

**ANÁLISIS DEL RIESGO POR EROSIÓN EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ,
CUNDINAMARCA.**

SHARON DANIELA BARRETO ROJAS

JULIETH TATIANA MUÑOZ POLANCO

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AMBIENTAL
FACATATIVÁ**

2020

**ANÁLISIS DEL RIESGO POR EROSIÓN EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ,
CUNDINAMARCA.**

SHARON DANIELA BARRETO ROJAS

JULIETH TATIANA MUÑOZ POLANCO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

Ingeniera ambiental

Director

Ing. Jhon Jairo Castañeda Fandiño

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AMBIENTAL
FACATATIVÁ
2020**

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia Agradecer a Dios por permitirnos culminar este trabajo de la mano de él. También agradecemos a nuestro tutor de tesis por la confianza puesta en nosotras, por la motivación y el conocimiento brindado durante la realización de esta monografía. Agradecemos a la universidad de Cundinamarca, por las herramientas brindadas para obtener nuestro título y a cada maestro que influyo en el recorrido del pregrado y guiaron nuestros pasos hasta el día de hoy.

Agradecemos a nuestros padres y a las personas que siempre nos apoyaron y no dudaron de nosotras y de nuestras capacidades para hacer de esto un triunfo dentro de nuestro camino a obtener el título.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, la sabiduría, la paciencia y el esmero para presentar esta monografía a pesar de las dificultades y obstáculos que se dieron durante el camino. A mi hija, quien fue mi motivación para iniciar mi carrera, quien me brindó mis mayores alegrías en este tiempo y sé que me las brindará para el resto de la vida si Dios lo permite, y así mismo me motivo cada semestre para continuar y finalizar este arduo proyecto en mi vida. A mi mamá quien me apoyo, creyó en mí y no me dejó caer en el transcurso de la carrera, A mis padrinos quienes me ayudaron económicamente cada que las cosas se ponían difíciles, A mi mejor amiga quién es mi compañera de trabajo de grado, por su paciencia, por su apoyo, y por cada uno de los buenos y malos momentos que se dieron en el camino, que nos fortalecieron y nos mantuvieron unidas todo este tiempo.

Julieth Tatiana Muñoz Polanco

Principalmente a Dios por brindarme todas las capacidades necesarias para culminar esta etapa, a mi mamá que fue el principal motivo para levantarme día a día pensando en que algún día estaría muy orgullosa y yo podría retribuirle todo lo que hace por mí, a mi abuela por su apoyo incondicional, ya que, sin ellas no estaría donde estoy, a mi hermana que siempre estuvo dispuesta a acompañarme en mis traspasadas, a mi novio que siempre me motivo a ser la mejor y a no rendirme, a familia en general que siempre me ayudo y creyeron en mí, a mi amiga con la que presento este proyecto que más que eso ha sido como mi familia, gracias por siempre estar, por tanto esfuerzo, compañía y aventuras, que orgullosa me siento de saber que iniciamos este camino juntas y de igual manera lo terminamos, a todos mis compañeros que hicieron parte de este camino y a todos lo que quizás se me escapan les dedico este logro y espero nunca dejemos de luchar por eso que tanto queremos.

Sharon Daniela Barreto Rojas

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo la realización del análisis de la zonificación del riesgo por erosión en el municipio de Facatativá, Cundinamarca, por lo que se calculó la amenaza por medio de la metodología RUSLE, y la vulnerabilidad teniendo en cuenta la exposición de la cobertura del suelo, la topografía y los ecosistemas. Se realizó cartografía base entre escalas 1:70.000 y 1:100.000, partir de datos extraídos de la CAR, IDEAM, IGAC, EARTH EXPLORER, Alcaldía de Facatativá, entre otros, lo cual permitió identificar aspectos determinantes del municipio en cuanto al riesgo por erosión como es el caso de las inclinaciones y/o pendientes allí presentes en donde se aumentan el riesgo, de igual manera comprenden las zonas con mayor vegetación, las cuales, son más vulnerables como consecuencia de la deforestación o las actividades económicas que se desarrollan en estas zonas, adicional a esto se proponen estrategias que permitan minimizar el riesgo por erosión encontrado a lo largo del municipio.

Palabras clave: SIG, amenaza, vulnerabilidad, RUSLE, zonificación, riesgo.

Abstract

The objective of this study was to carry out an analysis of the environmental zoning of the risk of erosion in the municipality of Facatativá, Cundinamarca, for which the threat was calculated through the RUSLE methodology, and the vulnerability taking into account the ground cover, topography and ecosystems. Base cartography between scales 1: 70,000 and 1: 100,000 was made, based on data extracted from CAR, IDEAM, IGAC, EARTH EXPLORER, Facatativá Mayor's Office, among others, which allowed identifying determining aspects of the municipality in terms of erosion risk. As is the case of the inclinations and / or slopes present there where the risk is increased, in the same way they comprise the areas with greater vegetation, which are more vulnerable as a result of deforestation or the economic activities that take place in these zones, in addition to this, strategies are proposed to minimize the risk of erosion found throughout the municipality.

Keywords: GIS, threat, vulnerability, RUSLE, zoning, risk.

Tabla de contenido

Introducción.....	12
Planteamiento del Problema.....	13
Justificación.....	14
Objetivos.....	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.....	15
Marco referencial.....	16
Marco teórico.....	16
Marco conceptual.....	19
<i>Suelo</i>	19
<i>Erosión</i>	20
<i>Tipos de erosión</i>	20
Erosión hídrica	20
Erosión eólica	20
Erosión antrópica	21
<i>Grados de erosión</i>	21
Erosión ligera	21
Erosión moderada	21
Erosión severa	21
Erosión muy severa	21
<i>Estimación del riesgo por erosión</i>	21
Marco geográfico y demográfico	22
Metodología.....	24
Etapa de planeación.....	24
<i>Definición del área de estudio</i>	24
<i>Recolección de información</i>	24
Área de estudio	24
Curvas de nivel	24
Amenaza	24
Vulnerabilidad	26

Riesgo	26
Elaboración de mapas	26
<i>Identificación del municipio de Facatativá</i>	26
<i>Amenaza por erosión</i>	28
Factor R (Erosividad de la lluvia)	29
Factor K (Erodabilidad del suelo)	31
Factor LS	32
Factor C (Cobertura o manejo)	33
Factor P (Prácticas de conservación del suelo)	34
Factor A (Pérdida de suelos- Amenaza)	35
<i>Vulnerabilidad por erosión</i>	35
Clasificación según la vulnerabilidad	37
<i>Riesgo por erosión</i>	38
Propuestas de alternativas de manejo a la erosión del municipio de Facatativá	40
Resultados y discusión	40
Análisis de información espacial cartográfica y secundaria	40
<i>Descripción del área de estudio</i>	40
<i>Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad en el municipio de Facatativá</i>	42
Amenaza por erosión en el municipio de Facatativá	42
<i>Factor R</i>	42
<i>Factor K</i>	42
<i>Factor LS</i>	48
<i>Factor C</i>	48
<i>Factor P</i>	49
<i>Factor A (Amenaza en el municipio de Facatativá)</i>	50
Vulnerabilidad por erosión en el municipio de Facatativá	53
Zonificación de riesgo por erosión del municipio de Facatativá	60
Propuesta de alternativas de manejo a la erosión del municipio de Facatativá	64
<i>Franjas de filtración con vegetación</i>	65
<i>Empalizada trenzada</i>	67
<i>Fajinas Vivas</i>	68

Zonas de protección	70
Conclusiones	71
Recomendaciones	74
Referencias	75

Lista de Anexos

Anexo 1. Especificaciones técnicas de la información geográfica utilizada como fuente siguiendo las normas técnicas colombianas NTC 4611:2011 y NTC 5043:2010.....	83
Anexo 2. Estaciones pluviométricas y datos de precipitación.....	86
Anexo 3. Factor K, a partir de textura y porcentaje de materia orgánica.	91
Anexo 4. Mapa de la red hídrica del Municipio de Facatativá.....	92
Anexo 5. Mapa de Curvas de Nivel del Municipio de Facatativá.....	93
Anexo 6. Mapa de localización de estaciones meteorológicas.....	94
Anexo 7. Mapa de Factor R, según metodología RUSLE.....	95
Anexo 8. Mapa de Unidades de paisaje del municipio de Facatativá.....	96
Anexo 9. Mapa del Factor K, según metodología RUSLE.....	97
Anexo 10. Mapa del Factor LS, según metodología RUSLE.....	98
Anexo 11. Mapa del Factor C, según metodología RUSLE.....	99
Anexo 12. Mapa del Factor P, según metodología RUSLE	100
Anexo 13. Mapa de la Cobertura vegetal del Municipio de Facatativá.....	101
Anexo 14. Mapa de la Vulnerabilidad de la cobertura Vegetal del Municipio de Facatativá.....	102
Anexo 15. Mapa de la Vulnerabilidad del suelo del Municipio de Facatativá.....	103
Anexo 16. Mapa de la Vulnerabilidad Topográfica del Municipio de Facatativá.....	104
Anexo 17. Mapa de zonificación de riesgo por erosión teniendo presente la Red hídrica del Municipio de Facatativá.....	105
Anexo 18. Mapa de zonificación de riesgo por erosión teniendo presente la Red vial del Municipio de Facatativá.....	106
Anexo 19. Mapa de zonificación de riesgo por erosión teniendo presente las curvas de nivel del Municipio de Facatativá.....	107

