	MUY SUPERFICIAL	MS	10
		CU-44	75	VWQa	SUPERFICIAL	S	8

Fuente: La investigación

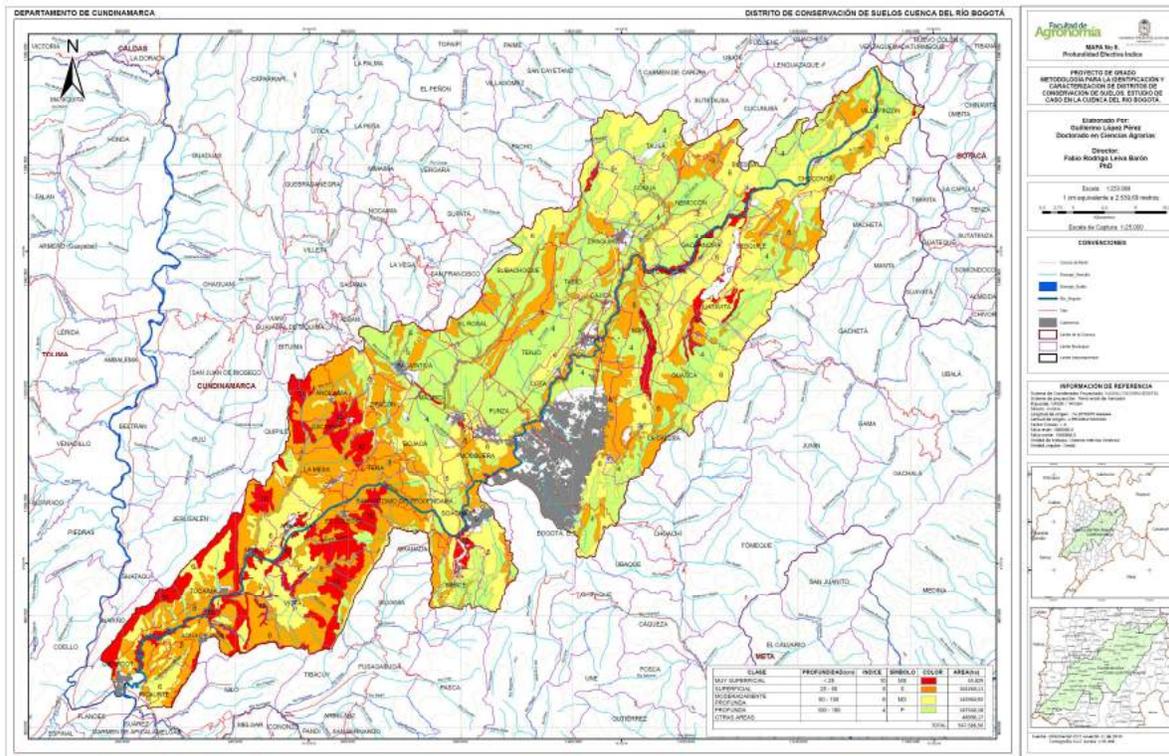
Los resultados especializados de la profundidad efectiva de los suelos, identifican las categorías de impacto bajas (<5) en casi toda los sectores del tercio alto y medio de la cuenca, cubriendo un área representativa de 147.540,18 ha; la categoría de impacto medio (4 a 6) cubre un área de 142.960,62 ha, que se ubican en los costados oriental y occidental en el tercio alto y medio de la cuenca, en tanto en el tercio bajo se ubica en la parte central de esta; la categoría de impacto alto (<7), es decir donde los suelos son poco profundos, cubre la mayor extensión con un área de 208.89,11 ha, se ubica en pequeñas zonas del tercio alto y medio de la cuenca sobre la parte central y costado occidental y en casi toda el área del tercio bajo. Datos que se identifican en la table 4.74 y mapa 4.24.

Tabla 4.74. Impacto del índice de profundidad efectiva y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

CLASE	PROFUNDIDAD(cm)	INDICE P.E	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
MUY SUPERFICIAL	< 25	10	MS		45.829,00	8,37
SUPERFICIAL	25 - 50	8	S		162.260,11	29,63
MODERADAMENTE PROFUNDA	50 - 100	6	MD		142.960,92	26,11
PROFUNDA	100 - 150	4	P		147.540,18	26,94
MUY PROFUNDA	> 150	2	MP		0,00	0,00
CA					4.443,34	0,81
ME					337,73	0,06
PN					172,14	0,03
ZU					44.043,13	8,04
TOTAL					547.586,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.24. Distribución espacial del índice de profundidad efectiva, en la Cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.7.9. Asignación del índice a los parámetros de salinidad siguiendo el método estándar 10-E₁₀. En lo que corresponde a la variable de salinidad, se identificaron 111 unidades cartográficas y 53 unidades pedogenéticas diferenciales, a las cuales se les evaluó los niveles de salinidad y posteriormente se les asignó el índice del estándar 10, quedando finalmente consignados únicamente en 2 categorías de impacto, datos que se identifican en la table 4.75.

Tabla 4.75. Índices del estándar 10-E₁₀ para los parámetros de salinidad.

UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	SUELOS			SALINIDAD		
		Perfil No.	%	Símbolo suelo	CLASE	SÍMBOLO	ÍNDICE E ₁₀
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	CU-152	80	MEAd	NORMAL	NORMAL	0
				MEAc	NORMAL	NORMAL	0
		MU-31	80	MEUe	SÓDICO	Na	7
				MEUf	SÓDICO	Na	7
		CU-132	70	MEFe	NORMAL	NORMAL	0
				MEFg	NORMAL	NORMAL	0

				MEFep	NORMAL	NORMAL	0
				MEFf	NORMAL	NORMAL	0
Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGSg	SÓDICO	Na	7
		CU-126	75	MGFf	NORMAL	NORMAL	0
				MGFe	NORMAL	NORMAL	0
				MGFg	NORMAL	NORMAL	0
				MGFfr	NORMAL	NORMAL	0
				MGFd	NORMAL	NORMAL	0
		CC-284	85	MGTc	NORMAL	NORMAL	0
				MGTd	NORMAL	NORMAL	0
CC-332	80	MGNb	MODERADAMANETE SALINO	S2	4		
		MGNa	MODERADAMANETE SALINO	S2	4		
Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	NORMAL	NORMAL	0
				MKcf	NORMAL	NORMAL	0
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	NORMAL	NORMAL	0
				MLJc	NORMAL	NORMAL	0
				MLJd	NORMAL	NORMAL	0
		CC-94	70	MLSg	NORMAL	NORMAL	0
				MLSgr	NORMAL	NORMAL	0
		CC-307	70	MLVf	NORMAL	NORMAL	0
				MLVe	NORMAL	NORMAL	0
				MLVe2	NORMAL	NORMAL	0
				MLVfr	NORMAL	NORMAL	0
		AC-69	85	MLTd	NORMAL	NORMAL	0
				MLTc	NORMAL	NORMAL	0
		AC-54	85	MLFf	NORMAL	NORMAL	0
		MU-9	75	MLKd	NORMAL	NORMAL	0
				MLKc	NORMAL	NORMAL	0
				MLKdp	NORMAL	NORMAL	0
		CC-226	70	MLCd	NORMAL	NORMAL	0
				MLCe	NORMAL	NORMAL	0
				MLCc	NORMAL	NORMAL	0
		CC-52	75	MLNa	SÓDICO	Na	7
				MLNb	SÓDICO	Na	7
Frío seco	Montaña estructural erosional	CC-205	80	MMJb	NORMAL	NORMAL	0
				MMJc	NORMAL	NORMAL	0
		AC-16	70	MMSg	NORMAL	NORMAL	0
		AC-40	80	MMVf	NORMAL	NORMAL	0
				MMVe	NORMAL	NORMAL	0
				MMVfr	NORMAL	NORMAL	0
				MMVe3	NORMAL	NORMAL	0
MMVe2	NORMAL	NORMAL	0				

				MMVf2	NORMAL	NORMAL	0
				MMVf3	NORMAL	NORMAL	0
		AC-90	75	MMTd	NORMAL	NORMAL	0
				MMTd2	NORMAL	NORMAL	0
		CC-174	90	MMKc	MODERADAMANETE SALINO	S2	4
				MMKd	MODERADAMANETE SALINO	S2	4
		CC-230	80	MMCd	NORMAL	NORMAL	0
				MMCe	NORMAL	NORMAL	0
				MMCe2	NORMAL	NORMAL	0
				MMCd1	NORMAL	NORMAL	0
				MMCe2p	NORMAL	NORMAL	0
				MMCep	NORMAL	NORMAL	0
				MMCc	NORMAL	NORMAL	0
				MMCd2	NORMAL	NORMAL	0
MMCe1	NORMAL			NORMAL	0		
MMCDp	NORMAL			NORMAL	0		
(en blanco)	(en blanco)	ME					
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	NORMAL	NORMAL	0
		CU-116	80	MQSg	NORMAL	NORMAL	0
		PT-466	80	MQVf	NORMAL	NORMAL	0
				MQVe	NORMAL	NORMAL	0
		CU-105	75	MQFf	NORMAL	NORMAL	0
		G-22	70	MQKd	NORMAL	NORMAL	0
				MQKdp	NORMAL	NORMAL	0
		AC-24	90	MQBe	NORMAL	NORMAL	0
				MQBd	NORMAL	NORMAL	0
		AC-28	70	MQCe	NORMAL	NORMAL	0
MQCd	NORMAL			NORMAL	0		
AC-84	80	MQNb	NORMAL	NORMAL	0		
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	NORMAL	NORMAL	0
		AC-49	65	MVCe	SÓDICO	Na	7
Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	NORMAL	NORMAL	0
				MWJc	NORMAL	NORMAL	0
		AC-82	80	MWXb	NORMAL	NORMAL	0
				MWXd	NORMAL	NORMAL	0
		AC-20	70	MWSg	NORMAL	NORMAL	0
		AC-58	80	MWVd	NORMAL	NORMAL	0
				MWVe	NORMAL	NORMAL	0
				MWVf	NORMAL	NORMAL	0
CU-17	70	MWVf	NORMAL	NORMAL	0		

Frio Húmedo	Planicie aluvial			MWFe	NORMAL	NORMAL	0
		AC-74	80	MWKd	NORMAL	NORMAL	0
		CU-12	75	MWBd	NORMAL	NORMAL	0
				MWBdp	NORMAL	NORMAL	0
				MWBe	NORMAL	NORMAL	0
				MWBep	NORMAL	NORMAL	0
		CU-19	80	MWCc	NORMAL	NORMAL	0
				MWCd	NORMAL	NORMAL	0
				MWCe	NORMAL	NORMAL	0
		CU-39	70	MWNa	SÓDICO	Na	7
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	NORMAL	NORMAL	0
		CU-142	80	RLO1a	NORMAL	NORMAL	0
		AC-19	80	RLOa	NORMAL	NORMAL	0
		AC-8	90	RLQa	NORMAL	NORMAL	0
				RLQb	NORMAL	NORMAL	0
		CT-4a	90	RLQ1a	NORMAL	NORMAL	0
		CT-14a	90	RLQ2a	NORMAL	NORMAL	0
Frio Seco	Planicie aluvial	AC-14	80	RMOa	NORMAL	NORMAL	0
				RMOb	NORMAL	NORMAL	0
		MU-1	70	RMQb	MODERADAMANETE SALINO	S2	4
				RMQa	MODERADAMANETE SALINO	S2	4
		CU-132	90	RMRa	NORMAL	NORMAL	0
				RMRb	NORMAL	NORMAL	0
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	NORMAL	NORMAL	0
		CU-44	75	VWQa	NORMAL	NORMAL	0

Fuente: La investigación

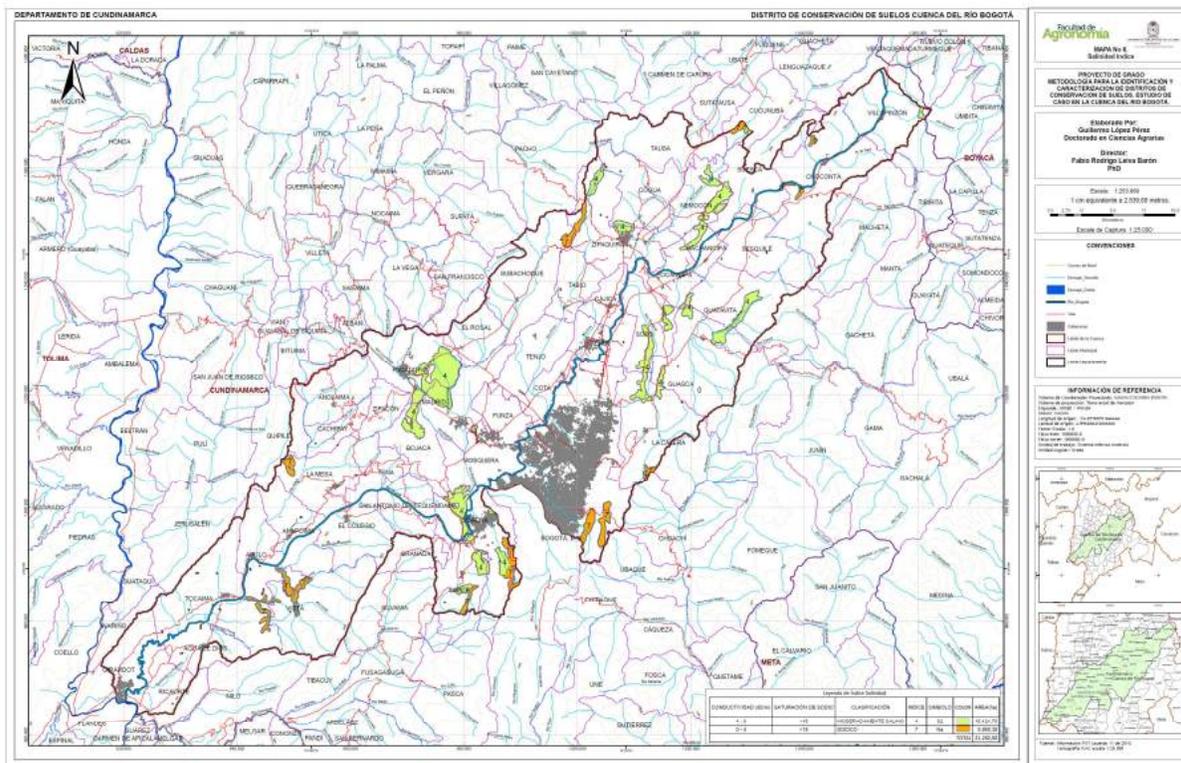
Cuando se identificó espacialmente el impacto de los índices por salinidad en la cuenca, se encontro que realmente al interior de ella, los suelos no están muy afectados por esta condición, en las categorías de impacto bajo del 1 al 5, solo se ubican en algunos sectores muy localizados del tercio medio de la cuenca en su parte central cubriendo un área de 15.421,70 ha; el grado medio 6 y 7 cubren aún un área mas pequeña de tan solo 5.860,30 ha que se ubican muy localizados en el costado oriental del tercio medio y parte central del tercio bajo; los niveles altos no se hacen presents. Datos que se ubican en la table 4.76 y mapa 4.25.

Tabla 4.76. Impacto del índice de salinidad y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

CONDUCTIVIDAD (dS/m)	SATURACIÓN DE SODIO	CLASIFICACIÓN	INDICE SALINIDAD	SIMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
0 - 2	<15	NORMAL	0	NORMAL	[Color Blanco]	0,00	0,00
2-4	<15	LIGERAMENTE SALINO	3	S1	[Color Verde Claro]	0,00	0,00
4-8	<15	MODERADAMENTE SALINO	4	S2	[Color Verde Medio]	15.421,70	2,82
8-16	<15	FUERTEMENTE SALINO	5	S3	[Color Verde Oscuro]	0,00	0,00
>16	<15	MUY FUERTEMENTE SALINO	6	S4	[Color Verde Muy Oscuro]	0,00	0,00
0 - 4	>15	SODICO	7	Na	[Color Naranja Claro]	5.860,30	1,07
4 - 8	>15	SALINO-SODICO NIVEL 1	8	S1Na	[Color Naranja Medio]	0,00	0,00
8-16	>15	SALINO-SODICO NIVEL 2	9	S2Na	[Color Naranja Oscuro]	0,00	0,00
>16	>15	SALINO-SODICO NIVEL 3	10	S3Na	[Color Rojo]	0,00	0,00
SUBTOTAL						21.282,00	3,89
OTRAS AREAS						526.301,56	96,11
TOTAL						547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.25. Distribución espacial del índice de salinidad, en la Cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.7.10. Asignación del índice a las categorías de M.O, siguiendo el método estándar 10-E₁₀. En el análisis de la variable de materia orgánica M.O, se identificaron 111 unidades cartográficas y 53 unidades pedogenéticas diferenciales a las cuales se les evaluó los niveles de materia orgánica y posteriormente se les asignó el índice del estándar 10, quedando finalmente consignados en 5 categorías de impacto, datos que se identifican en la tabla 4.77.

Tabla 4.77. Índices del estándar 10-E₁₀ para los parámetros de materia orgánica.

UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	SUELOS			MATERIA ORGÁNICA		
		Perfil No.	%	Símbolo suelo	CLASE	SÍMBOLO	ÍNDICE E ₁₀
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	CU-152	80	MEAd	MUY ALTA	MA	2
				MEAc	MUY ALTA	MA	2
		MU-31	80	MEUe	MUY ALTA	MA	2
				MEUf	MUY ALTA	MA	2
		CU-132	70	MEFe	MUY ALTA	MA	2
				MEFg	MUY ALTA	MA	2
				MEFep	MUY ALTA	MA	2
MEFf	MUY ALTA			MA	2		
Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGSG	MUY ALTA	MA	2
		CU-126	75	MGFf	MUY ALTA	MA	2
				MGFe	MUY ALTA	MA	2
				MGFg	MUY ALTA	MA	2
				MGFfr	MUY ALTA	MA	2
		CC-284	85	MGTd	MUY ALTA	MA	2
				MGTc	MUY ALTA	MA	2
CC-332	80	MGNa	MUY ALTA	MA	2		
		MGNb	MUY ALTA	MA	2		
Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	MUY ALTA	MA	2
				MKcf	MUY ALTA	MA	2
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	MUY ALTA	MA	2
				MLJc	MUY ALTA	MA	2
				MLJd	MUY ALTA	MA	2
		CC-94	70	MLSg	MEDIA	M	6
				MLSgr	MUY ALTA	MA	2
		CC-307	70	MLVf	MUY ALTA	MA	2
				MLVe	MUY ALTA	MA	2
MLVe2	MUY ALTA			MA	2		
MLVfr	MUY ALTA			MA	2		

		AC-69	85	MLTd	MEDIA	M	6
				MLTc	MEDIA	M	6
		AC-54	85	MLFf	ALTA	A	4
		MU-9	75	MLKd	MUY ALTA	MA	2
				MLKc	MUY ALTA	MA	2
				MLKdp	MUY ALTA	MA	2
		CC-226	70	MLCd	MUY ALTA	MA	2
				MLCe	MUY ALTA	MA	2
				MLCc	MUY ALTA	MA	2
		CC-52	75	MLNa	MUY ALTA	MA	2
MLNb	MUY ALTA			MA	2		
Frio seco	Montaña estructural erosional	CC-205	80	MMJb	MUY ALTA	MA	2
				MMJc	MUY ALTA	MA	2
		AC-16	70	MMSg	BAJA	B	8
		AC-40	80	MMVf	MEDIA	M	6
				MMVe	MEDIA	M	6
				MMVfr	MEDIA	M	6
				MMVe3	MEDIA	M	6
				MMVe2	MEDIA	M	6
				MMVf2	MEDIA	M	6
				MMVf3	MEDIA	M	6
		AC-90	75	MMTd	MUY ALTA	MA	2
				MMTd2	MUY ALTA	MA	2
		CC-174	90	MMKc	MEDIA	M	6
				MMKd	MEDIA	M	6
		CC-230	80	MMCd	ALTA	A	4
				MMCe	ALTA	A	4
				MMCe2	ALTA	A	4
				MMCd1	ALTA	A	4
				MMCe2p	ALTA	A	4
MMCep	ALTA			A	4		
MMCe	ALTA			A	4		
MMCd2	ALTA			A	4		
MMCe1	ALTA			A	4		
MMCdp	ALTA			A	4		
(en blanco)	(en blanco)	ME					
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	MEDIA	M	6
		CU-116	80	MQSg	ALTA	A	4
		PT-466	80	MQVf	ALTA	A	4
				MQVe	ALTA	A	4

		CU-105	75	MQFf	BAJA	B	8
		G-22	70	MQKd	BAJA	B	8
				MQKdp	BAJA	B	8
		AC-24	90	MQBe	BAJA	B	8
				MQBd	BAJA	B	8
		AC-28	70	MQCe	ALTA	A	4
MQCd	ALTA			A	4		
AC-84	80	MQNb	MEDIA	M	6		
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	MEDIA	M	6
		AC-49	65	MVCe	BAJA	B	8
Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	MEDIA	M	6
				MWJc	MEDIA	M	6
		AC-82	80	MWXb	MEDIA	M	6
				MWXd	MEDIA	M	6
		AC-20	70	MWSg	BAJA	B	8
		AC-58	80	MWVd	MEDIA	M	6
				MWVe	MEDIA	M	6
				MWVf	MEDIA	M	6
		CU-17	70	MWFF	MUY ALTA	MA	2
				MWFe	MUY ALTA	MA	2
		AC-74	80	MWKd	MUY ALTA	MA	2
		CU-12	75	MWBd	DEFICIENTE	D	10
				MWBdp	DEFICIENTE	D	10
				MWBc	DEFICIENTE	D	10
MWBcp	DEFICIENTE			D	10		
CU-19	80	MWCc	MUY ALTA	MA	2		
		MWCd	MUY ALTA	MA	2		
		MWCe	MUY ALTA	MA	2		
CU-39	70	MWNa	DEFICIENTE	D	10		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	ALTA	A	4
		CU-142	80	RLO1a	MUY ALTA	MA	2
		AC-19	80	RLOa	ALTA	A	4
		AC-8	90	RLQa	MUY ALTA	MA	2
				RLQb	MUY ALTA	MA	2
		CT-4a	90	RLQ1a	MUY ALTA	MA	2
CT-14a	90	RLQ2a	MUY ALTA	MA	2		
Frio Seco	Planicie aluvial	AC-14	80	RMOa	MUY ALTA	MA	2
				RMOb	MUY ALTA	MA	2
		MU-1	70	RMQb	MUY ALTA	MA	2
				RMQa	MUY ALTA	MA	2
CU-132	90	RMRa	MUY ALTA	MA	2		

				RMRb	MUY ALTA	MA	2
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	BAJA	B	8
		CU-44	75	VWQa	BAJA	B	8

Fuente: La investigación

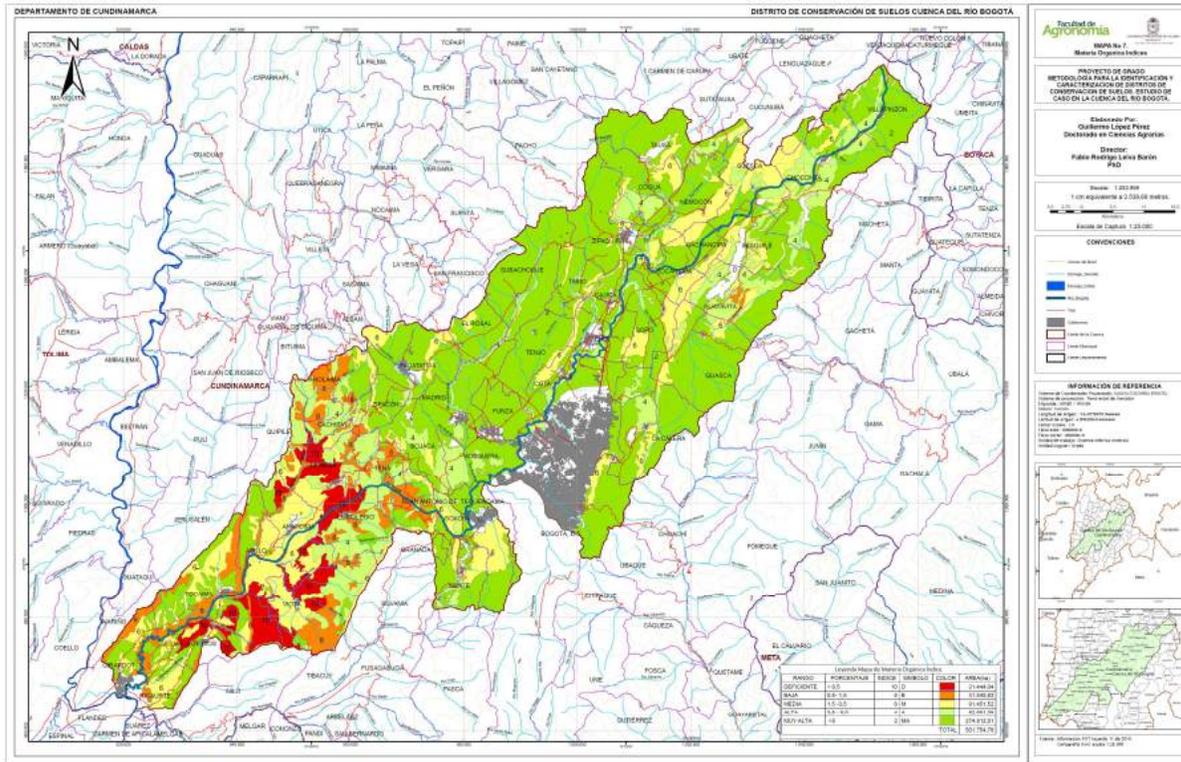
La espacialización de los índices de la materia orgánica de los suelos de la cuenca, identifican los niveles mas bajos inferiores a 5 en los tercios alto y medio en toda su área, cubriendo un área significativa de 357.313,40 ha; los niveles de índices medios en relación con la M.O, de los suelos alcanzan las 91.451,52 ha ubicadas en la parte alta y algunos sectores del costado oriental y occidental del tercio bajo de la cuenca; los niveles de índices altos, es decir los suelos con menos contenidos de materia orgánica que van del 8 a 10, se ubican en su totalidad en el tercio bajo de la cuenca en los sectores central y suroccidental de esta. Los datos espaciales se identifican en la tabla 4.78 y mapa 4.26.

Tabla 4.78. Impacto del índice de materia orgánica y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

RANGO	PORCENTAJE	INDICE M. O.	SIMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
DEFICIENTE	< 0,5	10	D		21.444,04	3,92
BAJA	0,5- 1,5	8	B		31.545,83	5,76
MEDIA	1,5 -3,5	6	M		91.451,52	16,70
ALTA	3,5 - 5,0	4	A		82.501,39	15,07
MUY ALTA	>5	2	MA		274.812,01	50,19
CUERPOS DE AGUA					4.443,34	0,81
MISCELÁNEO EROSIONAL					337,73	0,06
PN					172,14	0,03
ZONA URBANA					40.875,96	7,46
TOTAL					547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.26. Distribución espacial del índice de materia orgánica, en la Cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.7.11. Asignación del índice a las categorías de fertilidad siguiendo el método estándar 10-E10. Una vez estructurada la variable de fertilidad, se identificaron 111 unidades cartográficas y 53 unidades pedogenéticas diferenciales a las cuales se les evaluó los niveles de fertilidad y posteriormente se les asignó el índice del estándar 10, quedando finalmente consignados en 5 categorías de impacto, datos que se identifican en la tabla 4.79.

Tabla 4.79. Índices del estándar 10-E10 para los parámetros de fertilidad.

UNIDAD CLIMÁTICA	GRAN PAISAJE	SUELOS			FERTILIDAD		
		Perfil No.	%	Símbolo suelo	SÍMBOLO	CLASE	ÍNDICE E10
Extremadamente frío húmedo	Montaña estructural erosional	CU-152	80	MEAd	M	MEDIA	5
				MEAc	M	MEDIA	5
		MU-31	80	MEUe	B	BAJA	7
				MEUf	B	BAJA	7
		CU-132	70	MEFe	B	BAJA	7

				MEFg	B	BAJA	7
				MEFep	B	BAJA	7
				MEFf	B	BAJA	7
Muy frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	CU-107	80	MGSg	B	BAJA	7
		CU-126	75	MGFf	B	BAJA	7
				MGFe	B	BAJA	7
				MGFg	B	BAJA	7
				MGFfr	B	BAJA	7
		CC-284	85	MGTd	M	MEDIA	5
				MGTc	M	MEDIA	5
		CC-332	80	MGNa	M	MEDIA	5
MGNb	M			MEDIA	5		
Frío muy húmedo	Montaña estructural erosional	AC-34	85	MKCe	M	MEDIA	5
				MKCf	M	MEDIA	5
Frío húmedo	Montaña estructural erosional	MU-8	70	MLJb	M	MEDIA	5
				MLJc	M	MEDIA	5
				MLJd	M	MEDIA	5
		CC-94	70	MLSg	A	ALTA	3
				MLSgr	A	ALTA	3
		CC-307	70	MLVf	A	ALTA	3
				MLVe	A	ALTA	3
				MLVe2	A	ALTA	3
				MLVfr	A	ALTA	3
		AC-69	85	MLTd	B	BAJA	7
				MLTc	B	BAJA	7
		AC-54	85	MLFf	B	BAJA	7
		MU-9	75	MLKd	M	MEDIA	5
				MLKc	M	MEDIA	5
				MLKdp	M	MEDIA	5
		CC-226	70	MLCd	B	BAJA	7
				MLCe	B	BAJA	7
				MLCe	B	BAJA	7
CC-52	75	MLNa	M	MEDIA	5		
		MLNb	M	MEDIA	5		
Frío seco	Montaña estructural erosional	CC-205	80	MMJb	B	BAJA	7
				MMJc	B	BAJA	7
		AC-16	70	MMSg	B	BAJA	7
		AC-40	80	MMVf	M	MEDIA	5
				MMVe	M	MEDIA	5
				MMVfr	M	MEDIA	5
MMVe3	M			MEDIA	5		

			MMVe2	M	MEDIA	5	
			MMVf2	M	MEDIA	5	
			MMVf3	M	MEDIA	5	
		AC-90	75	MMTd	A	ALTA	3
				MMTd2	A	ALTA	3
		CC-174	90	MMKc	M	MEDIA	5
				MMKd	M	MEDIA	5
		CC-230	80	MMCd	B	BAJA	7
				MMCe	B	BAJA	7
				MMCe2	B	BAJA	7
				MMCd1	B	BAJA	7
				MMCe2p	B	BAJA	7
				MMCep	B	BAJA	7
				MMCc	B	BAJA	7
MMCd2	B			BAJA	7		
MMCe1	B			BAJA	7		
MMCdP	B	BAJA	7				
(en blanco)	(en blanco)	ME					
Medio húmedo	Montaña estructural erosional	CU-138	75	MQXb	MB	MUY BAJA	10
		CU-116	80	MQSg	M	MEDIA	5
		PT-466	80	MQVf	M	MEDIA	5
				MQVe	M	MEDIA	5
		CU-105	75	MQFf	MB	MUY BAJA	10
		G-22	70	MQKd	M	MEDIA	5
				MQKdp	M	MEDIA	5
		AC-24	90	MQBe	A	ALTA	3
				MQBd	A	ALTA	3
AC-28	70	MQCe	M	MEDIA	5		
		MQCd	M	MEDIA	5		
AC-84	80	MQNb	M	MEDIA	5		
Cálido húmedo	Montaña estructural erosional	AC-62	75	MVKd	B	BAJA	7
		AC-49	65	MVCe	MB	MUY BAJA	10
Cálido seco	Montaña estructural erosional	AC-76	80	MWJb	A	ALTA	3
				MWJc	A	ALTA	3
		AC-82	80	MWXb	A	ALTA	3
				MWXd	A	ALTA	3
		AC-20	70	MWSg	A	ALTA	3
		AC-58	80	MWVd	M	MEDIA	5
MWVe	M			MEDIA	5		
MWVf	M			MEDIA	5		

		CU-17	70	MWff	A	ALTA	3
				MWfe	A	ALTA	3
		AC-74	80	MWKd	MA	MUY ALTA	2
		CU-12	75	MWBd	M	MEDIA	5
				MWBdp	M	MEDIA	5
				MWBe	M	MEDIA	5
				MWBep	M	MEDIA	5
		CU-19	80	MWCc	A	ALTA	3
				MWCd	A	ALTA	3
				MWce	A	ALTA	3
CU-39	70	MWNa	B	BAJA	7		
Frio Húmedo	Planicie aluvial	CT-2b	80	RLO2a	M	MEDIA	5
		CU-142	80	RLO1a	A	ALTA	3
		AC-19	80	RLOa	M	MEDIA	5
		AC-8	90	RLQa	M	MEDIA	5
				RLQb	M	MEDIA	5
		CT-4a	90	RLQ1a	A	ALTA	3
CT-14a	90	RLQ2a	A	ALTA	3		
Frio Seco	Planicie aluvial	AC-14	80	RMOa	A	ALTA	3
				RMOb	A	ALTA	3
		MU-1	70	RMQb	M	MEDIA	5
				RMQa	M	MEDIA	5
		CU-132	90	RMRa	M	MEDIA	5
RMRb	M			MEDIA	5		
Cálido seco	Valle aluvial	CU-46	75	VWOa	A	ALTA	3
		CU-44	75	VWQa	M	MEDIA	5

Fuente: La investigación

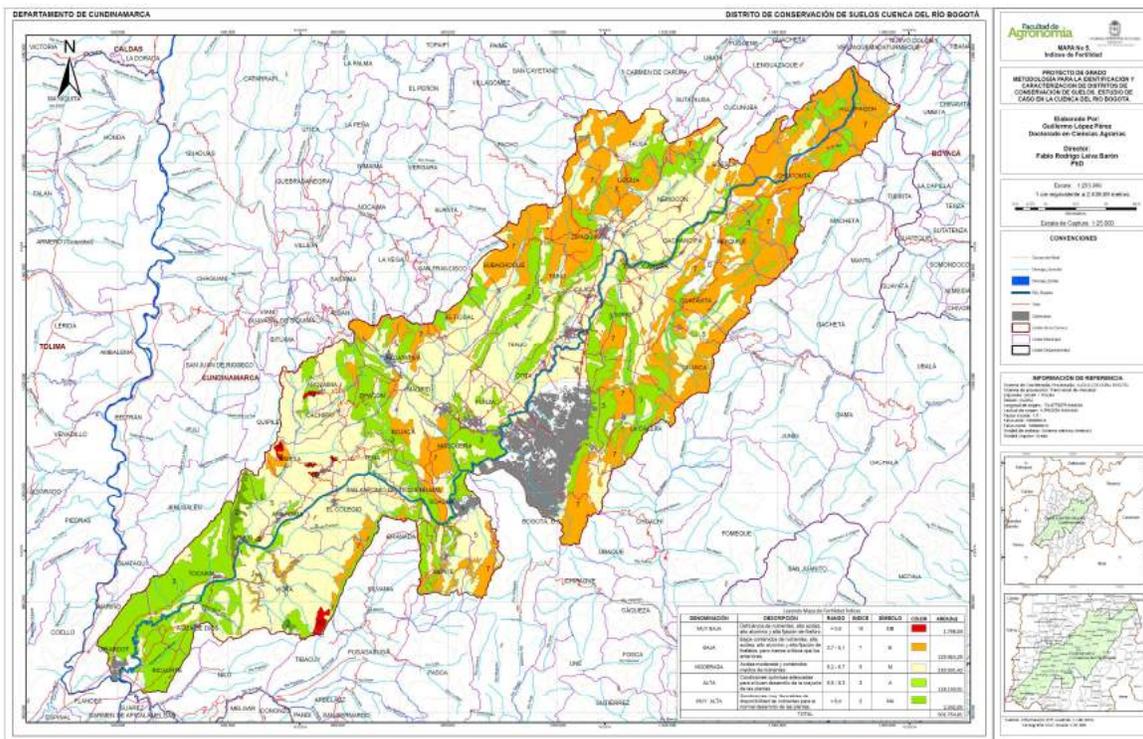
Los análisis de la variable de fertilidad de los suelos por índices, muestran que los niveles de impacto bajos que van de 1 a 5, cubren 369.993,48 ha que equivalen a más del 67% del área total de la cuenca, se ubican a lo largo y ancho de esta, principalmente en el tercio medio y bajo; en lo que corresponde a los niveles medios 6 y 7, se ubican principalmente en el tercio alto de la cuenca sobre las laderas los costados oriental y occidental, también en las laderas del tercio medio, alcanzando un área de 129.963,29 ha; los niveles altos del 8 al 10 donde los suelos presentan fertilidad baja y muy baja, ocupan un área muy pequeña cubriendo apenas 1.798,04 ha y se encuentran atomizados en el tercio bajo de la cuenca, sectores oriental y occidental. Ver table 4.80 y mapa 4.27.