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema metodológico para reconocimiento general del Municipio de Facatativá.....	27
Figura 2. Esquema metodológico para análisis de amenaza por erosión haciendo uso de SIG.....	28
Figura 3. Esquema metodológico para análisis de vulnerabilidad por erosión haciendo uso de SIG.....	36
Figura 4. Esquema metodológico para análisis de riesgo por erosión haciendo uso de SIG.....	38
Figura 5. Mapa de localización del municipio de Facatativá.....	41
Figura 6. Correlación de precipitación multianual promedio Vs. Factor R.....	42
Figura 7. Mapa de amenaza en el municipio de Facatativá, según metodología RUSLE.....	51
Figura 7.1. Mapa de amenaza en el municipio de Facatativá, según metodología RUSLE.....	52
Figura 8. Mapa de vulnerabilidad a la erosión del municipio de Facatativá.....	57
Figura 8.1. Mapa de vulnerabilidad a la erosión del municipio de Facatativá.....	59
Figura 9. Mapa de zonificación del riesgo por erosión del municipio de Facatativá.....	61

Lista de Imágenes

Imagen 1. Franjas de Filtración con Vegetación.....	66
Imagen 2. Empalizadas trenzadas diagonal a la pendiente.....	67
Imagen 3. Preparación de las fajinas.....	68
Imagen 4. Ubicación de estacas de contorno.....	69
Imagen 5. Apertura de zanjas.....	69
Imagen 6. Colocación de fajinas en zanjas.....	69
Imagen 7. Fijación de fajinas.....	70
Imagen 8. Relleno de zanjas y alrededor de las fajinas.....	70
Imagen 9. Instalación de fajinas en talud.....	70

Lista de tablas

Tabla 1. Estaciones meteorológicas para evaluar factor R.....	25
Tabla 2. Clasificación de IMF.....	30
Tabla 3. Clasificación de Factor R.....	31
Tabla 4. Clasificación de estructura.....	32
Tabla 5. Clasificación de permeabilidad.....	32

Tabla 6. Método de Shin.....35

Tabla 7. Clasificación de erosión según pérdida de suelos.....35

Tabla 8. Clasificación de la Vulnerabilidad.....37

Tabla 9. Clasificación del riesgo por erosión.....39

Tabla 10. Unidades de paisaje presentes en el municipio de Facatativá.....43

Tabla 11. Características de las unidades de paisaje presentes en el municipio de Facatativá.....44

Tabla 12. Factor K, asociado a las unidades de paisaje.....47

Tabla 13. Área (ha) amenazadas de acuerdo a la perdida de suelo.....50

Tabla 14. Cobertura del Suelo del Municipio de Facatativá, según Corine Land Cover.....53

Tabla 15. Área según la vulnerabilidad ecosistémica del municipio de Facatativá.....54

Tabla 16. Área según la vulnerabilidad del suelo en el municipio de Facatativá.....55

Tabla 17. Área según la vulnerabilidad topográfica del municipio de Facatativá.....56

Tabla 18. Vulnerabilidad del Municipio de Facatativá.....58

Tabla 19. Clasificación del riesgo por erosión en el municipio de Facatativá.....60

Tabla 20. Alternativas de manejo al riesgo por erosión hídrica.....64

Tabla 21. Datos estación Venecia.....86

Tabla 22. Datos estación El Tesoro.....87

Tabla 23. Datos estación Paloquemao.....87

Tabla 24. Datos estación Manjui.....88

Tabla 25. Datos estación Campobello.....88

Tabla 26. Datos estación Bojacá.....89

Tabla 27. Datos estación La Pradera.....89

Tabla 28. Datos estación Argentina.....90

Tabla 29. Datos estación Sabaneta.....90

Introducción

El suelo ha tenido diferentes definiciones según la época en la que se ha encontrado y el autor que lo define, sin embargo, todas reúnen que el suelo es la capa superficial de la tierra, en donde, se crea un espacio dinámico que permite la interacción entre diferentes organismos vivos, es decir, que este no es el simple producto de la meteorización, sino que por el contrario es el resultado del desarrollo de los diferentes ecosistemas por lo que está expuesto a diferentes cambios o impactos tales como la erosión.

La erosión en los suelos asociada a procesos naturales se puede presentar por acción del agua y el viento, sin embargo, esta es considerada como degradación cuando a su vez se presentan actividades antrópicas, tales como agricultura, ganadería, turismo, explotación de minerales, entre otros, las cuales aceleran e intensifican el proceso además de generar problemas sociales, económicos, culturales y ambientales (SIAC, s.f).

La degradación de suelos a nivel mundial costo alrededor del 10% del producto anual mundial en el 2010, debido a la pérdida de biodiversidad y los servicios de los ecosistemas principalmente por actividades antrópicas, esto ha llevado a que incremente la pérdida de especies nativas, el cambio climático y los conflictos del territorio (Ipbes, s.f).

Colombia presenta cerca del 24% de territorios susceptibles a la desertificación y el 0,7 ya presentan procesos de esta, lo que ha llevado a que se degraden diferentes zonas del país (IDEAM, 2019). En vista de que en el municipio de Facatativá se presenta tala indiscriminada de bosques, agricultura intensiva, pastoreo, minería, auge de urbanizaciones e implementación errada de especies para la recuperación de suelos que por el contrario han generado daños irreparables; a lo que se le suma la acción del agua bien sea por ríos y/o lluvias incrementa la erosión en los suelos del municipio (Lobatón y Marín, 2011).

Por el escenario presentado anteriormente surge el interés de estimar el riesgo por erosión que se presenta a lo largo del municipio, como el producto de la amenaza evaluada a través de la ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE), propuesta por Renard, et al, por la vulnerabilidad evaluada a través de la exposición a pendientes, de la cobertura y el suelo, haciendo uso de los sistemas de información geográfica (SIG), los cuales permiten obtener información cuantitativa sobre el riesgo para posteriormente generar un manejo adecuado, garantizando la mejora del ecosistema.

Planteamiento del problema

En los últimos años, Facatativá ha sido uno de los municipios con mayor crecimiento poblacional en el departamento de Cundinamarca, lo que se le atribuye al desarrollo de diferentes actividades económicas como comercio, turismo, agricultura, ganadería, minería, etc., dicho crecimiento ha generado diferentes problemáticas como cambio drástico del uso del suelo por presencia de asentamientos subnormales, delimitación casi nula de las zonas usadas para actividades de agricultura y ganadería, turismo intensivo, mala disposición del recurso hídrico, entre otros.

Es importante resaltar que Facatativá cuenta con gran cantidad de zonas montañosas y onduladas, en donde la erosión puede activarse más fácilmente por las actividades mencionadas anteriormente que allí se desarrollan, sin embargo, en el municipio no se han realizado estudios y/o investigaciones de este tipo que integren la conservación de los recursos naturales como el suelo, ya que, la mayoría de estudios son de escala nacional o regional, pero no profundiza en municipios o veredas.

Teniendo en cuenta, que el plan de ordenamiento del municipio de Facatativá que se estableció en el año 2002 no ha sido actualizado en cuanto a los usos del suelo y la problemática ya mencionada, se busca realizar un estudio por medio de sistemas de información geográfica que permita el reconocimiento del riesgo por erosión en el municipio para posteriormente generar estrategias que permitan dar un manejo adecuado a la situación actual encontrada.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el nivel de riesgo por erosión que se presenta el municipio de Facatativá, Cundinamarca?

Justificación

Colombia como país integrante de las convenciones internacionales de las naciones unidas relacionadas con el cambio climático (UNCMCC), la lucha contra la desertificación y la sequía (UNCCD) y la diversidad biológica (CBD), ha adquirido compromisos con el fin de adoptar las medidas adecuadas para la conservación y manejo de los recursos naturales y mitigar los efectos adversos en beneficio a las generaciones presentes y futuras (IDEAM, 2015). Dentro de los principios de la agenda 21, se reconoce la diversidad biológica como un concepto abierto que involucra más allá de los componentes bióticos y abióticos, también su relación con la comunidad, seguridad alimentaria, salud, calidad de los recursos y ambiente limpio (IDEAM, 2015); por ello se establece una estructura general que involucra el conocimiento del sistema climático como un recurso compartido, para resolver el desafío del cambio en los recursos naturales, entre estos el suelo, internacionalmente se ha reconocido la desertificación como un problema de ende económico, social y ambiental, que involucra fenómenos de erosión, degradación, salinización, entre otros; considerado desafío, ya que la información en materia a la degradación por erosión del mismo, es escasa y presenta discrepancias en cuanto a metodología, terminología y cobertura de información, donde imposibilita el análisis de evolución de la degradación o un seguimiento y monitoreo para la información obtenida.