Tabla 4.80. Impacto del índice de fertilidad y su distribución por áreas en la Cuenca del río Bogotá.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	RANGO	INDICE FERTILIDAD	SÍMBOLO	COLOR	AREA(ha)	(%)
MUY BAJA	Deficiencia de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fósforo	≤ 3,6	10	MB		1.798,04	0,33
BAJA	Bajos contenidos de nutrientes, alta acidez, alto aluminio y alta fijación de fosfatos, pero menos críticos que los anteriores	3,7 - 5,1	7	B		129.963,29	23,73
MODERADA	Acidez moderada y contenidos medios de nutrientes	5,2 - 6,7	5	M		239.501,42	43,74
ALTA	Condiciones químicas adecuadas para el buen desarrollo de la mayoría de las plantas	6,8 - 8,3	3	A		128.150,01	23,40
MUY ALTA	Condiciones muy favorables de disponibilidad de nutrientes para el normal desarrollo de las plantas.	≥ 8,4	2	MA		2.342,05	0,43
				ME		337,73	0,06
				CA		4.443,34	0,81
				PN		172,14	0,03
				ZU		40.875,96	7,46
TOTAL						547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.27. Distribución espacial del índice de fertilidad, en la Cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

4.8. Análisis categórico de datos y definición final de áreas como distritos de conservación de suelos, en la cuenca del río Bogotá

Una vez asignados los índices a cada una de las categorías por indicador de interés, se procedió a analizarlos integralmente según sus niveles de impacto, desde el punto de vista estadístico y espacial, dicho análisis, dio como resultado las áreas categorizadas como distritos de conservación de suelos-DCS.

4.8.1. Interacciones categóricas de los indicadores utilizados en el modelo, aplicables a la cuenca. Como resultado de la etapa diagnóstica o de caracterización de cada uno de los indicadores, y la estandarización de las categorías de cada uno de ellos bajo el método del E₁₀, se obtuvo la base de datos para ser analizada y cruzada integralmente por las técnicas estadísticas y cartográficas-SIG, que finalmente permitieron definir áreas como DCS.

Los 11 indicadores analizados generaron 101 niveles básicos en la etapa diagnóstica, que luego de ser estandarizados bajo el E₁₀, se recategorizaron en 58 niveles, que son los que interactúan entre sí, para mirar el impacto integral de ellos sobre el suelo de la cuenca. Los resultados muestran que el indicador de zona climática se le identificaron siete 7 niveles, esto indica que el clima de la cuenca es diverso; le siguen en su orden la pendiente, compactación y usos y coberturas del suelo con 6 niveles; con 5 niveles se identificaron los indicadores de fertilidad, MO, profundidad efectiva y erosión; finalmente los indicadores de aridez y salinidad, con 4 y 2 niveles respectivamente. Esto muestra el actuar de los indicadores en los suelos de la cuenca, que son muy variados. Datos que se muestran en la tabla 4.81.

Tabla 4.81. Número de niveles categóricos básicos de los indicadores presentes en la cuenca del río Bogotá.

ORDEN	INDICADOR	NIVEL CATEGÓRICO BÁSICO	No. NIVELES DEL ESTÁNDAR 10 – E ₁₀	SÍMBOLO
1	ZONA CLIMÁTICA	13	7	CL
2	ÍNDICE ARIDEZ	4	4	A
3	GEOMORFOLOGÍA - PAISAJE	18	7	G
4	PENDIENTE	7	6	P
5	FERTILIDAD	5	5	F
6	SALINIDAD	3	2	S
7	M.O	5	5	MO
8	PROFUNDIDAD EFECTIVA	5	5	PE
9	COMPACTACIÓN	6	6	C
10	EROSIÓN	5	5	E
11	COBERTURAS Y USOS DEL SUELO	30	6	U
TOTAL		101	58	

Fuente: La investigación

4.8.2. Organización de las variables por niveles de impacto dentro del estándar 10-E₁₀. Una vez se tienen los indicadores categorizados bajo el estándar 10, se organizan por niveles de importancia e impacto; se aclara que por su nivel de importancia en el grupo 1 están las variables de (Pendiente, usos y coberturas del suelo, erosión, aridez, compactación), en el grupo 2 están las variables de (clima, geomorfología, profundidad efectiva), en el grupo 3 están las variables de (salinidad y materia orgánica) y finalmente en el grupo 4 está solamente la variable de fertilidad. En ese orden se organizan los indicadores en el análisis e interacción, figura 4.4.

Figura 4.4. Esquema de agrupación de las variables cualitativas por niveles importancia, en la cuenca del río Bogotá.

NIVEL	VARIABLE O INDICADOR				
1	PENDIENTE	USOS Y COBERTURAS DEL SUELO	EROSIÓN	ARIDEZ	COMPACTACIÓN
2	ZONA CLIMÁTICA	GEOMORFOLOGÍA	PROF. EFECTIVA		
3	SALINIDAD	M.O			
4	FERTILIDAD				

Fuente: La investigación

4.8.3. Análisis estadístico de datos. Luego de organizar las variables por los niveles de importancia, se identifican el número de categorías del estándar 10 presentes en cada una de ellas, los datos muestran que en la variable de pendiente, según la calificación del estándar 10, se ubican 6 de los 10 niveles posibles, específicamente en los niveles 2, 4, 5, 7, 8, y 10; para la variable de usos y coberturas del suelo se ubican en 6 de los 10 niveles posibles específicamente 2,3,4,5,6,y 7; así sucesivamente para las demás variables. Al interior de la cuenca se identificó que la mayor parte de las variables tienen calificaciones de impactos menores de 5, en menor proporción entre las escalas 6 a 8 y en mucho menor en las categorías 9 y 10, datos que se identifican en las tablas 4.82 y 4.83.

Tabla 4.82. Niveles de impacto del estándar 10-E₁₀ en cada variable en la cuenca del río Bogotá.

INDICADOR	NIVEL DE IMPACTO POR ESTÁNDAR 10-E ₁₀									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PENDIENTE		X		X	X		X	X		X
USOS Y COBERTURAS DEL SUELOS		X	X	X	X	X	X			
EROSION ACTUAL		X		X		X		X		X
EROSION POTENCIAL		X		X		X		X		X
ÍNDICE ARIDEZ			X		X		X			X
COMPACTACIÓN		X		X	X	X	X	X		
ZONA CLIMATICA		X		X	X		X	X	X	X
GEOMORFOLOGÍA - PAISAJE		X	X			X	X	X	X	X
PROFUNDIDAD EFECTIVA		X		X		X		X		X
SALINIDAD				X			X			
M.O		X		X		X		X		X
FERTILIDAD		X	X		X		X			X

Fuente: La investigación

Tabla 4.83. Número de categorías por niveles dentro del estándar 10-E₁₀ de cada variable.

ORDEN	INDICADOR	No. NIVELES DEL ESTÁNDAR 10	SÍMBOLO
1	PENDIENTE	6	P
2	USOS Y COBERTURAS DEL SUELOS	6	U
3	EROSION	5	E
4	ÍNDICE ARIDEZ	4	A
5	COMPACTACIÓN	6	C
6	ZONA CLIMATICA	7	CL
7	GEOMORFOLOGÍA - PAISAJE	7	G
8	PROFUNDIDAD EFECTIVA	5	PE
9	SALINIDAD	2	S
10	M.O	5	MO
11	FERTILIDAD	5	F

Fuente: La investigación

- **Probables combinaciones.** Para definir las potenciales combinaciones estadísticas de las diferentes variables y sus categorías calificadas por el estándar 10, se aplicó el un modelo probalístico el cual se describe a continuación.

$$\text{PDCS} = f (P,U,E,A,C,CL,G,PE,S,MO,F)$$

Donde:

PDCS = Probabilidad de combinaciones de las variables para identifica Distritos der Conservación de Suelos.

f = es una función de:

P = Pendiente.

U = Usos y coberturas del suelos.

E = Erosion.

A = Índice aridez.

C = Compactación.

CL= Zona climática.

G = Geomorfología - paisaje o subambiente.

PE = Profundidad efectiva.

S = Salinidad.

MO = Materia Organica.

F = Fertilidad.

Con base en esta condición, se determina la probabilidad de posibles combinaciones entre variables, que pueden impactar un área de suelos en la ceunca, para finalmente definirla como un distrito de conservación de suelos.

Dicha probabilidad se determina mediante la siguiente relación:

$$\text{PDCS} = (P*U*E*A*C*CL*G*PE*S*MO*F)$$

PDCS= Probabilidad de combinaciones de las variables para identifica Distritos der Conservación de Suelos.

$$PDCS = \sum P(6) * U(6) * E(5) * A(4) * C(6) * CL(7) * G(5) * PE(5) * S(2) * MO(5) * F(5)$$

$$PDCS = 6*6*5*4*6*7*7*5*2*5*5 = 52'920.000$$

Las posibles combinaciones de polígonos que se pueden presentar en la cuenca, probabilísticamente llegan a 52'920.000, esto es una cifra demasiado grande que amerita un análisis de datos que conduzca a identificar adecuadamente cuales de los polígonos pueden o no, entrar a formar parte los denominados distritos de conservación de suelos.

Ellas se realizan acordes con la siguiente estructura:

- PDCS1 = P (plana)+ U (bosque denso bajo de tierra firme)+E (no apreciable)+A (húmedo)+C (extremadamente baja)+CL (cálido húmedo)+G (plano de inundación)+ PE (muy profunda)+S (normal)+MO (muy alta) + F (muy alta).
- PDCS2 = P (levemente inclinada)+ U (bosque denso bajo de tierra firme)+E (no apreciable)+A (húmedo)+C (extremadamente baja)+CL (cálido húmedo)+G (plano de inundación)+ PE (muy profunda)+S (normal)+MO (muy alta) + F (muy alta).
- PDCS3 = P (inclinada)+ U (bosque denso bajo de tierra firme)+E (no apreciable)+A (húmedo)+C (extremadamente baja)+CL (cálido húmedo)+G (plano de inundación)+ PE (muy profunda)+S (normal)+MO (muy alta) + F (muy alta).
- PDCS3 = P (moderadamente quebrada)+ U (bosque denso bajo de tierra firme)+E (no apreciable)+A (húmedo)+C (extremadamente baja)+CL (cálido húmedo)+G (plano de inundación)+ PE (muy profunda)+S (normal)+MO (muy alta) + F (muy alta).

- PDCS3 = P (ligeramente escarpada)+ U (bosque denso bajo de tierra firme)+E (no apreciable)+A (húmedo)+C (extremadamente baja)+CL (cálido húmedo)+G (plano de inundación)+ PE (muy profunda)+S (normal)+MO (muy alta) + F (muy alta).
- PDCS6 = P (muy escarpada)+ U (bosque denso bajo de tierra firme)+E (no apreciable)+A (húmedo)+C (extremadamente baja)+CL (cálido húmedo)+G (plano de inundación)+ PE (muy profunda)+S (normal)+MO (muy alta) + F (muy alta).

Así sucesivamente se hacen todas las posibles combinaciones, hasta llegar a las probabilidades estimadas en la cuenca que ascienden a 52'920.000. Para ellos se hizo uso de un hardware y software especializado.

- **Evaluación múltiple de indicadores.** Para realizar el análisis de todas estas combinaciones, se utilizaron las técnicas estadísticas denominadas monte carlo, las cuales determinan si el índice final de las sumas de las categorías de los indicadores, es bajo, medio o alto. La expresión estadística utilizada, que determina el índice compuesto ya calificado de cada una de las combinaciones es la siguiente:

$$IDCS = \sum_{i=1}^{11} P_i/X_i$$

IDCS= Índice de Distrito de Conservación de Suelos

Pi= Valor asignado a la variable o indicador, dado por el índice del estándar 10 – E10.

Xi= Coeficiente de transformación del indicador cuyo valor constante es de 10.

Cada una de las posibles combinaciones es calificada, pero dada la magnitud de datos, estos se analizaron con un programa o manejador de base de datos denominado PostgreSQL, que permitió determinar los escenarios con riesgo bajo, medio o alto, de cada combinación y determinar si pueden ser catalogadas como distrito de conservación de suelos.

De acuerdo a su nivel de importancia, se sensibilizó cada variable y asignó un grado de influencia o nivel de impacto, que indica las condiciones en que se encuentra una determinada área de suelo en la cuenca, datos que se obtuvieron de los resultados del diagnóstico en el momento de su caracterización. Los niveles de impacto van desde Bajo, Medio, Alto o Muy Alto, es progresivo en cada caso, es decir a mayor índice, mayor nivel de impacto, a medida que el impacto del indicador crece en número y categoría, el suelo se ve más limitado para cumplir las funciones, datos que se identifican en la tabla 4.84.

Tabla 4.84. Identificación de los niveles de impacto por cada indicador, en la identificación de los DCS.

No	INDICADOR	IMPACTO									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	PENDIENTE	B	B	B	B	B	M	M	M	A	MA
2	USOS Y COBERTURAS DEL SUELOS	B	B	B	M	M	A	A	A	MA	MA
3	EROSION	B	B	B	M	M	M	A	MA	MA	MA
4	ARIDEZ	B	B	B	B	M	M	M	A	MA	MA
5	COMPACTACIÓN	B	B	B	M	M	A	A	A	MA	MA
6	CLIMA	B	B	B	B	B	M	M	A	MA	MA
7	GEOMORFOLOGÍA	B	B	B	M	M	M	M	A	A	MA
8	PROFUNDIDAD EFECTIVA	B	B	B	B	M	M	M	A	MA	MA
9	SALINIDAD	B	B	B	M	M	M	A	A	MA	MA
10	MO	B	B	B	B	M	M	M	A	MA	MA
11	FERTILIDAD	B	B	B	B	M	M	M	A	A	MA

Fuente: La investigación

La valoración de cada uno de las posibles combinaciones al interior de la cuenca, se analizan con base en la formulación antes expuesta, que se expresa a manera de ejemplo de la siguiente manera:

IDCS=P (inclinada)+U (mosaicode cultivos)+E (severa)+A (semiárido)+C (moderada)+CL (frío seco)+G (glacis)+ PE (superficial)+S (sódico)+MO (media) + F (baja).

IDCS= [(5/10)+(6/10)+(8/10)+(7/10)+(6/10)+(7/10)+(7/10)+(8/10)+(7/10)+(6/10)+(7/10)] .

IDCS= [.0.5+0.6+0.8+0.7+0.6+0.7+0.7+0.8+0.7+0.6+0.7]

IDCS= 7.4 ALTO.

Así sucesivamente, para todas las combinaciones que se presentan en la cuenca. Los indicadores se calificaron en función de los niveles de importancia e impacto, las cuales se organizan por cada

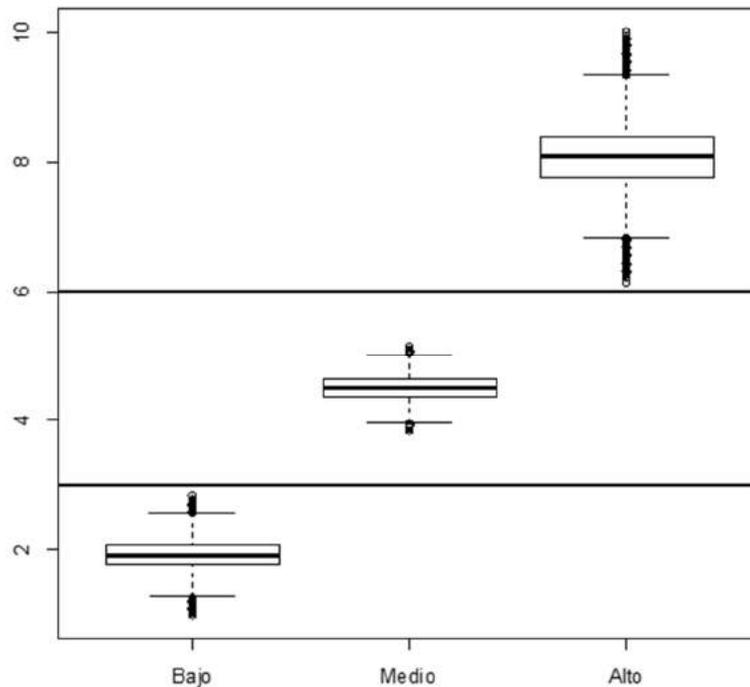
objeto, como se muestra a manera de ejemplo en la tabla 4.85, en ella se registra la estructura de salida de los análisis de datos manejados en el PostgreSQL, que finalmente definió el índice compuesto calificado; posteriormente estos datos se estructuraron espacialmente mediante SIG, en ArcGIS 10.4, para mostrar sus resultados en mapas a escala. Los niveles de cada combinación, se califican según su categoría de impacto: alto, medio o bajo, como se indica en la gráfica 4.23, para finalmente decidir si el área de intersección se declara como DCS.

Tabla 4.85. Modelo de resultado de evaluación de las interacciones entre los niveles de las variables, para definir DCS.