De acuerdo a lo antes mencionado, el municipio de Facatativá no presenta ningún plan de manejo y conservación del suelo, tampoco se han evidenciado estudios de la erosión y la desertificación a escala municipal, solo se han observado estudios de menor escala a manera investigativa por estudiantes de universidades dentro de la jurisdicción, por esto, se plantea el análisis de la zonificación de riesgo por erosión, siendo este un compromiso adquirido por el país y más aun teniendo en cuenta la diversidad de cobertura que presenta el suelo y el porcentaje de área rural que abarca aproximadamente el 96% del municipio (Plan de Desarrollo de Facatativá, 2020). Se considera que la erosión y la salinización son problemas de degradación importantes en el territorio por ello la necesidad de estudios que sirvan como base para la planeación del municipio de Facatativá; por tal motivo, se busca implementar la metodología de la ecuación universal de pérdida de suelos RUSLE, con el fin de generar datos confiables para el control y prevención de los procesos de degradación, evaluar factores en la producción agropecuaria y en la prestación de servicios ecosistémicos.

Objetivos

Objetivo general

Analizar el riesgo por erosión en el municipio de Facatativá, Cundinamarca.

Objetivos específicos

1. Analizar la información secundaria de los factores y mecanismos que pueden producir la erosión en el municipio.
2. Evaluar la amenaza y la vulnerabilidad por erosión mediante el uso de sistemas de información geográfica.
3. Proponer alternativas de manejo del suelo para mitigar los impactos generados en el municipio.

Marco referencial

Marco teórico

La degradación del suelo se ha evidenciado como un proceso dinámico, creciente, que arrastra consigo las propiedades ecosistémicas de este, siendo así de preocupación mundial (IDEAM, 2015). En Colombia se presentan áreas degradadas del 40%, donde el 20% se encuentra en un grado de erosión ligera, el 17% presenta erosión moderada y el 3% erosión severa y muy severa (IDEAM-MADS, 2014). La publicación, “Colombia se queda sin piel: Erosión afecta a casi medio país” donde reflexiona: “El suelo es la Piel de la Tierra. Y los árboles, su vestido”; indica que el 40% del territorio nacional colombiano esta erosionado, puesto a la pérdida de su cobertura vegetal de acuerdo con el primer mapa de degradación de suelos por erosión que se hace en Colombia. Según el IDEAM, son 45.461.000 has, que presentan algún grado de erosión teniendo en cuenta que este deterioro se presenta por etapas hasta hacerse irreversible. Los focos de erosión se encuentran en el caribe y en la zona de Magdalena- cauca, con deterioro severo, es decir, caldas con 82%, Cundinamarca, 80%, Cesar 81%, Córdoba 81%, Santander 79% y la guajira 79% (Herrera, 2015). La jurisdicción de la CAR tiene un área total de 1.829.677 hectáreas, de las cuales 1.594.469 hectáreas (87%) presentan algún grado de degradación de suelos por erosión y 158.225 (9%) hectáreas presentan procesos severos de erosión. Las subzonas hidrográficas con mayor magnitud de erosión son Río Seco y Magdalena (97%), Subcuenca Río Machetá-Cuenca Garagoa (94%), Río Suárez (90%), Río Bogotá (82%) y Río Sumapaz (75%) (IDEAM –UDCA 2015).

Para estimar la perdida por erosión en Colombia no se han definido estudios claros, por lo tanto, se plantea la zonificación de riesgo por erosión en el municipio a partir de la amenaza y la vulnerabilidad de la siguiente manera:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Realizando la amenaza con el uso de la ecuación universal de pérdida del suelo revisada (RUSLE) para el municipio de Facatativá. La RUSLE, es una metodología diseñada para abarcar aquellas limitaciones que presenta la ecuación universal de la pérdida del suelo (USLE) (FAO, 1979), siendo este segundo un método donde se cuantifica a partir de una evaluación *indirecta*, la pérdida del suelo y la degradación por erosión hídrica (Ibañez, Moreno y Gisbert, 2012). Para la

RUSLE, se usa la siguiente ecuación con el fin de evaluar los principales factores que se vean involucrados en la degradación del suelo (Contreras, Bonilla y Troncoso, 2012).

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde A representa la amenaza a la pérdida del suelo, R es el valor obtenido para la erosividad de las precipitaciones, K representa la cantidad promedio del suelo perdido por unidad del factor R, conocido como el factor de la erodabilidad del suelo, L se relaciona con el factor S representando los valores de longitud e inclinación de la pendiente, C es el factor de cobertura y P de prácticas de manejo y conservación del suelo (Clérici, y García, 2001., Ibañez *et al*, 2012).

La vulnerabilidad mide la susceptibilidad del terreno (Zambrano, 2020), se relaciona con el suelo, la pendiente y la cobertura del área de estudio con el fin de conocer la fragilidad de un sistema al fenómeno erosivo que se pueda presentar (Muro, 2010).

Se ha hecho el uso de la metodología de la RUSLE en varias partes del mundo, un ejemplo de esto es, en Uruguay al sur de la cuenca del Río de La Plata, se hizo uso de la ecuación para estimar las tasas de erosión del suelo con el fin de generar manejos para los cultivos que se dan en la región de la Cuenca, así mismo se evidencia el potencial de la metodología para realizar la evaluación del suelo degradado sin la necesidad de realizar el soporte experimental (Clérici y García, 2001). En Colombia se determinó el riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, donde se seleccionaron diferentes tipos de suelo acorde a las condiciones climáticas del área estudiada, identificando el material parental acorde a la pendiente, en fase de campo se tomaron 36 muestras de suelo a profundidad de 0 a 10 cm, seguido a esto se llevó a cabo la estimación de los resultados en el laboratorio para analizar las propiedades físicas y químicas del suelo, consigo se llevó a cabo la recopilación de datos primarios, tomando una imagen ASTER GLOBAL, para identificar la topografía del terreno, la cobertura, entre otros, así mismo se obtuvo información de la red climática de Federación Nacional de Cafeteros Cenife y datos de erodabilidad, estos datos antes recolectados se tomaron como insumo para calcular la pérdida de suelos por erosión hídrica con la RUSLE, aplicando algebra de mapas del programa ArcGIS, con cada uno de los factores antes mencionados, R, K, L, S, C, P; dando resultados a características propias de la región de estudio (Castro, Lince y Riaño, 2016). Realizado esto, la zona cafetera brinda un área de 43% de erosión ligera, 30% baja, 21% moderada, 4% Alta y solo un 2% muy alta; dando resultados claros para proponer prácticas de conservación (Castro *et al*, 2016).

En la capital colombiana, Bogotá, se buscó determinar qué zonas presentaban erosión hídrica con el uso de la RUSLE, inicialmente se recolectó información de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación, cartografía, para realizar la consolidación de los datos en ArcGIS, se realizaron los procesos digitales para cada factor de la RUSLE, se llevó a cabo el cálculo y el análisis de los resultados obtenidos; a partir del mapa de erosión hídrica de Bogotá, se eligieron 4 zonas dentro de la capital, estas zonas se eligieron para profundizar en sucesos ocurridos durante el año 2013, cuando se evidenció la ola invernal; con la finalidad de realizar una comparación entre los eventos reales y la exactitud que brinda la metodología con el uso de sistemas de información geográfica (Castillo y Estrada, 2016). La primera zona fue el barrio Rosales, donde se presentaron 2 deslizamientos, la segunda es la localidad de San Cristóbal, donde el sector se abrió y se erosionó después de presenciar un fuerte aguacero, el tercero es la localidad de Usme con dos deslizamientos y el cuarto en la localidad de Sumapaz; cada uno de los valores brindados por el análisis elaborado con sistemas de información geográfica se comparó con estas 4 zonas, evidenciando los certeros que pueden ser los cálculos realizados a partir de ArcGIS, los datos arrojaron mayor pérdida del suelo en zonas donde hay variaciones altitudinales, por la escorrentía que causa la pendiente y el arrastre de materiales (Castillo y Estrada, 2016).

En otro estudio realizado se observó en Cartagena de Indias, donde se buscaba la determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterio, se diseñaron índices para evaluar los principales factores implicados en la amenaza, la vulnerabilidad y la erosión, y se dividieron en cuatro contextos; físico, social, de la conservación y patrimonio, a cada una de estas variables se le asignó un grado de influencia en la amenaza y vulnerabilidad al fenómeno erosivo, calificada en un rango de 1 a 5, donde 1 es el menor rango y 5 el mayor, seguido a esto se hace una ponderación en función a la importancia de cada parámetro para determinar la vulnerabilidad y luego el riesgo de la línea costera de Cartagena de Indias donde se determinó la variable determinante, indirecta y secundaria, calculando así la vulnerabilidad, arrojando la vulnerabilidad social, alcanzando un 56,41% del total evaluado una vulnerabilidad baja, de tipo ecológico el mayor porcentaje se evidencia en el rango más alto con un porcentaje de 53,29% debido a la presencia del Parque Natural Corales del Rosario y San Bernardo, por otra parte, para la vulnerabilidad del patrimonio se evidenció solo un 5% vulnerable en este parámetro (Rangel y Posada, 2013).

El área de interés es Facatativá, conformado por 14 veredas Corito, Cuatro esquinas, El Corzo, La Selva, La Tribuna, Los Manzanos, Mancilla, Moyano, Paso Ancho, Prado, Pueblo Viejo, siendo en su mayor proporción área rural (Plan de desarrollo de Facatativá, 2020). Según la literatura el área total de Facatativá es de 14931,25 Hectáreas, donde el 94,5% del municipio presenta baja susceptibilidad a la erodabilidad, y en algunos otros sitios se presenta se presenta media susceptibilidad representada por un área de 868,75 hectáreas (Alcaldía de Facatativá, 2012). Se busca verificar esta información presentada por la alcaldía municipal, corroborar y analizar los datos obtenidos del riesgo por erosión en el municipio, para plantear alternativas de manejo del suelo.

Marco conceptual

Suelo

Es un recurso natural que ha tenido diferentes definiciones a lo largo de la historia, como se muestra a continuación:

Aquellos horizontes de la roca que diaria o casi diariamente cambian sus relaciones bajo la influencia conjunta del agua, el aire y varias formas de organismos vivos y muertos (Dokuchaev,1886).

Es el material no consolidado en la superficie de la tierra que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres, y el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales: Material parental, clima, macro y microorganismos y topografía, todos actuando durante un lapso de tiempo y generando un producto: el suelo, que difiere del material del cual se derivó en varias propiedades y características físicas, químicas, biológicas y morfológicas (Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, 1984).

Es aquella delgada capa, de pocos centímetros hasta algunos metros de espesor, de material terroso, no consolidado, que se forma en la interface (atmósfera, biosfera, litosfera). En ella interactúan elementos de la atmósfera e hidrosfera (aire, agua, temperatura, viento, etc.), de la litosfera (rocas, sedimentos) y de la biosfera y se realizan intercambios de materiales y energía entre lo inerte y lo vivo, produciéndose una enorme complejidad (Jaramillo et al, 1994).

Es una interface donde interactúan diferentes partes: la litosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera; sirve como medio de crecimiento para una variada comunidad de organismos vivos (Tarbuck y Lutgens, 1999).

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, se reúne que el suelo es un recurso natural donde se lleva a cabo procesos entre componentes físicos, químicos y vivos, se considera no renovable debido a la susceptibilidad que presenta por su complejidad y dinamismo, lo que hace más difícil su recuperación.

El suelo se puede ver afectado de manera natural por la lluvia o el viento, sin embargo, esto puede convertirse en procesos de erosión acelerados debido a las actividades antrópicas que desarrolla el ser humano en su diario vivir, no siempre es fácil distinguir la una de la otra, ya que se encuentran estrechamente relacionadas.

Erosión

El termino proviene del latín erosio- ònis, que significa roedura. Esta es la pérdida físico-mecánica del suelo, con afectación en sus funciones y servicios ecosistémicos, que produce, entre otras, la reducción de la capacidad productiva de los mismos (Lal, 2001), según la Real Academia Española (RAE), esta se puede presentar por la fricción continua o violenta de un cuerpo con otro y/o por agentes externos como el agua y el viento (RAE, 2020).

Tipos de erosión

Según el IDEAM, se establece una clasificación referente a los tipos de erosión, los cuales consisten en:

Erosión hídrica (Natural). Es el proceso de pérdida de la capa superficial del suelo por disgregación y transporte de las partículas debido a la acción del agua (gotas de lluvia y escurrimiento superficial) (IDEAM, U.D.C.A, 2015).

Erosión eólica (Natural). Es el proceso de pérdida de la capa superficial del suelo por disgregación, remoción y transporte de las partículas del suelo por la acción del viento, barridas, arrastradas o levantadas por el aire (IDEAM, U.D.C.A, 2015).

Erosión Antrópica. Este tipo de erosión, hace alusión a la intervención del hombre mediante sus prácticas y tecnologías (IDEAM, U.D.C.A, 2015).

Grados de erosión

El grado de erosión es difícil de definir debido a que debe ser apropiado para todos los suelos y debe encajar con los tipos de erosión mencionados anteriormente (FAO, 2015), por lo que se ha clasificado de acuerdo a la estimación de la pérdida superficial del suelo, como se muestra a continuación:

Erosión ligera. En esta se evidencia daño a los horizontes superficiales del suelo, la pérdida puede estar entre un 25 a un 50 % del horizonte A, según su espesor y sus funciones bióticas se encuentran intactas (IDEAM, U.D.C.A, 2015).

Erosión moderada. En esta se evidencia clara remoción de los horizontes superficiales del suelo, con pérdidas entre el 50 al 75 % del horizonte A, en varias ocasiones aparece el horizonte B o C y sus funciones bióticas se encuentran parcialmente destruidas (IDEAM, U.D.C.A, 2015).

Erosión severa. En esta se evidencian horizontes superficiales completamente removidos y horizontes su superficiales expuestos, con pérdida mayor al 75% de su espesor, pérdida casi total del horizonte órgano-mineral, sus funciones bióticas se encuentran ampliamente destruidas y su vegetación es rala (IDEAM, U.D.C.A, 2015).

Erosión muy severa. En esta se evidencia pérdida total de los horizontes superficiales y sustancial de horizontes subsuperficiales, funciones bióticas completamente destruidas y la vegetación es muy rala o nula (IDEAM, U.D.C.A, 2015).

Estimación del riesgo por erosión

Para la estimación del riesgo existen métodos directos e indirectos, entre los directos destacan las parcelas experimentales en donde se obtienen resultados más confiables de la zona de estudio, mientras que los métodos indirectos se basan en el uso de modelos matemáticos.

En la actualidad se presentan diferentes modelos que permiten predecir y calcular un aproximado de la erosión del suelo, teniendo en cuenta diferentes variables y parámetros, que determinan causas y consecuencias de la erosión muy cercanos a la realidad, entre los que se destacan: USLE/RUSLE, ANSWERS, EPIC,USPED, SEAGIS, SLEM SA, entre otros.

RUSLE contempla la erosividad de la lluvia, susceptibilidad de erosión del suelo, longitud e inclinación de la pendiente, cobertura vegetal, manejo de cultivos y prácticas de conservación. Este

modelo estima la erosión a partir de la modelación de datos por medio de SIG, los cuales permiten a los usuarios finales crear consultas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio (MinEducación, 2020), por medio del software ArcGis que es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica (SIGSA & ESRI, 2016).

El uso de estas herramientas ha aumentado de gran manera siendo una manera sencilla y económica de acceder a la información de un territorio, la cual puede ser procesada y modificada según las necesidades investigativas, con el fin de obtener información efectiva, que permita dar respuesta a una problemática.

Marco geográfico y demográfico

El Municipio de Facatativá, se encuentra ubicado geográficamente en el extremo occidental de la Sabana de Bogotá D.C. a 36 Km de la ciudad capital, siendo así la cabeza de esta, conformando el 17,4% de la totalidad. Facatativá limita por el norte con el Municipio de Sasaima, la Vega, y San Francisco; por el Sur, con Zipacón y Bojacá; por el Oriente con Madrid y el Rosal; por el Occidente, con Anolaima y Albán; cuenta alturas entre 2580 a 3200 msnm, está conformado por 14 veredas, 20 centros poblados y 109 barrios, donde el 4% del municipio está representado por la zona urbana, y el 96% por la zona rural, teniendo en cuenta que este tiene una extensión de 159,6 Km² en donde 154,5 Km² comprenden la zona rural y 5,1 Km² la zona urbana.

Según el plan de desarrollo más reciente del municipio “Facatativá correcta, un propósito común, 2020-2024” el municipio se divide en 14 veredas, Corito, Cuatro esquinas, El Corzo, La Selva, La Tribuna, Los Manzanos, Mancilla, Moyano, Paso Ancho, Prado, Pueblo Viejo, Tierra Grata, San Rafael y Tierra Morada, de la ubicación del municipio de Facatativá se asegura que el municipio esta acentuado en mayor proporción a la zona rural y solo una pequeña parte se dispone para la zona urbana dentro de él.

Clima: En Facatativá predomina el clima frío propio de la sabana de Bogotá.

Temperatura: La temperatura promedio del municipio es de 12,9 °C, máxima de 22°C y mínima de 6°C en función a la época del año, y alturas que oscilan entre 2.580 y 3.200 msnm

debido a que el municipio se ubica dentro de dos ramificaciones de la cordillera oriental, formando los cerros característicos del municipio (Plan de desarrollo de Facatativá, 2020).