GRUPO	GRUPO 1						SUBTOTAL	GRUPO 2				GRUPO 3			GRUPO 4		SUMA CRUCES	IDCS
	OBJETO	PENDIENTE	COBERTURA V	EROSION ACTUAL	ARIDEZ	COMPACTACION		ZONA CLIMÁTICA	GEOMORFOLOGIA	PROF EFECTIVA	SUBTOTAL	SALINIDAD	MATERIA ORGÁNICA	SUBTOTAL	FERTILIDAD	SUBTOTAL		
1	0,20	0,20	0,20	0,00	0,20	0,80	0,20	0,20	0,20	0,60	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	2,00	BAJO	
2	0,20	0,30	0,00	0,30	0,00	0,80	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	1,40	BAJO	
3	0,20	0,30	0,30	0,00	0,40	1,20	0,40	0,00	0,40	0,80	0,40	0,40	0,80	0,00	0,00	2,80	BAJO	
4	0,20	0,40	0,40	0,30	0,40	1,70	0,40	0,30	0,40	1,10	0,40	0,40	0,80	0,30	0,30	3,90	MEDIO	
5	0,40	0,20	0,20	0,00	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,60	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	2,20	BAJO	
6	0,40	0,30	0,00	0,30	0,00	1,00	0,00	0,30	0,20	0,50	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	1,80	BAJO	
7	0,40	0,40	0,40	0,50	0,40	2,10	0,40	0,60	0,60	1,60	0,40	0,40	0,80	0,50	0,50	5,00	MEDIO	
8	0,50	0,40	0,40	0,50	0,40	2,20	0,40	0,60	0,60	1,60	0,40	0,40	0,80	0,50	0,50	5,10	MEDIO	
9	0,50	0,50	0,60	0,80	0,70	3,10	0,70	0,60	0,60	1,90	0,40	0,40	0,80	0,50	0,50	6,30	MEDIO	
10	0,50	0,20	0,20	0,00	0,20	1,10	0,20	0,20	0,20	0,60	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	2,30	BAJO	
11	0,50	0,40	0,40	0,30	0,40	2,00	0,40	0,30	0,40	1,10	0,40	0,40	0,80	0,30	0,30	4,20	MEDIO	
12	0,50	0,20	0,30	0,40	0,40	1,80	0,40	0,40	0,40	1,20	0,40	0,40	0,80	0,40	0,40	4,20	MEDIO	
13	0,50	0,20	0,20	0,20	0,30	1,40	0,40	0,30	0,40	1,10	0,40	0,30	0,70	0,20	0,20	3,40	MEDIO	
14	0,70	0,00	0,00	0,00	0,20	0,90	0,20	0,20	0,20	0,60	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	2,10	BAJO	
15	0,70	0,40	0,40	0,30	0,40	2,20	0,40	0,00	0,40	0,80	0,40	0,40	0,80	0,30	0,30	4,10	MEDIO	
16	0,70	0,30	0,00	0,30	0,00	1,30	0,00	0,30	0,20	0,50	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	2,10	BAJO	
17	0,70	0,50	0,60	0,80	0,70	3,30	0,70	0,60	0,60	1,90	0,40	0,40	0,80	0,50	0,50	6,50	MEDIO	
18	0,80	0,20	0,20	0,00	0,20	1,40	0,20	0,20	0,20	0,60	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	2,60	BAJO	
19	0,80	0,40	0,40	0,30	0,40	2,30	0,40	0,30	0,40	1,10	0,40	0,40	0,80	0,30	0,30	4,50	MEDIO	
20	0,80	0,40	0,40	0,50	0,40	2,50	0,40	0,60	0,60	1,60	0,40	0,40	0,80	0,50	0,50	5,40	MEDIO	
21	0,80	0,50	0,60	0,80	0,70	3,40	0,70	0,60	0,60	1,90	0,40	0,40	0,80	0,50	0,50	6,60	MEDIO	
22	0,80	0,70	0,80	0,70	0,70	3,70	0,70	0,70	0,80	2,20	0,70	0,80	1,50	0,70	0,70	8,10	ALTO	
23	1,00	0,20	0,20	0,00	0,20	1,60	0,20	0,20	0,20	0,60	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	2,80	BAJO	
24	1,00	0,30	0,30	0,00	0,40	2,00	0,40	0,00	0,40	0,80	0,40	0,40	0,80	0,00	0,00	3,60	MEDIO	
25	1,00	0,50	0,60	0,80	0,70	3,60	0,70	0,60	0,60	1,90	0,40	0,40	0,80	0,50	0,50	6,80	ALTO	
26	1,00	0,70	0,80	0,70	0,70	3,90	0,70	0,90	0,90	2,50	0,70	0,80	1,50	0,70	0,70	8,60	ALTO	
27	0,40	0,70	0,80	0,70	0,70	3,30	0,70	0,90	0,90	2,50	0,70	0,80	1,50	0,70	0,70	8,00	ALTO	
28	0,70	0,70	0,80	0,70	1,00	3,90	0,80	0,80	0,90	2,50	0,70	0,80	1,50	0,70	0,70	8,60	ALTO	
29	1,00	0,70	0,80	0,70	1,00	4,20	0,80	0,80	0,90	2,50	0,70	0,80	1,50	0,70	0,70	8,90	ALTO	
30	1,00	0,70	1,00	0,70	0,80	4,20	1,00	1,00	1,00	3,00	0,70	1,00	1,70	1,00	1,00	9,90	ALTO	
31	1,00	0,70	1,00	0,00	0,20	2,90	0,20	0,20	0,20	0,60	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	4,10	BAJO	
.																		
.																		
.																		
.																		
52'920.000																		

Fuente: La investigación

Gráfica 4.23. Niveles categóricos de identificación de distritos de conservación de suelos.



Fuente: La investigación

4.8.4. Análisis de datos cartográficos. Para el análisis cartográfico se tomo como base los resultados de los datos estadísticos, los cuales se montaron en un SIG, y con el programa ArcGIS- 10.4, se analizaron bajo los siguientes criterios:

Se construyó la base de datos SIG, se analizaron los datos espaciales múltiples de los 11 indicadores, se expresó el resultado final en un mapa total de la interacción de indicadores, definiendo áreas por impacto bajo, medio y alto, siguiendo el modelo integrado del sistema de información cartográfica. Para este análisis final, se procedió a hacer una depuración de datos sacando los niveles de cada variable que según el estándar 10 califican como bajos y medios, a pesar de que el suelo presenta algún grado de impacto, estos aún no se consideran críticos para ser evaluados como distritos de conservación de suelos.

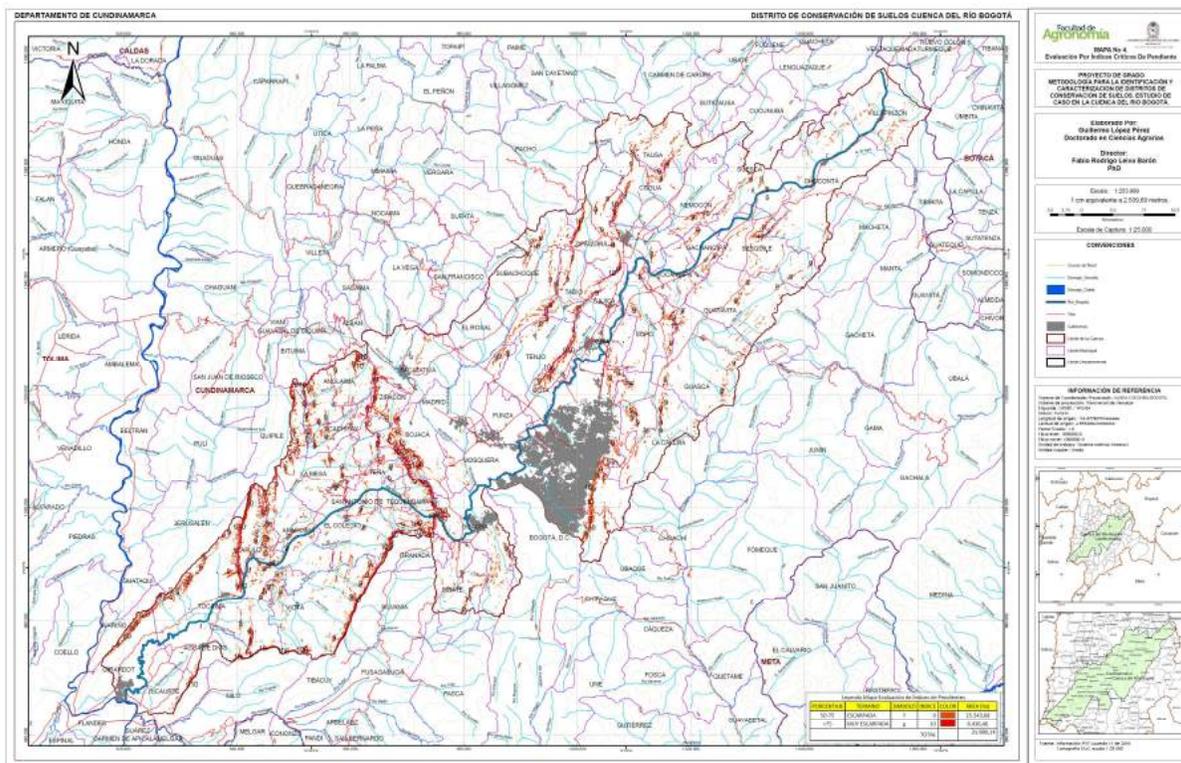
Se dejaron en esta etapa final los niveles calificados como altos y muy altos, los cuales fueron depurados cartográficaente independientemente par cada variable, para luego hacer el cruce

multivariable y finalmente seleccionar efectivamente las áreas que califican con índice de impacto alto.

Los análisis espaciales altos de cada indicador se describen a continuación.

- **Niveles de impacto críticos para el indicador de pendiente.** Los niveles crítico de la variable pendiente, representados en los niveles 9 y 10, cubren un área de 31.980,14 ha, que representan el 5.84% del total del área, ubicadas principalmente en el tercio alto y medio de la cuenca, en cinturones alargados en dirección norte sur, siguiendo el paisaje de montaña y en el tercio bajo sobre los costados oriental y occidental, lo mismo que diseminada al interior de esta zona. Datos que se identifican en el mapa 4.28. Si el único criterio que se utilizaría para identificar distritos de conservación de suelos fuera la pendiente, está sería el área definida como distrito, pero es solo una de las once variables a considerar en la integración, que finalmente dará como resultados, el área que califica como DCS.

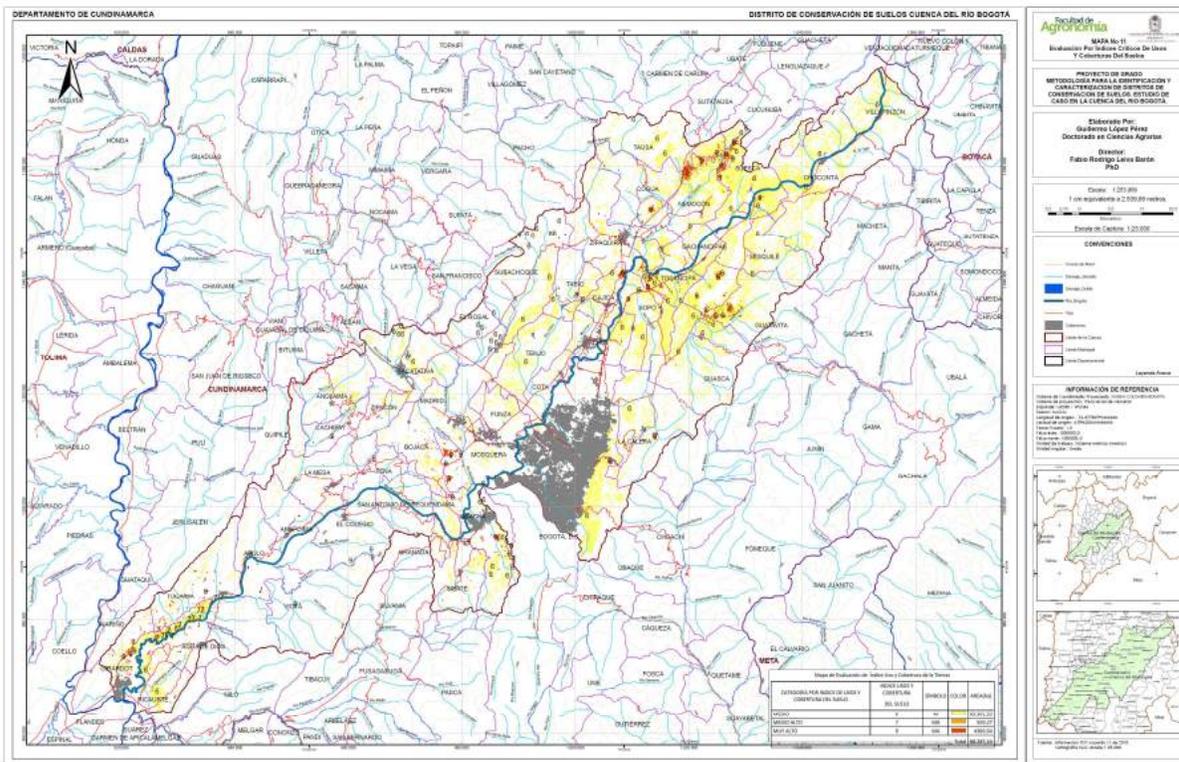
Mapa 4.28. Índices críticos del indicador de pendiente, para definir DCS.



Fuente: La investigación

- **Niveles de impacto críticos para el indicador de usos y coberturas del suelo.** Los niveles críticos de usos y coberturas del suelo calificados por encima de 6, cubren el 88.287,26 ha que representan el 16.12% del área total de la cuenca, su ubicación es atomizada en un sector occidental del tercio superior, parte oriental del tercio medio y unos sectores localizados al costado oriental de la corriente principal en el tercio bajo. Datos que se identifican en el mapa 4.29.

Mapa 4.29. Indices críticos del indicador de usos y coberturas del suelo, para definir DCS.

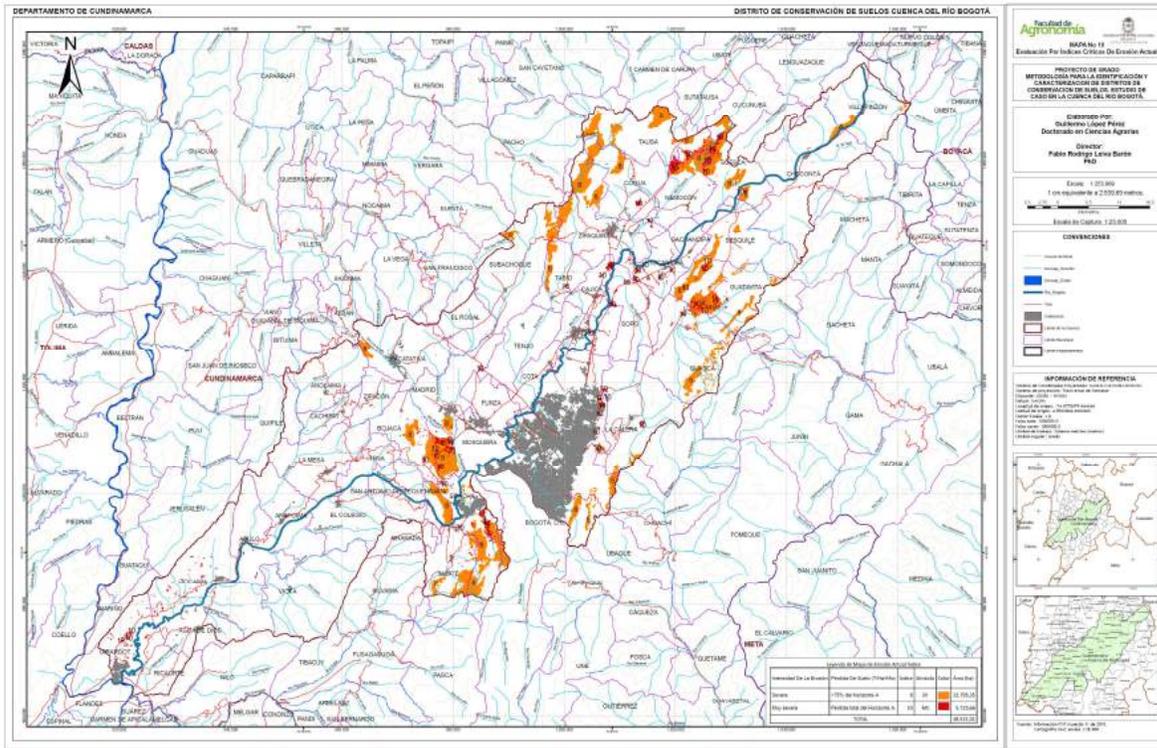


Fuente: La investigación

- **Niveles de impacto críticos para el indicador de erosión.** La evaluación de los niveles críticos de la variable erosión, están representados por los grados 8, 9 y 10, cubren un área de 38.521,01 ha, que constituyen el 7.03% del total del área, ubicadas principalmente en el tercio alto y medio de la cuenca, cargados en los

sectores oriental y occidental y en el tercio bajo sobre el costado derecho del río principal al final del mismo. Datos que se identifican en el mapa 4.30.