Hidrografía: El municipio cuenta con un buen porcentaje de aguas superficiales recorriendo toda el área de este como se observa en el mapa de la red hídrica del Municipio presentada en el Anexo 4, donde, según la literatura son fuente suficiente para abastecer el municipio y también es considerado productor de agua, apoyando que el municipio es una zona estratégica por sus recursos hídricos, entre los que se encuentran el río Botello y quebradas como La Muña, La Laja, Malabrigo, La Pava, El Vino, Los Manzanos, Mancilla, El Retiro, Cerro Negro, Yerbabuena y Chapinero.

Metodología

Etapa de planeación

En esta etapa se enfatizó en la plena recolección de la información necesaria, , las especificaciones técnicas de esta, según la NTC 4611:2011 y NTC 5043:2010, se encuentran en el Anexo 1.

Definición del área de estudio

Se eligió el municipio de Facatativá del cual se recolectaron datos espaciales suficientes para el análisis de información cartográfica por medio de sistemas de información geográfica, con la ayuda del software ArcGis 10.7.

Recolección de información.

Área de estudio. Para la identificación del municipio de Facatativá se tomó como componentes clave donde se seleccionó información del geoportal del DANE del año 2017, se recolecto la división política municipal y la red hídrica del departamento de Cundinamarca, seguido a esto se tomó el Shapefile brindado por el IDEAM-MADS del año 2012 sobre la cobertura del suelo a partir de la clasificación ecosistémica según Corine Land Cover.

Curvas de nivel. Para la elaboración de curvas de nivel del municipio se tomó el modelo digital de elevación, de la página de EARTH DATA, del sensor ALOS PALSAR, con una resolución de 12.5 m.

Amenaza. Para realizar el cálculo de la amenaza, se tomó diferente información debido a los factores que esta requería.

Para evaluar la erosividad de la lluvia se tomaron datos de precipitación mensuales y anuales promedio, de 9 estaciones meteorológicas con el fin de lograr mayor cobertura del municipio, estas se presentan en la tabla 1; Venecia, El Tesoro, Paloquemao, Manjui, Campobello, Bojacá, La Pradera y Argentina se tomaron del Sistema de Información Climatológica e Hidrológica (SICLICA) de la CAR y Sabaneta se tomó del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), estas estaciones se eligieron teniendo en cuenta que concordaran con la elevación del municipio de Facatativá (desde 2500 a 3200 msnm), el distanciamiento con el mismo que debía ser de 50 km en terreno plano y 20 km en terreno montañoso, finalmente los datos tomados correspondieron a un histórico de 15 años entre 2002 y 2016, ya que, en este se presentaban en su mayoría datos completos, confiables y sincrónicos.

Para que el uso de estos datos fuera preciso, inicialmente se realizó una revisión teniendo en cuenta la ocurrencia del fenómeno de la niña, posteriormente se hizo necesario realizar una corrección de datos faltantes, para la cual se puede hacer uso de 3 métodos: la regresión lineal, el método de relación normalizada y el método NSW, en este caso se eligió la relación normalizada, en donde se consideran promedios de precipitación anuales en periodos iguales, no normales, se tomaron 2 estaciones cercanas para obtener el dato de la estación faltante por medio de la ecuación 1.

$$Px = \frac{1}{n} * \left(\frac{Nx*PA}{NA} + \frac{Nx*PB}{NB} \dots \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Px= Precipitación anual de una estación X, para un año determinado.

n= Número de estaciones

Nx= Precipitación promedio de la estación x, para el mismo periodo que se obtiene la lluvia promedio de la estación A y B.

PA y PB= valores correspondientes a Px, de las estaciones A y B.

Tabla 1.

Estaciones meteorológicas para evaluar factor R

CÓDIGO	CAT	NOMBRE	MUNICIPIO	ELEV	LONG	LAT
2120629	CP	Venecia	Facatativá	2686	-74,39953	4,84414
2120069	PM	El Tesoro	Facatativá	2592	-74,31778	4,80039
2120652	CO	Paloquemao	Zipacón	2181	-74,40647	4,72975
2120274	PM	Manjui	Facatativá	3220	-74,38844	4,80242
2120173	PM	Campobello	Madrid	2561	-74,31106	4,75253
2120075	PM	Bojacá	Bojacá	2601	-74,34236	4,73139
2120044	PG	La Pradera	Subachoque	2824	-74,13606	5,00908
2120179	PG	Argentina	Quipile	2654	-74,51919	4,74839
23065100	LM	Sabaneta	La vega	2636	-74,31	4,9

Fuente: Elaboracion propia

Para la erodabilidad del suelo se tomaron las unidades de paisaje encontradas en el shapefile del Mapa de suelos del territorio colombiano a escala 1:100.000, del departamento de Cundinamarca, obtenido del Geoportal del IGAC.

Para la longitud de ladera, pendiente y las prácticas de conservación del suelo presente en el municipio de Facatativá, se tomó el DEM, mencionado para las curvas de nivel.

Para la cobertura y manejo del municipio de la página web “The United States Geological Survey” (USGS), se descargó una imagen multiespectral del sensor Sentinel-2A, del día 18 de febrero de 2020 con una resolución de 10 m y una nubosidad <30%, para mayor certeza y confiabilidad respecto al detalle necesario para evaluar el área de estudio.

Vulnerabilidad. Para realizar el cálculo de la vulnerabilidad para la clasificación del suelo se tomó información a partir de los datos abiertos del país a escala 1:100.000 del año 2015, desde la página datos.gov.co y se descargó el shapefile de la clasificación geológica del suelo de Colombia.

Para obtener la información de ecosistemas se tomó el shapefile del IDEAM-MADS del año 2012, donde se tenía la clasificación ecosistémica según Corine Land Cover para el departamento de Cundinamarca.

Al momento de adquirir la información de pendientes del municipio de Facatativá, de la página EARTH DATA se seleccionó el modelo digital de elevación, donde se realizó el polígono de la zona de estudio y se hizo la descarga de este.

Riesgo. La amenaza representa la probabilidad de que ocurra el fenómeno erosivo en el área y la vulnerabilidad si es muy susceptible esa zona a presentar erosión, al unirlos se obtendrá el riesgo que presenta el área a la erosión a partir de la siguiente ecuación.

$$Riesgo = Amenaza \times Vulnerabilidad$$

Para el mapa de la zonificación de riesgo por erosión, se tomaron los productos obtenidos del mapa de amenaza y el mapa de vulnerabilidad del municipio de Facatativá.

Elaboración de mapas

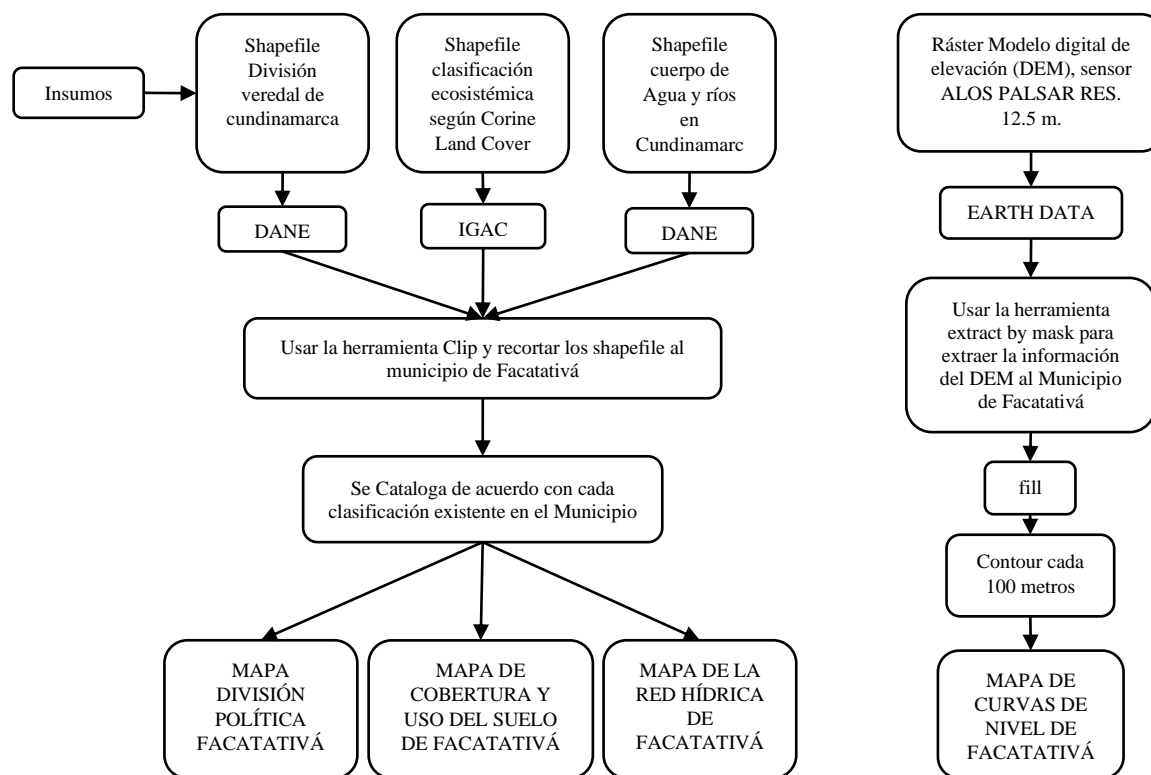
Identificación del municipio de Facatativá.

A partir de la información obtenida en la etapa de planeación, se realizó el clip para el municipio de Facatativá, para comparar la información brindada por la literatura obtenida a partir de los sistemas de información geográfica, así mismo, del producto obtenido de EARTH DATA, se realizó la extracción por máscara para el municipio, se hizo el relleno y luego el contorno cada 100 metros, donde se obtuvieron las curvas del municipio de Facatativá.

Para realizar la ubicación y la división política, el sistema de curvas de nivel, la estructura hídrica y coberturas usando sistemas de información geográfica se siguió el paso a paso presentado en la figura 1.

Figura 1.

Esquema metodológico para reconocimiento general del Municipio de Facatativá.



Fuente: Elaboración propia.

Amenaza por erosión

Metodología RUSLE, es la ecuación universal de la pérdida del suelo; la RUSLE, es una versión revisada de la USLE, en donde se busca superar limitaciones que esta presenta, es adecuada teniendo en cuenta que permite la computarización de algoritmos, ofrece métodos alternativos para estimación del factor K, C Y P, ya que su aplicación requiere en su totalidad la relación de los factores R, K,L,S,C Y P (FAO, 2020).

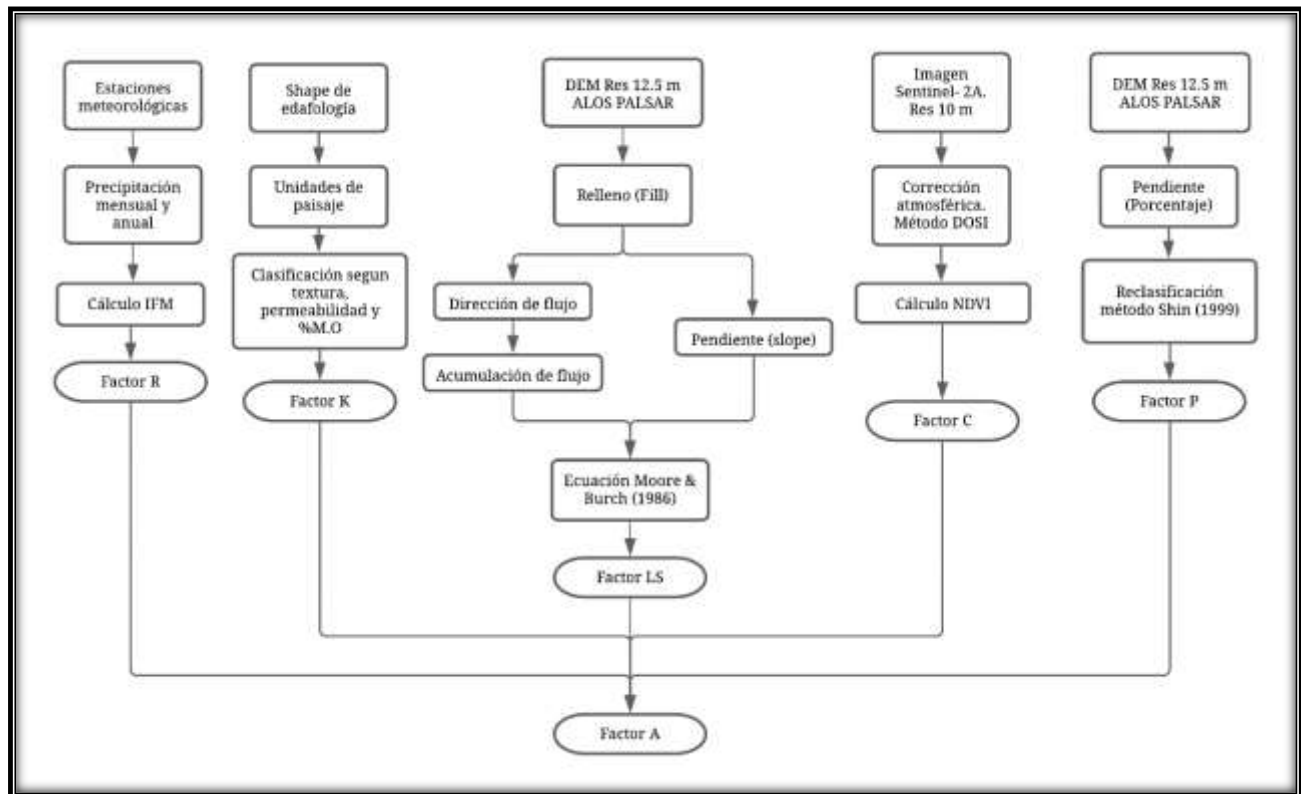
Se plantea el esquema mostrado en la figura 2, con el fin de calcular la amenaza por erosión, empleando la metodología RUSLE, mediante la elaboración de mapas y la correspondiente superposición para la posterior aplicación de la ecuación 2.

$$A = R * K * L * S * C * P.$$

Ecuación 2

Figura 2.

Esquema metodológico para análisis de amenaza por erosión haciendo uso de SIG.



Fuente: Elaboración propia.

Factor R (Erosividad de la lluvia). Este factor requiere información de precipitación con el fin de evaluar la influencia que tienen los aguaceros en la disgregación de las partículas del suelo, la compactación del mismo y/o los cambios en la capacidad de infiltración del mismo, estos datos son obtenidos por medio de pluviogramas, sin embargo, el acceso a esta información muchas veces pueden ser un problema, ya que, es escasa, por esta razón diversos autores han desarrollado maneras de calcular este factor de manera más sencilla.

Inicialmente Fournier (1960), estableció el índice de agresividad climática o índice de Fournier (IF), como se muestra en la ecuación 3.

$$IF = \frac{p^2}{pt} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

IF= Índice de Fournier (mm)

Pi= Precipitación del mes más lluvioso del año (mm)

Pt= Precipitación promedio anual (mm)

Sin embargo, este solo tiene en cuenta la precipitación media del mes más lluvioso de un determinado año, por tal motivo Arnoulds en 1978, propone el índice de Fournier modificado mostrado en la ecuación 4, teniendo en cuenta la precipitación de los 12 meses del año, la clasificación de los rangos para esta corrección se muestra en la tabla 2 (Besteiro & Delgado, 2011).

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{pi^2}{pt} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

IMF= Índice modificado de Fournier

Pi= Precipitación media mensual (mm)

Pt= Precipitación media anual (mm)

Tabla 2.

Clasificación de IMF

Clase	Rango	Clasificación
1	<60	Muy baja
2	60-90	Baja
3	90-120	Moderada
4	120-160	Alta
5	>160	Muy alta

Fuente: CEC (1992)

Teniendo en cuenta que, en Facatativá, conseguir información de precipitación diaria y por horas es tedioso debido a la escasez de los mismos en las estaciones elegidas, se decidió aplicar la ecuación 3, con la información obtenida de datos promedio mensuales y anuales, mostrados en el Anexo 1, seguido para la estimación del factor R, se utilizó la ecuación 5, propuesta por Ramírez, 2006 como se citó en Echeverri & Obando, 2010.

$$R = \sum_{12}^1 30,4 * (IFM) + 28,3 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

R= Factor de Erosividad (MJ*mm*ha⁻¹)

IFM = Índice modificado de Fournier (promedio mensual)

De acuerdo a las 9 estaciones tomadas para el estudio, se realizó una interpolación de tipo Spline regularizado, ya que, esta es ideal para representar fenómenos de variación suavizada como lo es la precipitación. En esta se estiman valores usando una función matemática, como se muestra en la ecuación 6, la cual minimiza la curvatura general de la superficie suave que pasa por los puntos de entrada (ESRI, 2016). Los valores obtenidos de R, se clasificaron según Rivera y Gómez (1991), como se muestra en la tabla 3.

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

j = Cantidad de puntos

λ_j = Coeficientes determinados por la solución de un sistema de ecuaciones lineales

r_j = Es la distancia del punto (x,y) al punto j .

$T(x,y) = a_1 + a_2x + a_3y$, donde a_i son coeficientes hallados mediante la resolución de un sistema de ecuaciones lineales.