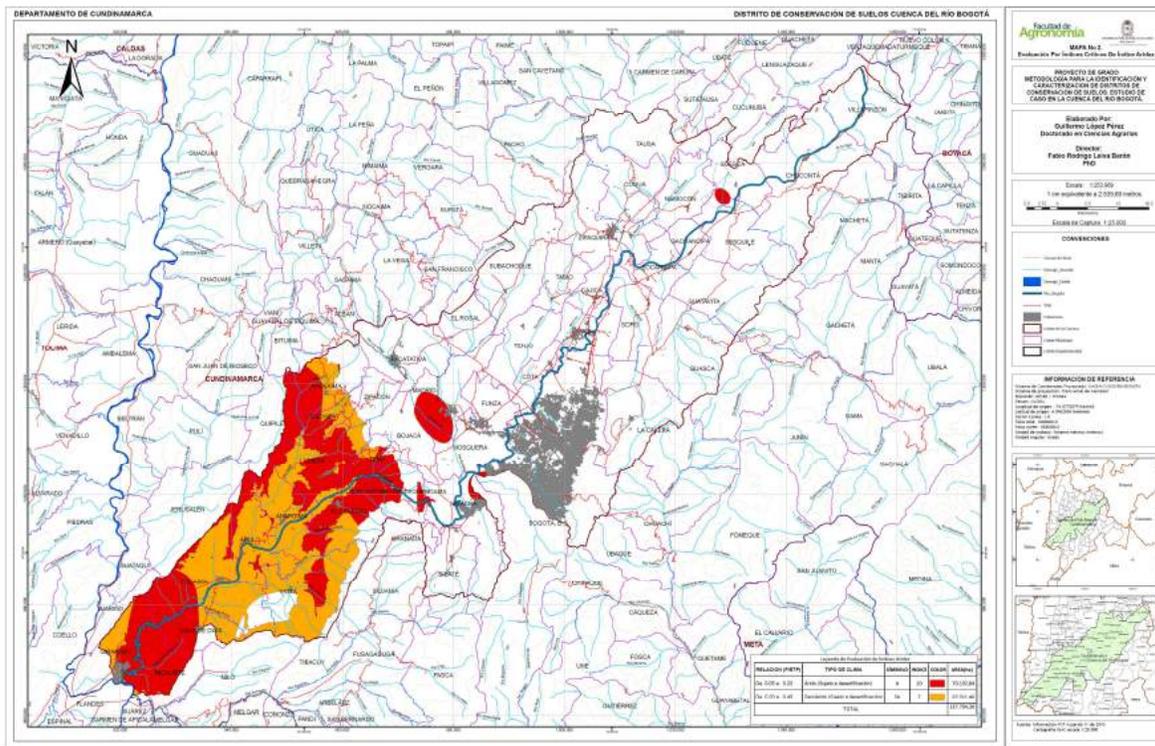
Mapa 4.30. Índices críticos del indicador de erosión, para definir DCS.



Fuente: La investigación

- **Niveles de impacto críticos para el indicador de aridez.** El análisis de los niveles críticos de la variable de aridez corresponden a los superiores a 7 en la escala del estándar 10, representan el 25.14% del área total del área estudiada, lo que indica que es una cuenca con tendencia al calentamiento, ya que 137.704,30 ha están siendo afectadas por este fenómeno que se ubica atomizadamente en un sector central del tercio alto y medio y con una gran presencia en toda la cuenca baja. Ver mapa 4.31.

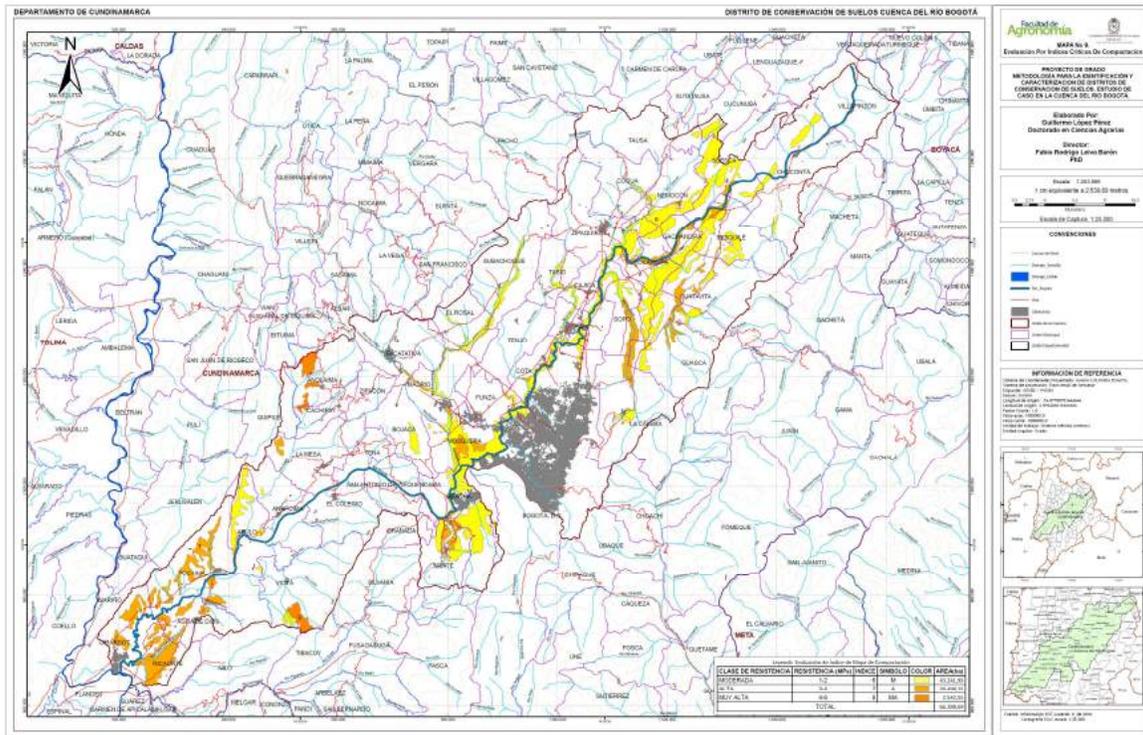
Mapa 4.31. Índices críticos del indicador de aridez, para definir DCS.



Fuente: La investigación

- **Niveles de impacto críticos para el indicador de compactación.** De la variable de compactación se estudiaron aquellos niveles considerados como críticos por encima de 6, los cuales arrojaron un área de impacto de 66.288,69 ha, que representan el 12.10% del área total, dicha condición se ubica en los suelos del tercio alto, medio y bajo de la cuenca sobre las márgenes derecha e izquierda de la corriente principal que le da su nombre. Datos que se verifican en el mapa 4.32.

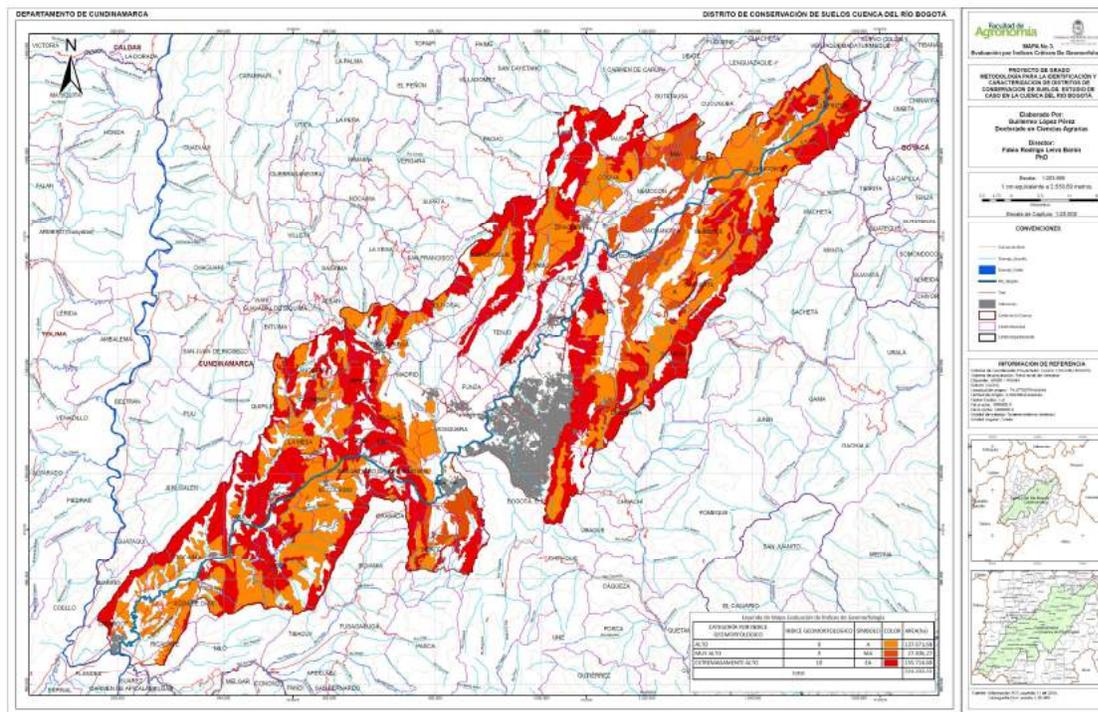
Mapa 4.32. Índices críticos del indicador de compactación, para definir DCS.



Fuente: La investigación

- **Niveles de impacto críticos para el indicador de zona climática.** Los niveles críticos de clima por el nivel alto de esta variable se tomaron por encima de 8, dicha condición arrojó un área de impacto de 76.591,86 ha, ubicadas en unas pequeñas zonas atomizadas en la parte central del tercio alto y medio de la cuenca y en casi la totalidad del tercio bajo de la misma, en total cubre el 14.53% del área de interés. Ver mapa 4.33.

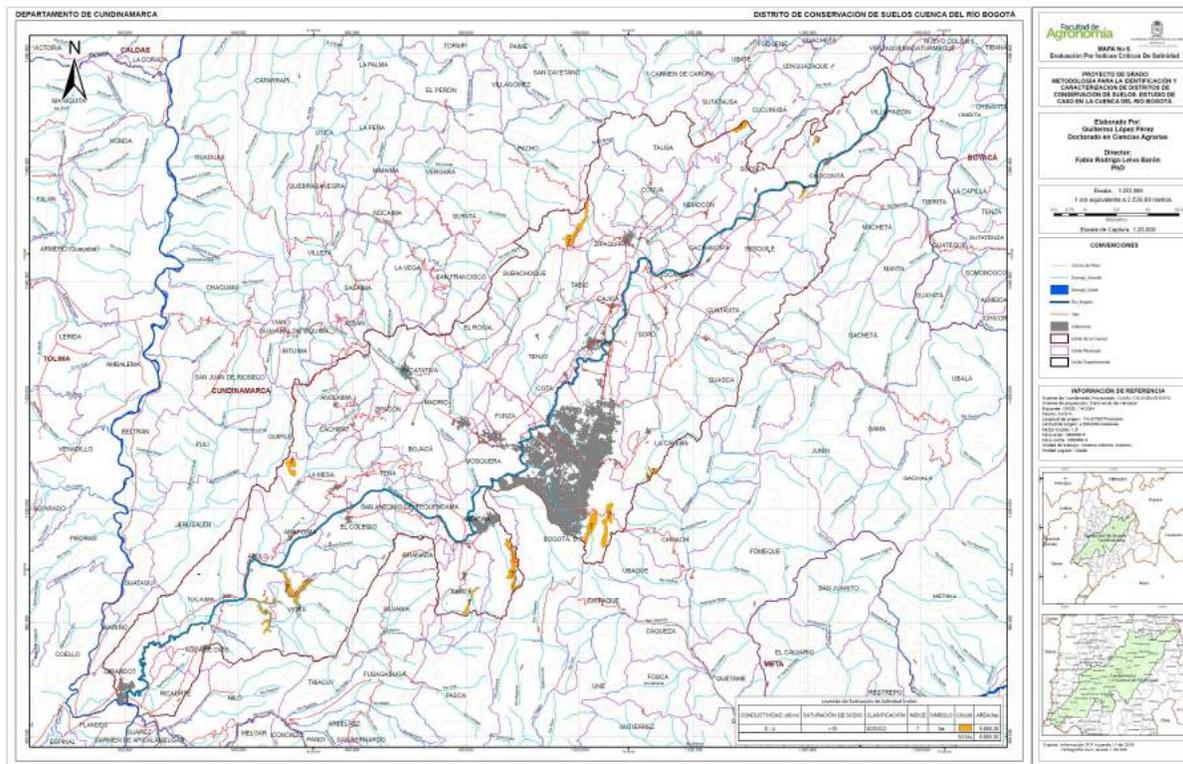
Mapa 4.34. Índices críticos del indicador de geomorfología, para definir DCS.



Fuente: La investigación.

- **Niveles de impacto crítico del indicador de profundidad efectiva.** El análisis crítico de la variable profundidad efectiva muestra niveles por encima de 8, que representan 196.533,78 ha al interior de la cuenca (35.89%), de su área total. Los suelos categorizados con estos niveles se ubican en unas pequeñas zonas del tercio alto parte central, en mayor proporción en el tercio medio parte oriental y central y su área mas representativa se encuentra en el todo el sector del tercio bajo de la cuenca. Datos que se identifican en el mapa 4.35.

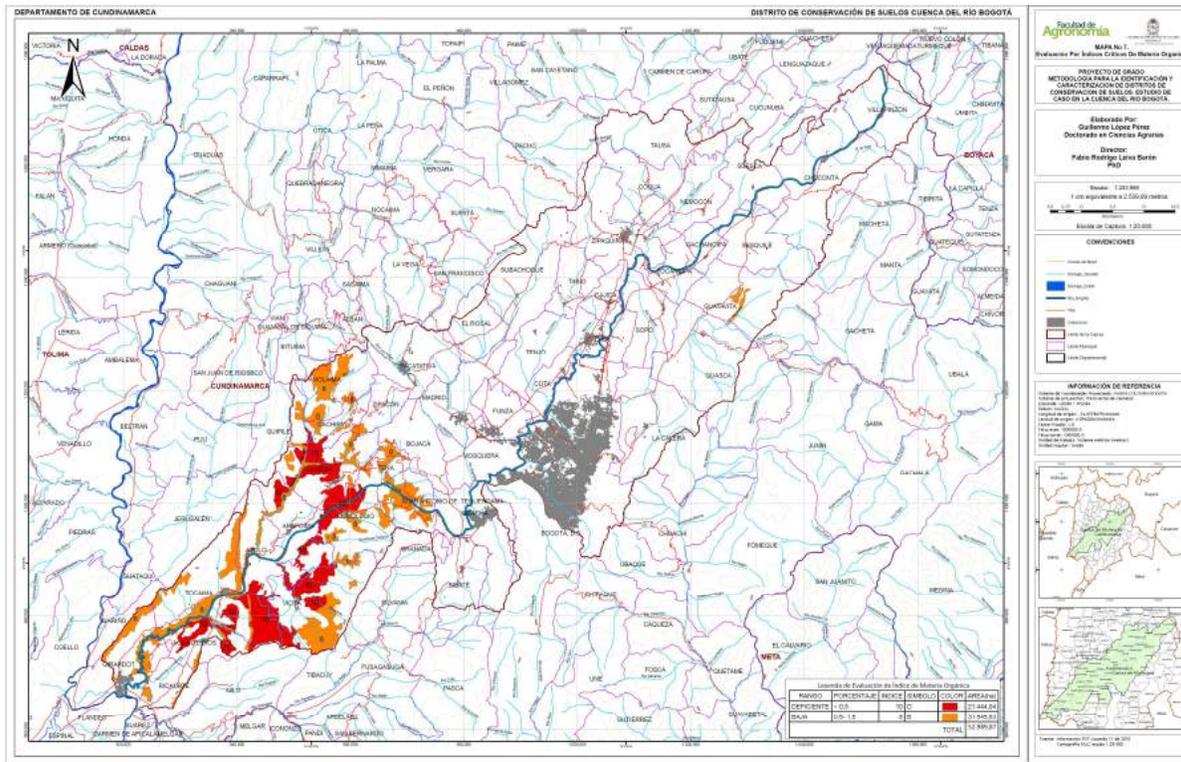
Mapa 4.36. Índices críticos del indicador de salinidad, para definir DCS.



Fuente: La investigación

- **Niveles de impacto críticos del indicador de materia orgánica.** Los niveles críticos que se consideraron mayores de 8 calificados como altos y muy altos para la variable de materia orgánica, cubren un área de 52.989,87 ha que representan el 9.68% del total de la zona de estudio y se ubican en un sector muy pequeño atomizado en la parte oriental del tercio medio y casi la totalidad en el tercio bajo de la cuenca, sector centroriental. Mapa 4.37.

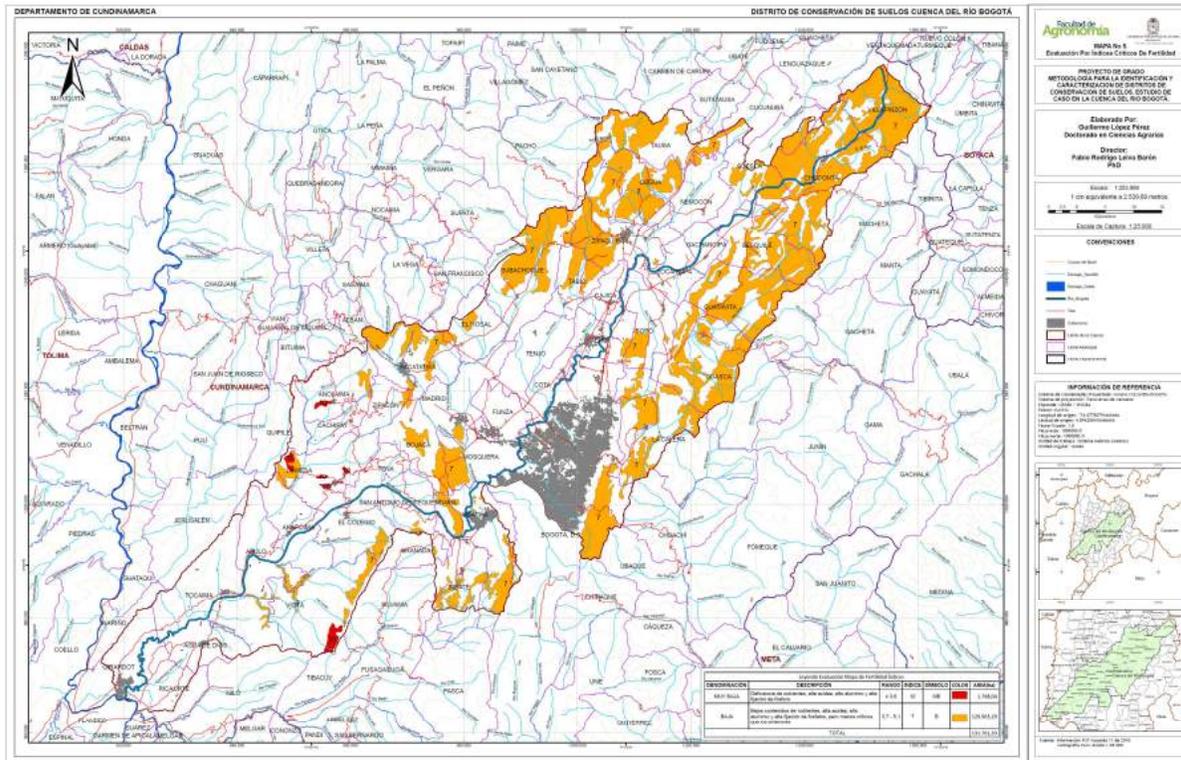
Mapa 4.37. Índices críticos del indicador de materia orgánica, para definir DCS.