$R(r) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{r^2}{4} \left[\ln \left(\frac{r}{2\tau} \right) + c - 1 \right] + \tau^2 \left[K_0 \left(\frac{r}{\tau} \right) + c + \ln \left(\frac{r}{2\pi} \right) \right] \right\}$, donde r = es la distancia entre el punto y la muestra, τ^2 es el parámetro peso, K_0 es la función Bessel modificada y $c = 0,577215$.

Tabla 3

Clasificación de Factor R

Erosividad R (MJ*mm*ha-1*a-1*h-1)	Clasificación
< 1.000	Natural
1.000-2.500	Muy baja
2.500-5.000	Baja
5.000- 7.500	Moderada
7.500-10.000	Alta
10.000-15.000	Muy alta
15.000-2.000	Severa
>20.000	Extremadamente severa

Fuente: Rivera & Gómez (1991)

Factor K (Erodabilidad del suelo). Este factor suele obtener valores de medidas realizadas en campo, al no contar con estas medidas se recurre a mapas edafológicos para asignar valores estimados, como es el caso del shapefile de Mapa de suelos del territorio colombiano a escala 1:100.000, del departamento de Cundinamarca.

Kirkby & Morgan (1980), interpolan el factor K, basándose en la textura del suelo y su % de materia orgánica (M.O), tal y como se muestra en el Anexo 3; de las unidades de paisaje encontradas se revisa su estructura (Tabla 4) y permeabilidad (Tabla 5) de acuerdo al mapa de

unidades de suelo de la Sabana de Bogotá (INGEOMINAS, 2004) y el informe de Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca del río Teusaca (CAR, 2006).

Tabla 4

Clasificación de estructura

Clase	Estructura
1	Granular muy fino
2	Granular Fino
3	Granular media a granular gruesa
4	Granular gruesa a grumos

Fuente: CAR, 2006.

Tabla 5

Clasificación de permeabilidad

Clase	Permeabilidad
1	Rápida
2	Moderadamente rápida
3	Moderada
4	Lenta a moderada
5	Lenta
6	Muy lenta

Fuente: CAR, 2006.

Factor LS. Este factor relaciona la longitud de la ladera (L) y su pendiente (S), por lo que ambos forman el factor conocido como LS, este se calculó mediante un modelo digital de elevación (DEM), usando la ecuación 7, propuesta por Moore & Burch, 1986 como se citó en Giménez, 2008.

$$LS = (\text{Flow accumulation} * (\text{cell size}) / 22,13)^{(0,4)} \cdot (\sin \text{slope} / 0,0896) ^{1,3} \quad \text{Ecuación 7}$$

Factor S (Pendiente- Slope)

Al DEM obtenido, se le realizó un relleno de sumideros, que consistió en una corrección al mismo, más conocido como Fill, se cargó y por medio de la herramienta pendiente (Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Slope), se obtuvo el factor S, para la aplicación de la ecuación se recomienda que este en radianes por lo que haciendo uso de la calculadora raster, se multiplico la pendiente obtenida por $\pi/180$.

Factor L (Longitud)

Con el Fill obtenido del Factor S, se realizó la dirección de flujo por medio de la herramienta flow direction (Arctoolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction), seguido se calculó la acumulación de flujo que sirve para conocer cómo se acumula el agua al fluir desde las celdas con mayor valor de altitud, por lo que requiere de la dirección del flujo (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation).

Retomando la ecuación del factor LS, se tuvo en cuenta que al multiplicar la acumulación de flujo por el tamaño de la celda se podría generar una sobrestimación del valor de longitud de pendiente y obtener valores exagerados de erosión, por tal motivo, se restringió la longitud con un valor máximo de 5, que requirió la elaboración de 2 capas nuevas.

- Capa A: Si acumulación de flujo ≤ 5 , tomará el valor de 1 y si acumulación de flujo > 5 , tomará el valor 0.
- Capa B: Si acumulación de flujo ≤ 5 , tomará el valor de 0 y si acumulación de flujo > 5 tomará el valor 5.

Finalmente se multiplico la capa de acumulación de flujo original por la capa A, en donde se conservaron los valores originales a excepción de las celdas que tenían un valor > 5 , que quedaron en 0, se le sumo la capa B, para que las celdas con valor de 0 tomaran el valor de 5, que fue el valor que se fijó; con esta nueva capa de acumulación de flujo se aplicó la ecuación 7 (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster calculator).

Factor C (Cobertura o manejo). A las bandas de la imagen Sentinel-2A se les realizó una corrección atmosférica utilizando la herramienta Semi-automatic classification plugin encontrada en QGIS.

Se trabajó con el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI), el cual fue propuesto por Rouse et al. (1974) con el fin de separar la vegetación del brillo que produce el suelo.

Este se basa en el comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con su actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas permitiendo determinar la vegetación vigorosa o sana (Diaz, 2015). La respuesta espectral de la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja (RED), y el Infrarrojo Cercano (NIR) (Govaerts & Verhulst, 2010), de donde surge la ecuación 8.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

NIR= Infrarrojo cercano (Banda 8- Sentinel 2A)

RED= Rojo (Banda 4- Sentinel 2A)

El rango de valores de NDVI, va de -1 a 1. Cuerpos de agua y vegetación en mal estado (Valores cercanos a -1), vegetación en estado óptimo y saludable (Valores cercanos a 1).

Para determinar el factor C, se empleó la metodología propuesta por Durigon et al. (2014), en donde establece la ecuación 9, idónea para países cercanos al Ecuador (Almagro et al, 2019).

$$C = 0.1 * \frac{-NDVI+1}{2} \quad \text{Ecuación 9}$$

Factor P (Prácticas de conservación del suelo). Debido a que no se tiene información verídica sobre las prácticas de conservación desarrolladas en el municipio de Facatativá, se optó por implementar la metodología de Shin (1999), en donde este Factor P, se determina mediante el porcentaje de pendiente (Slope), con respecto al contorneado, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.

Método de Shin.

Pendiente (%)	Contouring	Strip Cropping	Terracing
0-7,0	0,55	0,27	0,10
7,0 -11,3	0,60	0,30	0,12
11,3-17,6	0,80	0,40	0,16
17,6-26,8	0,90	0,45	0,18
>26,8	1,00	0,50	0,20

Fuente: Shin (1999).

Factor A (Pérdida de suelos- Amenaza). Para la estimación de la amenaza por erosión, se calculó el factor A por medio de un análisis espacial, usando la herramienta calculadora Raster (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster calculator), se realizó la superposición de los distintos factores aplicando la ecuación 2. Finalmente se realizó una reclasificación teniendo en cuenta los rangos de amenaza por erosión mostrados en la tabla 7.

Tabla 7

Clasificación de erosión según pérdida de suelos

Clasificación	Rango (ton/ha/año)
Incipiente	0-10
Ligera	10-50
Fuerte	50-200
Severa	>200

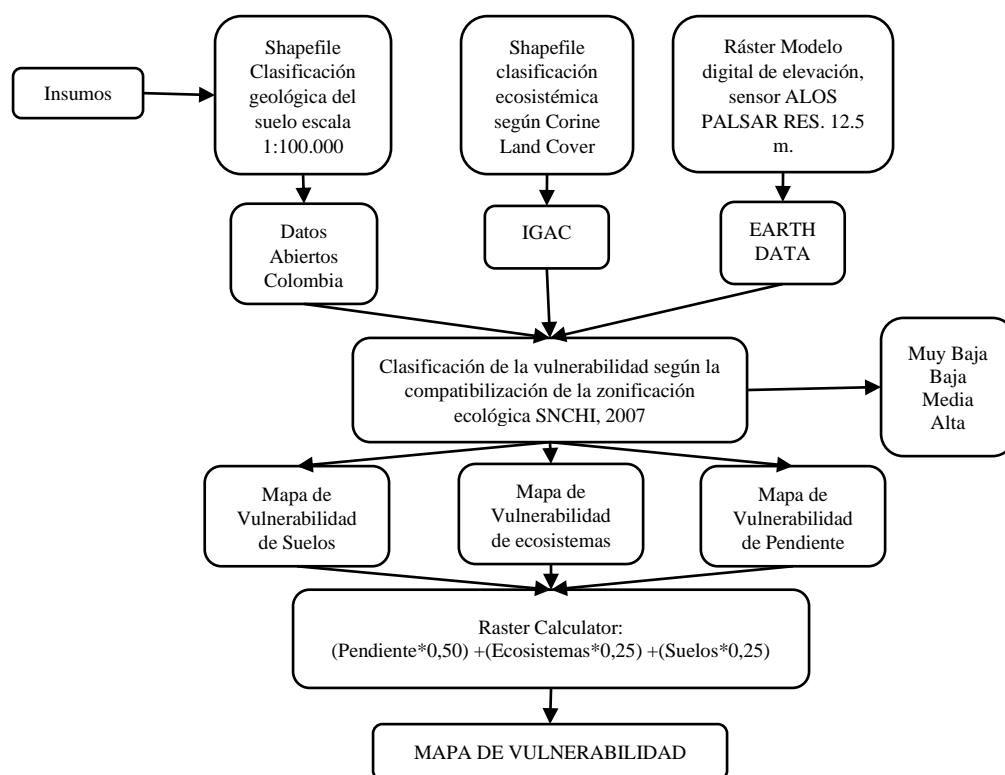
Fuente: FAO (1979)

Vulnerabilidad por erosión

Para la vulnerabilidad se llevó a cabo el proceso descrito en la figura 3, donde se evidencia como se llevó a cabo el cálculo de esta, y como se realizó el mapa de la vulnerabilidad para el municipio de Facatativá.