Fuente: La investigación

- **Niveles de impacto críticos del indicador de fertilidad.** Los niveles críticos de fertilidad calificados por encima de 7 según los métodos del estándar 10, se ubican en una pequeña proporción en el tercio bajo de la cuenca y en su gran mayoría en el tercio medio y alto costados oriental y occidental, que representan el 24.065 del total de su área equivalente a 131.761,33 ha, que se identifican en el mapa 4.38.

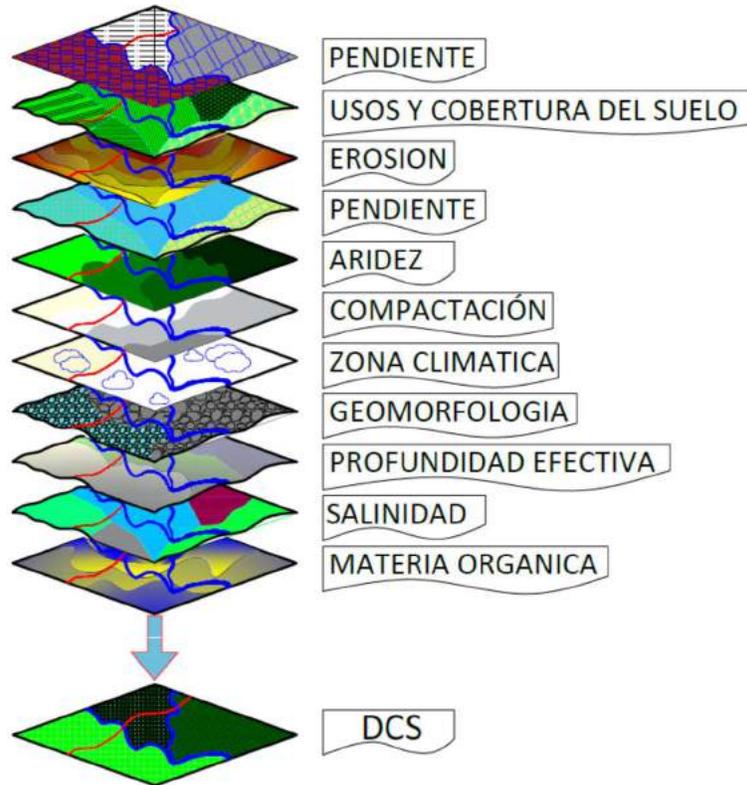
Mapa 4.38. Índices críticos del indicador de fertilidad, para definir DCS.



Fuente: La investigación

- **Análisis múltiple de indicadores.** Luego de tener discriminado los niveles de impacto de cada indicador, se realiza a través del SIG el análisis múltiple del cruce entre los indicadores, como se observa en la gráfica 4.24; El resultado final identifica espacialmente a través de un mapa, las áreas que al interior de la cuenca califican en la escala de impacto bajo, medio o alto y finalmente definir cual de ellas se consideran DCS. Tabla 4.85 y mapa 4.39.

Gráfica 4.24. Proceso de análisis de interacción de variables en la determinación de DCS.



Fuente: La investigación

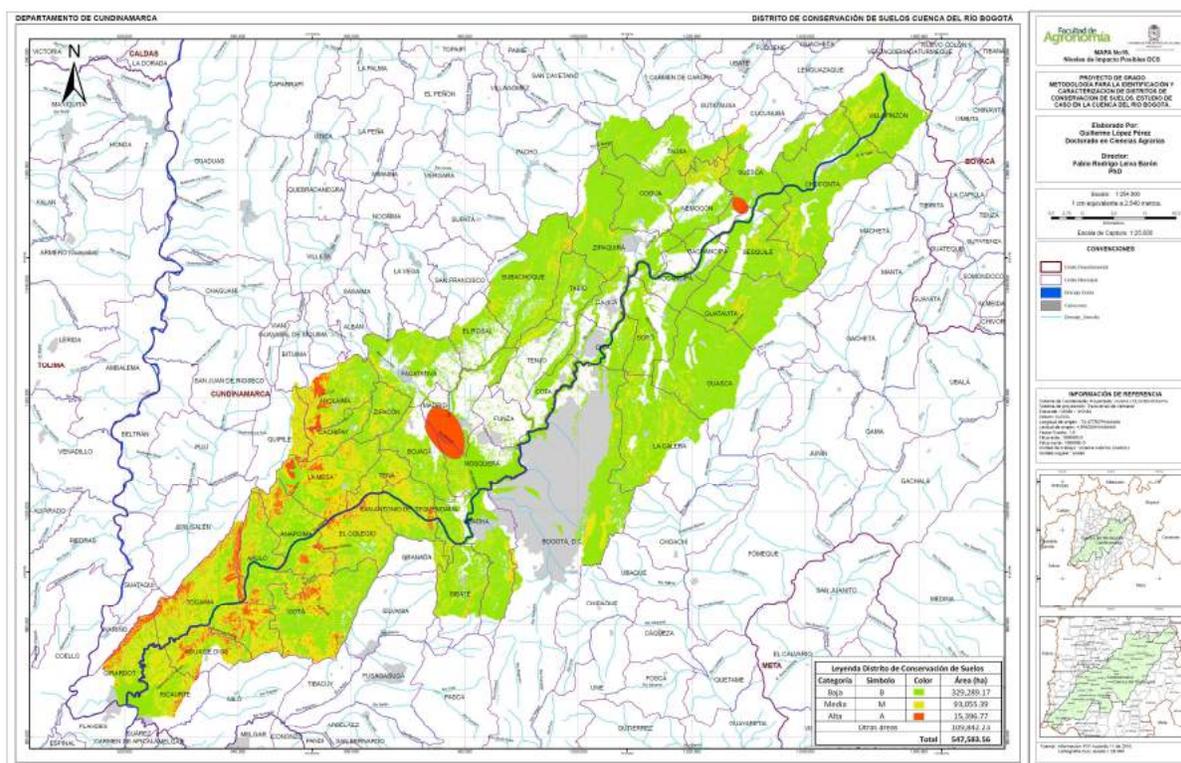
Los resultados espacializados muestran que en la cuenca del río Bogotá, las áreas que por su interacción de indicadores integralmente analizados y que califican como de impacto bajo para ser consideradas como DCS, cubren un área de 329.289,17 hectáreas (60.13%), y se ubican en el tercio alto y medio de cuenca y en unas franjas del tercio bajo; las áreas de suelo al interior de la cuenca calificadas de Impacto medio cubren un área de 93.055,39 hectáreas (16.99%), y se encuentran ubicadas en franjas alargadas en el tercio alto y medio de la cuenca sobre los flancos oriental y occidental, lo mismo que en gran parte del tercio bajo; las áreas de suelos que dentro de la cuenca del río Bogotá califican como de impacto alto cubren un área de 15.396,77 hectáreas (2.81%) y se ubican atomizadamente en un sector central del tercio alto y medio, con mayor presencia en la parte central y occidental del tercio bajo. Tabla 4.86 y mapa 4.28.

Tabla 4.86. Areas clasificadas por niveles categóricos, con fines de identificación distritos de conservación de suelos.

CATEGORÍA	SÍMBOLO	COLOR	AREA (ha)	(%)
BAJA	B		329.289,17	60,13
MEDIA	M		93.055,39	16,99
ALTA	A		15.396,77	2,81
OTRAS AREAS			109.842,23	20,06
TOTAL			547.583,56	100

Fuente: La investigación

Mapa 4.39. Areas clasificadas por niveles categóricos, con fines de identificación distritos de conservación de suelos.



Fuente: La investigación

4.9. Área final definida como distritos de conservación de suelos-DCS, en la cuenca del río Bogotá.

Con base en los análisis estadísticos y siguiendo los procesos de depuración cartográfica, se hizo el cruce total de las variables involucradas para identificar áreas en el tercio alto, tercio medio y tercio bajo de la cuenca del río Bogotá, las que definitivamente deben ser catalogadas como distritos de conservación de suelos.

El cruce final siguió la interacción simultánea de las capas resultantes de los índices de las variables o indicadores calificados bajo el estándar 10, de: pendiente, usos y coberturas del suelo, erosión, aridez, compactación, clima, geomorfología, profundidad efectiva, salinidad, materia orgánica y fertilidad.

Como fruto del proceso e interacción cartográfica entre las capas de las diferentes variables, se identificaron las siguientes áreas como distritos de conservación de suelos:

Las zonas de la cuenca en donde interactuaban los indicadores con niveles con los niveles de impacto altos, fueron las que se definieron como Distritos de Conservación de Suelos. Los suelos con dicha calificación se presentan distribuidos al interior de la cuenca cubriendo un área total de 15.396,77 ha que representan el 2.86% del área total de esta, distribuidos con 9.185,25 ha en la categoría 6, con 6.018,83 ha en el nivel 7, en el nivel 8 con 171,91 ha y finalmente solo 16.78 ha en el nivel 9, diseminados espacialmente así:

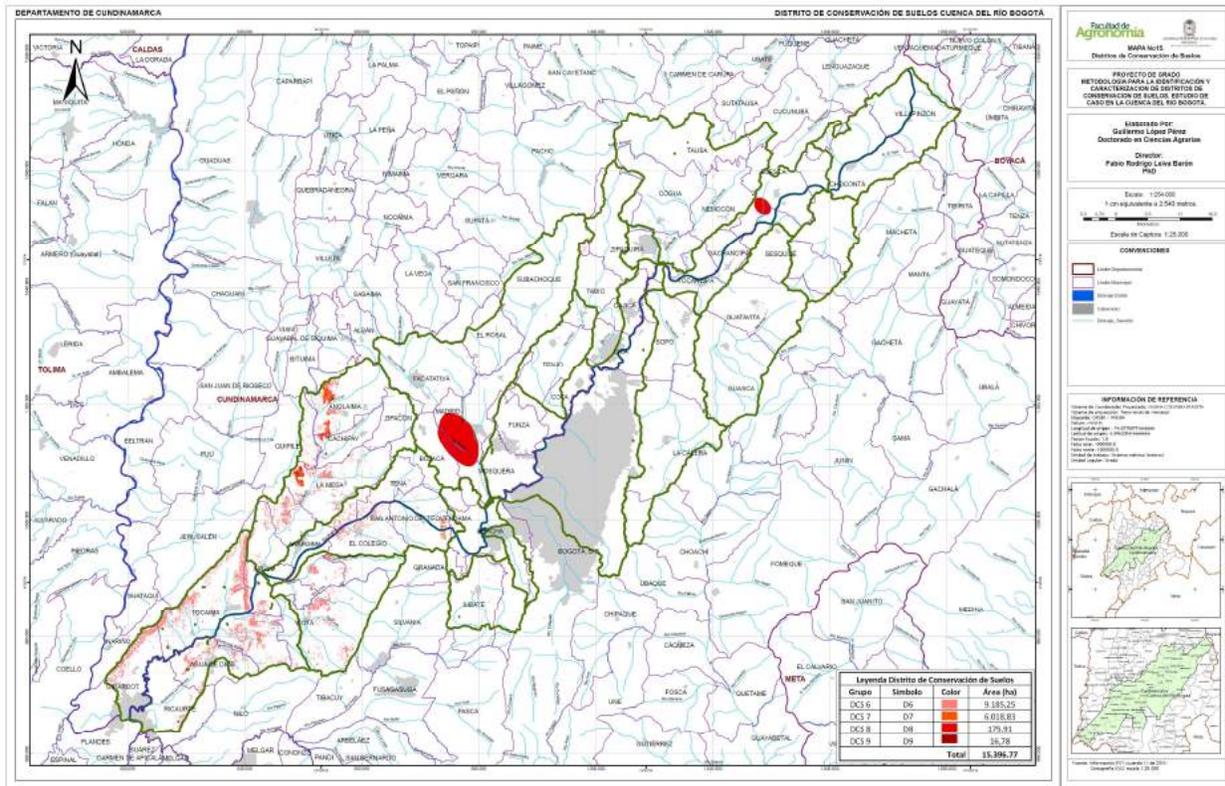
- **Cuenca parte alta:** Se presentan áreas definidas como distritos de conservación de suelos en jurisdicción del municipio de Suesca en límites con el municipio de Sesquilé, distantes a unos 5 kilómetros de las cabeceras municipales de cada municipio, y se califican en la categoría 7; con la categoría 6 se identifican unas áreas en el la parte alta de la cuenca costado oriental, específicamente en el municipio de Tausa y mas al sur, sobre el municipio de Subachoque en límites con el municipio de Zipaquirá; con el mismo nivel categórico se identifican áreas de

distritos de conservación de suelos perimetrales al municipio de Guatavita entra la cabecera municipal de este municipio y el río Aves en jurisdicción de Guasca.

- **Cuenca parte media.** En el sector medio de la cuenca del río Bogotá, se identifica una zona categorizada como distritos de conservación de suelos de categoría 7 en un ovalo que cubre parte de los municipios de Madrid, Bojaca y Mosquera en la subcuenca del río Subachoque o Balsillas; También se identifican áreas de distritos de conservación de suelos calificada en la categoría 6, en un sector del municipio de Mosquera, cerca del nacimiento del río Bojacá.

- **Cuenca parte baja.** En el tercio bajo de la cuenca del río Bogotá, se identificó la mayor proporción las áreas para ser incorporados como distritos de conservación de suelos. En la categoría 6 se ubican zonas en franjas alargadas en el costado occidental sobre los municipios de Anolaima, Cachipay, La Mesa, Apulo, Tocaima y Girardot; por el costado centro oriental, en jurisdicción de los municipios de San Antonio de Tequendama, El Colegio, Viota, Agua de Dios y Ricaurte se ubican también áreas definidas como DCS. Las áreas con categorías de distritos de conservación de suelos superiores a 7, se ubican en su totalidad en el costado oriental, específicamente en los municipios de Anolaima, Cachipay y la Mesa sobre la subcuenca del río Apulo. Los datos se identifican en el mapa 4.40.

Mapa 4.40. Distritos de consevación de suelos al interior de la cuenca del río Bogotá.



Fuente: La investigación

Los indicadores que identifican a un distrito de conservación de suelos con un nivel de impacto integral de 6, corresponden a aquellos que simultáneamente impactan una misma área de suelos, están relacionados con las variables de pendiente, usos y coberturas del suelo, erosión actual, índice de aridez, clima, geomorfología y materia orgánica.

Los indicadores que identifican a un distrito de conservación de suelos con un nivel de impacto integral de 7, corresponden a aquellos que simultáneamente impactan una misma área de suelos, están relacionados con las variables de pendiente, usos y coberturas del suelo, erosión actual, índice de aridez, clima, geomorfología, profundida efectiva, materia orgánica y fertilidad.

Los indicadores que identifican a un distrito de conservación de suelos con un nivel de impacto integral de 8, corresponden a aquellos que simultáneamente impactan una misma área de suelos, están relacionados con las variables de pendiente, usos y coberturas del suelo, erosión actual,

compactación, índice de aridez, clima, geomorfología, profundidad efectiva, materia orgánica, y fertilidad.

Los indicadores que identifican a un distrito de conservación de suelos con un nivel de impacto integral de 9, corresponden a aquellos que simultáneamente impactan una misma área de suelos, están relacionados con las variables de pendiente, usos y coberturas del suelo, erosión actual, compactación, índice de aridez, clima, geomorfología, profundidad efectiva, materia orgánica, y fertilidad.

Los indicadores que identifican a un distrito de conservación de suelos con un nivel de impacto integral de 10, corresponden a aquellos que simultáneamente impactan una misma área de suelos, están relacionados con las variables de pendiente, usos y coberturas del suelo, erosión actual, compactación, índice de aridez, clima, geomorfología, profundidad efectiva, salinidad, materia orgánica, y fertilidad.

Finalmente, las características que tipifican los suelos de la cuenca por cada variable para ser considerados como distritos de conservación de suelos fueron: Para el caso de la pendiente, entraron aquellos suelos con un grado de inclinación mayor del 50%, considerada como escarpada y muy escarpada. Los suelos cuya cobertura y uso está en pastos y matorrerales, cultivos limpios, suelo desnudos y degradados, también fueron tenidos en cuenta.

Los suelos afectados por niveles de erosión actual en grado severa o muy severa entraron en la definición de áreas como DCS; los suelos con índices de aridez donde la relación de la (P/ETP), esta entre 0.05 a 0.70, calificados principalmente como árido y semiárido; para el caso de la variable de compactación, los suelos que presentan una resistencia a la penetración mayor de 4Mpa, fueron los que calificaron para ser considerados en la definición de DCS, al interior de la cuenca del río Bogotá.

Suelos ubicados en zonas climáticas bien sea cálido, templado o frío cuya zona climática es árido, semiárido o seco, se consideraron en la definición de DCS; los suelos ubicados en paisajes de montaña y lomerío principalmente en relieve de espinazos, crestones, cuevas y lomas, también

se consideraron en la definición de DCS. Suelos con profundidades efectivas menores de 50 cm, superficiales y muy superficiales, entraron a la evaluación.

En lo que respecta a la salinidad, es de considerar que en la cuenca casi no se presenta afectación por este fenómeno, por consiguiente solo se tomaron aquellas unidades de suelos donde había un grado de afectación por sodio; suelos con niveles de materia orgánica menor del 1.5% calificadas como niveles bajos y muy bajo, al igual que los suelos con niveles de fertilidad baja y muy baja, se consideraron en el proceso de identificación al interior de la cuenca del río Bogotá, como Distritos de Conservación de Suelos.

5. CONCLUSIONES

A continuación se recogen las conclusiones que se desprenden de la investigación realizada.

Con base en las necesidades del país, y siguiendo los lineamientos legales y normativos, se construyó una definición de Distrito de Conservación de Suelos-DCS, que sirvió de base para formular el proceso metodológico que permite identificar y caracterizar los distritos de conservación de suelos – DCS, aplicable al territorio Colombiano, o en cualquier otro lugar si fuese adoptado.

La metodología propuesta para la identificación y caracterización de DCS, es un modelo que se estructuró con base en indicadores de suelos, clima, geomorfología y manejo, permite ser aplicada con una posibilidad real y de forma práctica, en cualquier área de un territorio.

Se partió de una gran cantidad de indicadores, que se fueron depurando hasta construir un modelo metodológico que terminó en la selección de 11 de ellos, los cuales suministran información completa sobre el comportamiento de un área determinada; estos se pueden analizar tanto individual como colectivamente, con las herramientas y tecnologías estadísticas y de Sistemas de Información Geográfica-SIG, apropiadas.

El modelo planteado que permite identificar y caracterizar los distritos de conservación de suelos para el territorio Colombiano, contempla elementos que están asociados a los factores formadores del suelo, su evolución y sus condiciones actuales según su manejo.

La metodología analiza integralmente al suelo como un elemento del paisaje, bajo una condición ecológica donde interactúa con otros elementos naturales y sociales, no se analizó al suelo como un recurso aislado del ecosistema.

La estructura de la metodología, permite diferenciar no solo cual es el indicador o variables de mayor impacto, y cuáles de ellos son los más determinantes a la hora de clasificar un área geográfica como distritos de conservación de suelos; igualmente identifica cuantos indicadores y en que magnitud están impactando simultáneamente la misma área, puede ser uno u once.

El proceso para identificar y caracterizar DCS para el territorio Colombiano, planteó una metodología analítica, la cual hace un aporte significativo, ya que mediante la estructura estadística matemática, se puede definir las zonas que se involucran como área de distrito de conservación de suelos, antes de ser definidos cartográficamente a través de SIG; con base en los resultados estadísticos estructurados en la base de SIG, se realiza el análisis y la composición cartográfica, que es efectivamente donde se muestra espacialmente las áreas de un territorio catalogadas como DCS.

Para la aplicación de la metodología planteada, se debe tener un conocimiento apropiado o un diagnóstico adecuado de las variables o indicadores involucrados en el modelo metodológico a la escala definida, de lo contrario es imposible su aplicación.

Dados los avances tecnológicos, se puede trabajar simultáneamente un número significativo de datos, en áreas relativamente grandes o muy grandes, que de otra forma impediría ser prácticos y operativos a la hora de aplicar la metodología para la definición de DCS.

La metodología planteada para identificar y caracterizar los distritos de conservación de suelos es abierta, es decir que se pueden introducir o sacar variables y reestructurar su formulación, también es abierta en el sentido de la escala, puesto que se adapta a escalas más grandes o más pequeñas, de acuerdo a las condiciones diagnósticas y escalas de la información involucrada en su construcción. Para el caso de la aplicación de la metodología planteada, que se realizó en la cuenca del río Bogotá, se trabajó a escala 1:100.000.

La metodología planteada para definir los distritos de conservación de suelos, enfatiza en las áreas de suelos que por sus condiciones están en proceso de degradación, pero deja abierta las

alternativas para declarar áreas de suelo que califiquen como distrito, según su importancia científica, cultural, ambiental o expansión urbana.

El planteamiento del modelo metodológico, es una construcción de lo académico a lo práctico, ya que propone una solución a una necesidad del país exigida legalmente hace más de 40 años.

La metodología planteada para identificar y caracterizar DCS, tiene un alcance universal, es decir que se puede aplicar en cualquier parte del país o fuera de él, si dicha metodología es adoptada, ya que trabaja con variables universales de suelos, parametrizadas bajo estándares internacionales.

La metodología se probó y ajustó en la cuenca del río Bogotá, que es un área diversa en pisos térmicos desde el muy frío hasta el cálido, con alturas de 3.100 a los 270 msnm; variedad fisiográfica donde se destacan los paisajes de montaña, colinas, planicie y valle aluvial; se manifiestan un gran número de coberturas y usos del suelo; se encuentran 6 órdenes de suelos, dominando los suelos jóvenes a medianamente evolucionados; presencia de climas áridos, muy seco, seco, húmedo y muy húmedo; dinámico en pendientes, fertilidad, infiltración, materia orgánica y profundidad efectiva; con una carga antrópica superior a 8 millones de persona, lo que hacen que los suelos se usen intensivamente, mostrando fenómenos degradativos a asociados principalmente a la erosión.

La aplicación del modelo de DCS en la cuenca del río Bogotá, permitió definir por primera vez en el país de una forma técnica, áreas que al interior de la cuenca, pueden ser declaradas como distritos de conservación de suelos.

Con la comprobación de la metodología propuesta para identificar y caracterizar DCS, se pudo comprobar la hipótesis propuesta en esta investigación.

Los registros literarios a nivel internacional y nacional, poseen poca información a la hora de documentar experiencias relevantes sobre distritos de conservación de suelos.

La investigación hace un aporte importante a la generación de conocimiento en ciencias del suelo, en particular en su conservación, y propone una metodología científicamente rigurosa y validada, para identificar y caracterizar los DCS, como contribución a la sostenibilidad de los sistemas productivos. Se pretende que esta metodología se convierta en una herramienta que haga un aporte a las entidades pertinentes y a la sociedad en general, en la implementación de la política para la Gestión Sostenible del Suelo, así como en aspectos pertinentes a políticas de ordenamiento territorial y aquellas orientadas a la conservación ambiental del país.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Europea de Medio Ambiente - AEMA. 2009. Environmental Indicators: Typology and Overview". The second assessment office for official publications of the European Communities.

Albert, L.A, 1990. Los plaguicidas, el Ambiente y la Salud. Centro de Ecodesarrollo, México, D.F.Almorox.

Alexander, M. 1971. An environmental improvement agriculture's challenge in the seventies. In "Agriculture's responsibility in establishing soil quality criteria", pp. 66-71. National Academy of Sciences, Washington, D.C. (USA).

Amézquita, E., Pubiano, S., Orozco, O. 2004. La condición física del suelo y su importancia en el manejo integral del suelo. XVI Congreso Latinoamericano y XII congreso Colombiano de la Ciencia del suelo. Colombia. Memorias.

Andrews, S.S., Karlen, D.L., Cambardella, C.A. 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal 68.

Arshad, M, A., Lowery, B., Grossman, B. 1996. Physical test for monitoring soil quality. Methods for assessing Soil quality. Soil Science Society of America., SSSA Special publication 49. Madison.

Astier, C, Marta., Maass, M, Manuel., Etchevers, B, J.2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable Agrociencia, vol. 36, núm. 5. redalyc.org.

Bastida F., Zsolnay, A., Hernández, T., García, C. 2008. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. Review. *Geoderma* 147.

Bindraban, P, S., Stoorvogel, J, J., Jansen, D, M., Vlaming, J., Groot, J, J, R. 2000. Land quality indicators for sustainable land management: Proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agr Ecosyst Environ.* 81.

Black, H, I, J., Chamberlain, P, M., Creamer, R., Campbell, C., Harris, J, A., Pawlett, M., Ritz, K., Wood C, M. 2010. The function of soil biodiversity as indicators of soil quality: Insights from the UK Defra SQID project. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia.

Blum, W. 2005. “Functions of soil for society and the environment”. *Reviews in Environmental Sciences and Biotechnology.*

Blum, W.H. 1998. Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. En R. Lal et al. (Eds.). *Methods for Assessment of Soil Degradation, Advances in Soil Science.* CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.

Blum, W, E, H., Santelises, A, A. 1994. A concept of sustainability and resilience based on soil functions. Pages 535-542 in D.J. Greenland and I. Szabolcs, eds. *Soil resilience and sustainable land use.* CAB International, Wallingford, U.K.

Bone, J., Head. M., Barraclough. D., Archer, M., Scheib. C., Flight, D., Voulvoulis. N. 2010. “Soil quality assessment under emerging regulatory requirements: a review”. *Environment International* 36.

Boul, S.W., Sánchez, P.A, Cate, R.B., Granger, M. A. 1975. Soil fertility capability classification system for fertility management. N.C. State Univ Raleigh: N.C.

Brammer, H. 2000. Ploughpans and tillage problems. In: Agroecological aspects of agricultural research in Bangladesh. Dhaka: UPL.

Cabrera, E., Vargas, D.M., Galindo, G., García, M.C., Ordóñez, M.F. 2011. Memoria técnica: Cuantificación de la tasa de deforestación para Colombia, período 1990-2000, 2000-2005. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM-. Bogotá D.C.

Cadena, B.C., Benavides, D.E., Ruiz, Eraso, H., Mosquera Guerrero, J., Benavides, O. 2012. Efecto de cinco sistemas de labranza, en la erosión de un suelo vitric haplustand bajo cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L). XVI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Riohacha-Guajira.

Calatrava, Requena, J., Rosua, Campos, J, L. 2004. Valoración y análisis económico de los impactos ambientales en procesos erosivos. Aplicación de los métodos de valoración contingente y experimento de elección de la cuenca alta del Alto Genil. Sergio Colombo. Cuadernos geográficos, 34.

Campo, J. 2003. Disponibilidad de nutrimentos en una toposecuencia con bosque tropical seco en México.

Carter, M, R., Gregorich, E, G., Anderson, D, W., Doran, J, W., Janzen, H, H., Pierce, F, J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. Volume 25. Soil quality for crop production and ecosystem health.

CARVAJAL, J. H, 2008. Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia. Documento INGEOMINAS. Bogotá.

Carvajal, J. H. 2005. Características Geomorfológicas de la Sabana de Bogotá. En: Zonificación Geomorfológica de la Sabana de Bogotá. Volumen I. Ingeominas, Subdirección Geología Básica.

Chartres, C.J., G.W. Geeves. 1998. The impact of soil seals and crusts on soil water balance and runoff and their relationship with land management. *Advances in GeoEcology*, (Reiskirchen) 31.

Christian T., Patrick C. W., 2005. CIMMYT- El problema de la degradación del suelo. Zimbabwe.

Comisión de las Comunidades Europeas – CCE. 2002. Comunicación de la comisión al consejo, el parlamento Europeo, el comité económico y social y el comité de las Regiones: Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. Bruselas.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR.1998. Determinantes y asuntos ambientales respecto de los planes de ordenamiento territorial. Acuerdo 16. Bogoá.

CORINE Lnad Cover. 1994. Technical guide. Office for oficial publications of the European Communities.

Cortes, L, A., Malagón C, D. 1984. Los levantamientos Agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Universidad de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.

Cowell, S, J., Clift, R. 2000. A methodology for assessing soil quantity and quality in life cycle assessment. *Journal of cleaner production* 8.

Crowley, T., North, G. 1991. Palaeoclimatology. En *Oxford Monographs on Geology and Geophysics*. 18. New York: Oxford University Press.

Davison, A, C. 2003. *Statistical and Probabilistic Mathematics*. Cambridge Series. Cambridge.

De La Rosa, D. 2008. *Evaluación agro-ecológica de suelos*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.

De Paul, Obade, V., Lal, R., 2015. Towards a standard technique for soil quality assessment. *Geoderma* 265. Elsevier.

Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector Ambiental y Desarrollo Sostenible. Bogotá.

Decreto 2372 de 2010, reglamentario del Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993 y el Decreto Ley de 2003. En relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Bogotá.

Decreto Ley 2811 de 1974, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Bogotá.

Dehaan, R, L., Taylor, G, R. 2002. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization. *Remote Sensing of Environment*, 80.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica – USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Instituto de la calidad del suelo. Washington, D.C.

Doran, J, W., Zeiss, M, R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15.

Doran J.W., Sarrantonio M., Lieberg M.A. 1996. Soil health and sustainability. *Adv. Agron.* 56.

Doran, J, W. 2002. Soil health and global sustainability: translating science in to practice. *Agriculture Ecosystems and Environment.* 88.

Doran J. W., Parkin T. B. 1994. *Defining Assessing Soil Quality.* Soil Science Society of America, publication no. 35.

Doran, J. W., Parkin, T, B. 1994. *Defining assessing soil quality.* Soil Science Society of America, Publication no. 35.

Draghici, I, F., Necco G, V., Riddaway, R, W., Snow J, T., Billard, C., Ogallo, L, A. 2001. La enseñanza y formación profesional del personal en meteorología e hidrología operativa, Organización Meteorológica Mundial- OMM No. 258. Cuarta edición. Ginebra, Suiza.

Duffus H. J. 2002. Heavy metals. IUPAC Technical Report. Pure and Applied Chemistry.

Duque, E, G. 2003. Manual de Geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Elizalde, G. 2009. Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisajes. Primera aproximación. Edición revisada 2009. Maracay, Venezuela.

Elwell, H, A. 1981. A soil loss estimation technique for southern Africa. En: Soil Conservation: Problems and Prospects. R.P.C. Morgan (ed.), John Wiley, Chichester, Reino Unido.

Etchevers B., J. D. 1999. Indicadores de calidad de suelos. In: Conservación y restauración de Suelos. Siebe C., H. Rodarte, G. Toledo, J. D. Etchevers y K. Oleschko (eds.) Universidad Nacional Autónoma de México y Programa Universitario del Medio Ambiente, México, D.F.

Evaluación de la degradación de tierras en zonas áridas - LADA .2003. Manual de Evaluación Local de la Degradación de Tierras Áridas (LADA-L). Versión Final. Roma, Italia.

FAO. 2015. Base referencia mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Actualizado 2015. Informe sobre recursos mundiales de suelos 106. Roma.

FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Cuarta edición. Roma- Italia.

FAO. 2007a. Land evaluation. Towards a revised framework. FAO Land and Water Discussion Paper 6, Roma.

FAO. 2007. Proyecto Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas. Informe de avance a escala local. República Argentina.

FAO. GEF. Mecanismo Global de la UNCCD. UNEP. WOCAD. ODG DEV. United Nations University. 2007. Manual de Evaluación Local de la Degradación de Tierras Áridas (LADA – L). Versión Final.

FAO, 2002. Los fertilizantes y su uso. Cuarta edición. Roma.

FAO, 2003. Evaluación de la degradación de las tierras en zonas áridas. U.N. Food and agriculture Organization. Roma Italia.

FAO. 1997. Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development. FAO, Roma.

FAO. 1995. Tillage systems in the tropics - Management options and sustainability implications. Soils Bulletin 71.

FAO, 1994. Erosión de suelos en América Latina. Suelos y Aguas. Roma.

FAO, 1993. Sustainable development of dry lands and combating desertification. Land and water Div. FAO, Rome, Italy.

FAO. 1976. Un marco para la evaluación de tierras. Suelos Vol. 32, Organización de las Naciones Unidas la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.

Felicísimo, A, M, 1999. La utilización de los MDT en los estudios del medio físico, 1999. 16 pp. (http://www.etsimo.uniovi.es/feli/pdf/ITGE_150a.pdf).

FERGUSON, J.F., 1990. The heavy Elements. Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press.

Foot, K, E., Lynch, M. 1995. Database concepts. The geographer's craft project, Department of geography, the University of Colorado at Boulder.

Fraume, R, Néstor, J. 2007. Diccionario ambiental. Edita Eco Ediciones. Colombia.

Gabriels, D. 2005. Lecture notes: Soil erosion and soil conservation. Belgium, Ghent University.

Garrigues, E., Corson M, S., Angers, D, A., Hayo M, G., Walter, C. 2011. Soil quality in life cycle assessment: Towards development of an indicator. Ecological Indicators. Journal 2012 Elsevier Ltda.

Garrigues, E., Michael S, C., Angers, D, A., Van der Werf, H,M,G., Walter, C,B. 2012. Soil quality in life cycle assessment: Towards development of an indicator. Ecological indicators. 18.

Gil-Stores, F., Trasar, C, C., Leiros, M, C., Seoane, S. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. Soil Biology and Biochemistry 37.

Glynn, J, Henry., Gary, W, H. 1999. Ingeniería ambiental. Prentice hall. México.

Gómez, S. C. 2002. Modelo para la evaluación, monitoreo y seguimiento del impacto ambiental de las actividades intensivas sobre los suelos colombianos. Tesis de maestría en medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Gregorich, L, J., Acton, D, F., 1995. Understanding soil health. Acton and L.J. Gregorich Eds. The health of our soils-towards sustainable agriculture in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont., Canada.

Hamblin, A, P. 1995. Land quality indicators: when, how and for whom? Ecol. Econ. 12.

Harmeling & Eckstein, 2013. Global climate risk index 2013. Who suffers most from extreme weather Events? Weather-related loss events in 2011 And 1992 to 2011. Germanwacht. Alemania.o, 1997.

Harris, R. F., Bezdicek, D, F., 1994. Descriptive Aspects of soil quality/health. Soil Science Society of America. Publication No. 35.

Havlicek, E. 2011. Soil biodiversity and bioindication: From complex thinking to simple acting. European Journal of Soil Biology

Hernández, A. et al. 2006. El suelo Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo. Madrid España.

Hernández, M. E., Domínguez. S, Lucía. 2012. Comportamiento de los metales pesados en distintos tipos de lechos porosos. Departamento de Ingeniería en Sistemas Ambientales. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Revista Sistemas Ambientales, Vol. 5, No. 1. México, D.F.

Hernández, R., Hernández, S. 2009. Informe sobre el suelo. Universidad Pedagógica Nacional “Francisco Morazán”. Tegucigalpa-Honduras.

Hornung, M. 1990. Measurement of nutrient losses resulting from soil erosion. Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems (Eds. A.F. Harrison, P. Ineson & O.W. Heal). London & New York: Elsevier Applied Science.

IDEAM. 2012. Propuesta para la Gestión Integral Ambiental del Recurso Suelo (GIARS). Informe Final. Diagnóstico Nacional del Estado del Recurso Suelo. Convenio Interadministrativo de Asociación entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (antes MAVDT) (No. 160/11) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (No.015A/11). Bogotá.

IDEAM. 2010. Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C.

IFPRI, 2009. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias. Cambio Climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Washington D.C.

Instituto Nacional de Recursos Naturales – INDERENA. 1978. Mapa de Intensidad de la erosión de suelos en Colombia. Bogotá.

Instituto Nacional de Recursos Naturales – INDERENA. 1974. Acuerdo 20 de 1974. Por el cual se sutrae de la Resrva Forestal de la Amazonía unárea para la creación del Distrito de Conservación de Suelos y Aguas del Caquetá. Bogotá.

IGAC. Oficina CIAF, 2010. Los sistemas de información geográfica en el IGAC- gestión de información como aporte al desarrollo de Colombia. Documento de capacitación. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. 2006. Métodos anàlisticos de laboratorio de suelos. Subdirección de Agrología. Bogoá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- MADS, 2010. Protocolo para la identificación y evaluación de los procesos de degradación de suelos y tierras por salinización. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC; Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales - IDEAM; Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial- MADS, 2010. Protocolo para la identificación y evaluación de los procesos de degradación de suelos y tierras por erosión. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi- IGAC; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM., Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT. 2010. Protocolo para la identificación y evaluación de los procesos de degradación de suelos y tierras por desertificación. Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. 2015. Susceptibilidad de los suelos a degradación por salinización. Mapa temático a escala 1:100.000. Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. 2014. Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCAS”. Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. 2013. Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000. Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. 2004. Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas Hidrográficas en Colombia. Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. 2001. Perfil del Estado de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente en Colombia. Bogotá, Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. Subdirección de Agrología. 2016. Suelos y Tierras de Colombia. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2012. Levantamiento detallado de suelos en las áreas Planas de 14 municipios de la Sabana de Bogotá. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2010. Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos).Subdirección de Agrología. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2007a. Definición de usos alternativos y sostenibles para la ocupación de las tierras a nivel nacional. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2007. Manual de Campo para Levantamiento de Suelos y Tierras. Subdirección de Agrología. Documento Interno.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2005. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras (2da ed.). Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC - Subdirección de Agrología. 2000. Manual codificado para los levantamientos de suelos. Bogotá, Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. 2000. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca. Bogotá.

Instituto Interamericano de Cooperación Para la agricultura-OEA- IICA. 2001. Introducción al ordenamiento rural en Chile. Agencia de cooperación en Chile. Santiago de Chile.

Jaramillo, D. E. 2004. El recurso suelo y la competitividad del sector agrario Colombiano.

Jungerius, P, D. 1985. Soils and geomorphology. In P. D. Jungerius (Ed.), Soils and geomorphology. Catena Supplement 6, 1-18. Cremlingen: CATENA Verlag.

Karlen, D, L., Andrews, S, S., Doran, J, W. 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy* 74.

Karlen, D, L., Wollenhaupt, N, C., Erbach, D, C., Berry, E, C., Swan, J, B., Eash, N, S., Jordahl, J, L., 1994. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil Till. Res.* 32.

Kass, Donal, C, L. 1998. Fertilidad de suelos. Editor Jorge Núñez. S. Editorial EUNED, San José Costa Rica.

Knorn, J., Rabe, A., Radeloff, V, C., Kuemmerle, T., Kozak, J., Horstert, P. 2009. Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images, *Remote sensing of environment*, v.113, n.5.

LADA. 2003. Evaluación de la Degradación de la Tierra en Zonas Áridas. Informe final. FAO. Roma, Italia.

Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. *J. Soil Sci.* 165.

Lal, R., 1998. Agronomic impact of soil degradation. pp. 459-473. In: R. Lal et al. (Eds.) *Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Science.* CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Larson, W, E., Pierce FJ. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. Pages 37-51 in J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezedick, and B.A. Stewart, eds. *Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Sci. Soc. Am. Special Pub. No. 35, Am. Soc. Agron., Madison, Wise. U.S.A.*

Lee, J. J., Neely, G.E., 1980. Sulfuric acid rain effects on crop yield and foliar injuri. Corvallis, Oreg. U.S. Environmental protection agency.

Leiva, F, R. 2016. Ampliación de la frontera agropecuaria y servicios ecosistémicos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias agrarias. Bogotá.

Leiva, F, R., Villalobos, R, R. (Eds.). 2007. Evaluación de la sostenibilidad de sistemas agrícolas de clima frío: caso papa (*Solanum tuberosum*). Unibiblos. Colombia.

Leiva, F. R. 1998. Manejo sostenible de suelos agrícolas. Convenio Sena-Sac-Fenalce. Produmedios, Bogotá, D. C. Colombia.

León, P, J, D. 2001. Estudio y control de la erosión hídrica. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia: Medellín.

Li, X., Z. Wang, K. Song, B. Zhang, D. Liu ann Z. Guo. 2007. Assessment for zalinized wasteland expansión and land use change using GIS and remote sensing in the west part of northeast China. *Environ. Monit. Assess* 131.

Ley Nacional 22.428 de 1981. República Argentina. - BOLETIN OFICIAL del 16/03/1981 Buenos Aires.

Lima, A, C, R., Brussaard., Totola., Hoogmoed W.B., de Goede R.G.M. 2013. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. *Applied Soil Ecology Applied Soil Ecology* 64. Elsevier.

Lince, S., L, A., Obando, M., F, H. 2012. Evaluación sitio específico de calidad funcional del suelo en zona de ladera. *Memorias del XVI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo*. Guajira.

Lobo, L, Deyanira., Pulido, M, Mansonia. 2013. Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. *Revista de la sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y el Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela-Venesuelos* 14.

López, A, J, C. 2008. Guía básica para la simulación de Monte Carlo. Aenor ediciones. España.

López, B, F., García, R, J, M., 2008. La degradación del suelo por erosión hídrica en España. Universidad de Valencia. Valencia.

López, F, R. 2002. Degradación del suelo causas, procesos evaluación e investigación. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes Mérida, Venezuela. Serie: Suelos y Clima.

López P. G. 1994. Modelos matemáticos predictivos de pérdida de Suelos en el Bosque Húmedo Tropical. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Fac Agronomía. Bogotá.

Loveland P., Webb J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soil of temperate regions: a review? *Soil Till. Res.*70.

Llanos. U., 2006. Efecto de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos y enraizadores en el establecimiento de *Pinus tecunumanii* (Schw) en Oxapampa. Tesis para obtener el título de Ingeniero Forestal. Lima Perú.

Mallinis, G., Emmanoloudis, D., Giannakopoulos, V., Maris, F., Koutsias, N. 2011. Mapping and interpreting historical land cover/land use changes in a natura 2000 site using earth observational data: the case of Nestos delta, Greece.

Mausbach M, J., Tugcl, A., 1997. Soil quality - a multitude of approach. Kcynote address Kcarncy Foundation Symposium California Soil Quality: From Critical Rescarch to Sustainable ManagementBerkclcy, California.

Mausback, M, J., Seybold, C, A. 1998. Assessment of soil quality. In: Lal R. (Ed.), Soil Quality and Sustainability. Ann Harbor Press, Chelsea.

McLauchland, K. 2006. The nature and longevity of agricultural impacts on soil carbon and nutrients: a review. *Ecosystems* 9.

Meigs, P. 1953. World distribution of arid and semi-arid homoclimates. UNESCO. Review of Research on Arid Zone Hydrology. Arid Zone Research I.

Mendivelso, D., Rubiano, Y., Malagón, D., Lopez, D. 998. Erosión de las tierras colombianas. IX Congreso colombiano de la ciencia del suelo. Manejo de suelos e impacto ambiental. Memorias. Paipa, Boyacá.

Metternicht, G, I., Zinck, A. 2003. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: Synthesis. Washington. Island Press.

Minami, K. 2009. Soil and humanity. Culture, civilization, livelihood and health. Soil.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. 2015. Política para la gestión sostenible del suelo. Bogotá.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible – Universidad Nacional de Colombia. 2013. Convenio interadministrativo No.125. Formulación de la Política para la Gestión Integral Ambiental del Suelo –GIAS). Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Bogotá.

Montenegro, H; Olmos, E. 1988. Inventarios de los problemas de erosión y degradación de suelos de Colombia. En: Resúmenes del Congreso colombiano de la ciencia del suelo. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. Neiva.

Morgan, R, P, C. 1986. Soil Erosion and Conservation. New York: Longman.

Mueller L., Schindler U., Shepherd G. T., Ball C. B., Smolentseva E., Chunsheng H., Hennings V., Schad P., Behrendt A., Helming K., Eulenstein F. 2010. Assessing agricultural soil quality on a global scale. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia.

Nachtergaele, F., Petri, M. 2008. Mapping land use systems at global and regional scales for land degradation assessment analysis. LADA. FAO.

Navarrete S. A., Vela C, G., López, B, J., Rodríguez, G, M. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. S 80. México.

Nortcliff, S. 2002. Standardisation of soil quality attributes. Agriculture Ecosystems & Environment 88.

Nuñez, M., Civit, B., Muñoz, P., Arena, A.P., Rieradevall, J., Anton, A., 2010. Assessing potential desertification environmental impact in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15.

Ojeda, D.E., Ojeda, T. 1996. Suelos cultivados de la República Mexicana, contenido medio de nutrimentos minerales aprovechables», (mimeografo), Universidad Autónoma Chapingo, México.

Olien, Becky. 2002. Erosion. The Bridgestone science library. Editorial Credits. United Sates of America.

Oliveira, H, A., Aparecida da Silva, M., Naves, S, M, L., Avanzi, J., Pereira, P, H. 2010. Canopy cover and organic matter spatial distribution as indicators of soil quality for aquifer recharge. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia.

Oreskes, N. 2004. The scientific of climate change. Vol. 306 No.5702. American Association for the Advancement of Science. AAAS.org.

Organización de las naciones unidas para la organización, la ciencia y la cultura-UNESCO. 2006. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y El Caribe. CAZALAC. Documentos técnicos el PHI- LAC No.3. Montevideo.

Organización Meteorológica Mundial - OMM. 2011. Guía de prácticas climatológicas- OMM No. 100. Ginebra, Suiza.

Organization for Economic Cooperation and development. France - OECD. 1993. Core set of indicators for environmental performance reviews. OECD. Environment Monographs No.83. France.

Organization for Economic Cooperation and Development. OECD. 2003. Environmental Indicators. Development, measurement and use. Reference paper.France.

Penman, H, L. 1948. Natural evaporation from open water, bares oil, and grass. Proc. Roy, Soc. Serie A.

Pérez, S, J. 2000. Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando Sistemas de información geográfica. Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería química. Especialización en ingeniería ambiental. Bogotá, D.C.

Pesda, G., Hahndel, R., Zerulla, W. 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3.4 dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. Biology and fertility of soils.

Pettapiece, W, W., Acton, D, F. 1995. Agricultural soil quality criteria for Canada. Pages 129-145 in C.B. Powter, S.A. Abboud, and W.B. McGill, eds. Environmental soil science: anthropogenic chemicals and soil quality criteria. Can. Soc. Of Soil Sci. Edmonton, Alta. Canada.

Pla, S, I. 2012. Indicadores de calidad del suelo - análisis crítico de la calidad de suelos y de sus indicadores. Memorias del XVI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Guajira.

Pla, I. 1996. Suelos con limitaciones físicas. Evaluación, diagnóstico y manejo. memorias del curso-Taller realizado en Mérida, Venezuela 19 al 23 de Junio de 1995. (Ed. López, R. & Delgado, F.). CIDIAT.

Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, M, R. 2014. Edafología - uso y protección del suelo. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España.

Porta, J; López-Acevedo, M; Poch, M R., 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

PROYECTO JALDA, 2002. “Compendio de Tecnologías Locales para el Aprovechamiento y Manejo de Suelos, Agua y Cobertura Vegetal. Chuquisaca – Bolivia.

Quiroga, M, R. 2007. Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. División de Estadística y Proyecciones Económicas. CEPAL. Santiago de Chile. 228.

Rajadel, O, N., Gonzales, S., Fuentes, M. 2003. Resultados del inventario de suelos alterados por diferentes conceptos en la provincia de Cienfuegos. II taller Nacional sobre desertificación y IV jornada científica del Instituto de Suelos.

Real Academia Española - RAE. 2011. Diccionario de la Lengua Española. Vigésima segunda edición.

Rodríguez, A, A., Múñez, L, C. 2012. Fundamentos de climatología. Univerdsidad de la Rioja. España.

Sánchez-Navarro, A., Gil-Vázquez, J, M., Delgado-Iniesta, M, J., Marín-Sanleandro, P., Blanco-Bernardeau, A., Ortiz-Silla, R. 2015. Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. Catena 13. Elsevier.

Sibello, H. Rita Y. 2013. Cuantificación de la erosion de los suelos en zonas de interés económico y ambiental de la provincial de Cienfuegos, Cuba, utilizando el cesio-137 como radiotrazador. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante.

Soil Science Society of America –SSSA. 2008. Glossary Terms Committee. United States of America.

Soil Science Society of America. 1995. Statement on soil quality. Agronomy News, June 1995.

Soil Survey Staff. United States Department of Agriculture- Natural Resources Conservation Service. 2014. Keys to Soil Taxonomy, Twelfth Edition. Washington, D.C.

Soil Survey Staff. United States Department of Agriculture- Natural Resources Conservation Service. 2010. Keys to Soil Taxonomy, Eleventh edition. Washington, D.C.

Sojka, R. E., Upchurch D. R., Borlaug N, E. 2003. Quality soil management or soil quality management: performance versus semantics. *Advances in Agronomy*, Volume 79.

Sotomayor-Ramírez, David. 2014. Fertilizantes y su manejo en sistemas de riego por goteo Colegio de Ciencias Agrícolas Universidad de Puerto Rico – Mayagüez.

SQI. 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA, Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute. Agricultural Research Service. USA.

Suarez DE C, F. 1980. Conservación de suelos. 3a edición. San José de Costa Rica

SWCS. 1996. Municipal solid waste management. Soil and water conservation society policy position statement. *Journal of soil and water conservation*. Special publication 60. Library of Congress: United States of America.

Thompson, L.M., Troeh, F.R. 2002. Los suelos y su fertilidad. Cuarta Edición. Editorial Reverté. Barcelona.

Thorntwaite, C, W, 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38.

UNESCO – MAB. 2001. Aprendiendo a luchar contra la desertificación. Francia.

United Nations Convention to Combat Desertification- UNCCD.1994. In those countries experiencing serious drought and /or desertification, particularly in Africa. Interim secretariat for the convention to combat desertification. Geneva Executive Center-C.P.76-1219 Châtelaine/Geneve.

Universidad Nacional de Colombia. 2012. Red nacional de conservación de suelos y aguas. Documento técnico informativo. Medellín.

USDA –NRCS. United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service Soil Quality Institute. 2001. Guidelines for soil quality assessment in conservation planning. Washington, D.C.

Van Der Hammen, E. 2003. La estratigrafía e historia del Neógeno y Cuaternario de la cuenca alta del río Bogotá: Una evaluación después de completar el mapeo., Bogotá.

Vega M, B., Febles J, M. 2005. La investigación de los suelos erosionados: Métodos e índices diagnósticos. Minería y Geología. Revista de ciencias de la tierra. Vol 1 No.2.

Vega, M, B., Febles, J, M. 2006. Evaluación de la erosividad de la lluvia en regiones agropecuarias de la porción central de la provincia de la habana. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas Tomo 40. No.2.

Ven Te Chow., Maidment., Mays. 1994. Hidrología aplicada. Editorial McGraw-Hill, Bogotá, Colombia.

Veronese, Júnior, V., Carvalho, M, P., Dafonte, J., Freddi, O, S., Vidal, Vázquez, E., Ingaramo, O, E. 2006. Spatial variability of soil bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. Soil Biol Biochem. 39.

Villota, H. 1994. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Subdirección de Docencia e Investigación. Bogotá.

Wakiyama, Y., Onda, Y., Mizugaki, S., Asai, H., Hiramatsu, S. 2010. Soil erosion rate on forested mountain hillslopes estimated using Cs-137 and 210Pbex. Geoderma 159.

Waliszewski, S, M., Rosa, M, In. 2003. Diferencias en concentración de plaguicidas organoclorados persistentes.

Walling, He, Appleby. 2002. Conversion models for use in soil erosion, soil redistribution and sedimentation investigations. Handbook for the assessment for soil erosional and sedimentation using environmental radionuclides. CVchapter 7.

Warkentin, B, P. 1995. The changing concept of soil quality. J. Soil Water Cons. 50.

Weibel, R., Heller, M. 1991. Digital Terrain Modelling in Geographical Information Systems: Principles and Applications John Wiley & sons.

Wischmeier, W, H., Smith, D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA-SEA, US. Govt. Printing Office, Washington, DC.

Wood, J. 1996. The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models. Zadeh, L. 1965. Fuzzy sets. Information and Control.

Xia, Min., Zhao, Bingzi., Xiyang, Hao., Zhang, Jiabao. 2015. Soil Quality in relation to agricultural production in the north China plain. Pedosphere. 25. Elsevier B.V. and Science Press.

Zevenbergen, L, W., Thorne, C, R. 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 12.

Zhou, S. et al. 2010. Crowd modeling and simulation technologie', ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, 20. TeesRep - Teesside University's Research Repository.

Zinck, A. 1987. Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. Bogotá.

Zinck, J, Alfred. 2012. Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. ITC. Enschede, the Netherlands.

Zuñigfa. Henry. 2010. La pendiente compleja atributo del territorio, útil en el ordenamiento espacial del municipio. (Ensayo Técnico). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Medio Ambiente. Bogotá.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.

<http://www.asf.alaska.edu>, consultada en septiembre, 2016

<http://asterweb.jpl.nasa.gov/GDEM.ASP>, consultado febrero 2016.

<http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos>. Consultada noviembre de 2015.

<http://geocvc.co/pdf/GuiaCoberturaUso.pdf>, consultada en diciembre de 2015.

http://www.ideam.gov.co/informacion_ambiental.html. Consultado en mayo de 2015.

http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronomicas/c2003471951renares6.pdf. Consultada en abril de 2015.

http://www.nrcs.usda.gov/partners/for_homeowners.html. Consultado en Marzo de 2015

www.icde.org.co, consultada abril. 2016.

www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos. Consultado octubre 2015.