Figura 3.

Esquema metodológico para análisis de vulnerabilidad por erosión haciendo uso de SIG.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el shapefile presentado en la etapa de planeación se ingresó al programa de ArcGIS, donde se efectuó el recorte al municipio de Facatativá, reconociendo los diferentes tipos de suelo que se encuentran en él, por otra parte, con el de cobertura se hizo el recorte para el municipio de Facatativá y se clasificó el mapa según la cobertura vegetal presente en el municipio, luego el DEM descargado se pasó a ArcGIS, se realizó la extracción por máscara del modelo al municipio de Facatativá, después se hizo el relleno seguido de la máscara del municipio, ya obtenido el resultado de esta herramienta, se pasa a realizar la pendiente a través del porcentaje de elevación, se continua a reclasificar según el grado de vulnerabilidad.

Clasificación según la vulnerabilidad. Para el análisis de la vulnerabilidad se tomó como ejemplar la compatibilización de la zonificación ecológica realizado por el instituto amazónico de investigaciones científicas SINCHI, 2007, donde se califica la vulnerabilidad de acuerdo con el grado de la pendiente, la clasificación del suelo y ecosistemas presentes en el área de estudio.

En la tabla 8 se presenta los niveles planteados para la vulnerabilidad por erosión y el grado propuesto de acuerdo con la ubicación del ecosistema, la clasificación del suelo o la pendiente de este.

Tabla 8.

Clasificación de la Vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Clasificación	Descripción
1	MUY BAJA	No vulnerable a la erosión, suelos con bajo potencial de erosividad, sin la necesidad de implementar prácticas de manejo
2	BAJA	Unidades de suelo en el área ligeramente vulnerables, con mínima afectación al suelo y poca o nula necesidad de manejo.
3	MEDIA	Son unidades moderadamente vulnerables, con probabilidades de erosionarse y de necesario uso de alternativas contra la erosión.
4	ALTA	Unidades alta o extremadamente vulnerables, con fragilidad ecosistémica y alta vulnerabilidad a la erosión con altas probabilidades de afectar la calidad del suelo, con necesario manejo y prácticas para evitar la erosión.

Fuente: Elaboración propia

A partir de la clasificación presentada en la tabla 7, y a los datos obtenidos para cada uno de los mapas se realiza la clasificación de la vulnerabilidad de los ecosistemas, del suelo y la pendiente según el estudio realizado por SINCHI, 2007, y se le asigna un valor según los datos obtenidos para el municipio de Facatativá.

Ya realizado el paso anterior y obtenidos los mapas de vulnerabilidad geológica, vulnerabilidad ecosistémica y vulnerabilidad de acuerdo con la pendiente, se pasaron los mapas de

ecosistemas y suelos a ráster donde a través de la herramienta raster calculator se realizó el cálculo de la vulnerabilidad por erosión presentada en ecuación 10.

$$Vulnerabilidad = (Pendiente * 0,50) * (Suelos * 0,25) * (Ecosistemas * 0,25) \text{ Ecuación 10}$$

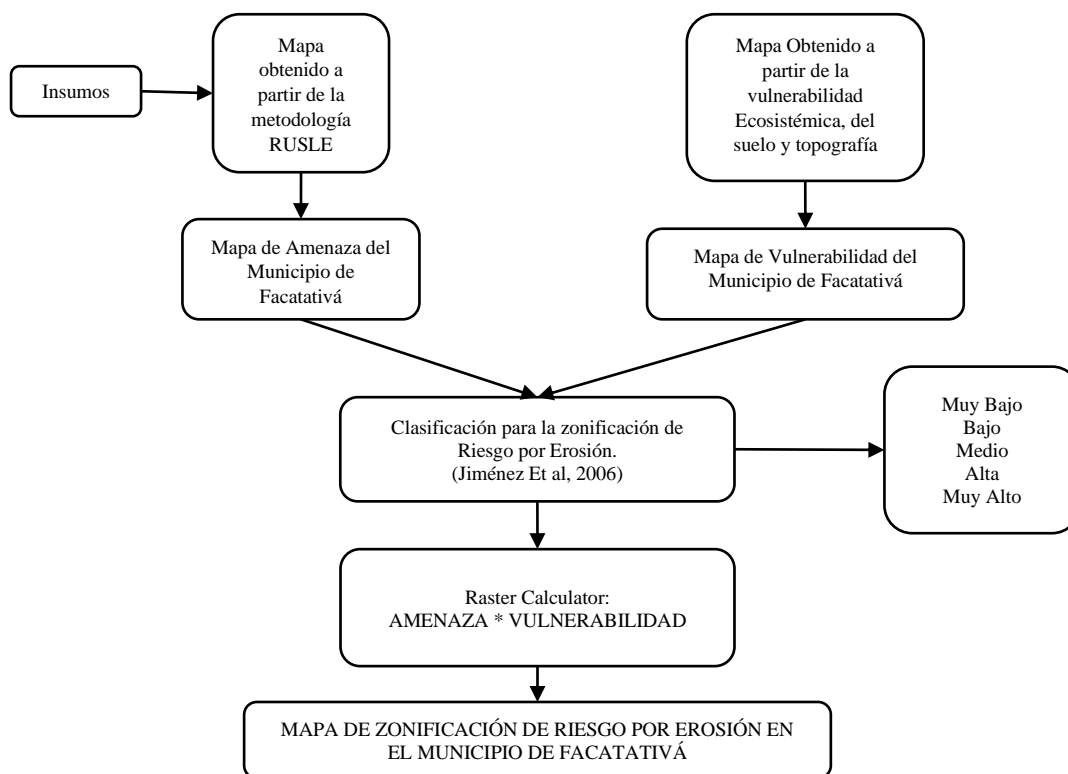
Se obtuvo la clasificación de la vulnerabilidad en el Municipio de Facatativá y se llevó a cabo la realización del mapa de vulnerabilidad final. Se tomó con mayor porcentaje la pendiente del municipio puesto a que según la literatura es la que tiene mayor probabilidad a erosionarse y conforma gran parte del área municipal, y menor porcentaje la cobertura y suelos, debido a que las condiciones que prevalecen se centra en las condiciones topográficas del terreno.

Riesgo por erosión

Para la elaboración del mapa de riesgo se presenta la figura 4, donde se identifican los insumos necesarios y el proceso realizado para la obtención de este.

Figura 4.

Esquema metodológico para análisis de riesgo por erosión haciendo uso de SIG.



Fuente: Elaboración Propia

Para realizar la zonificación de riesgo por erosión en el municipio se tomó el mapa final de amenaza obtenido a partir de la metodología RUSLE y el mapa de vulnerabilidad, seguido a esto se realizó la multiplicación con el uso de la herramienta Raster Calculator de ArcGIS, obteniendo así el riesgo por erosión del municipio de Facatativá.

Después del mapa elaborado se llevó a cabo una reclasificación de los valores obtenidos en intervalos iguales, y se catalogó el riesgo según la metodología para la zonificación del riesgo de erosión en cuencas andinas de la UNED del año 2006, presentado en la tabla 9.

Tabla 9.

Clasificación del riesgo por erosión

Grado del Riesgo	Clasificación	Descripción
1	MUY BAJO	Zonas donde no se presentarían pérdidas considerables del suelo, o suelo en su mayor parte inalterado por actividades humanas
2	BAJO	Zonas donde se puede presentar un grado de riesgo por erosión mínimo que puede controlarse con prácticas de manejo
3	MEDIO	La cobertura está expuesta y se le ha dado distintos usos al suelo provocando mayor riesgo a la erosión, pero con suficiente cobertura vegetal para mitigar los impactos erosivos.
4	ALTO	Son suelos con alto riesgo a erosionarse, no aptos para ninguna actividad antrópica, puesto a que aumenta las probabilidades de perder los servicios ecosistémicos de estos suelos.
5	MUY ALTO	Riesgo a la erosión muy elevado, presencia de escorrentía y arrastre de partículas, provocado por mayor pérdida de la vegetación y la evidencia de suelos desnudos.

Fuente: UNED, 2006.

Propuesta de alternativas de manejo a la erosión del municipio de Facatativá.

Para llevar a cabo la propuesta de alternativas, se realiza el análisis del riesgo por erosión del municipio, consigo se hace una revisión de la literatura y acorde a los resultados obtenidos se hace la selección de las alternativas que mayor se acoplan al suelo que presenta el municipio.

Resultados y discusión

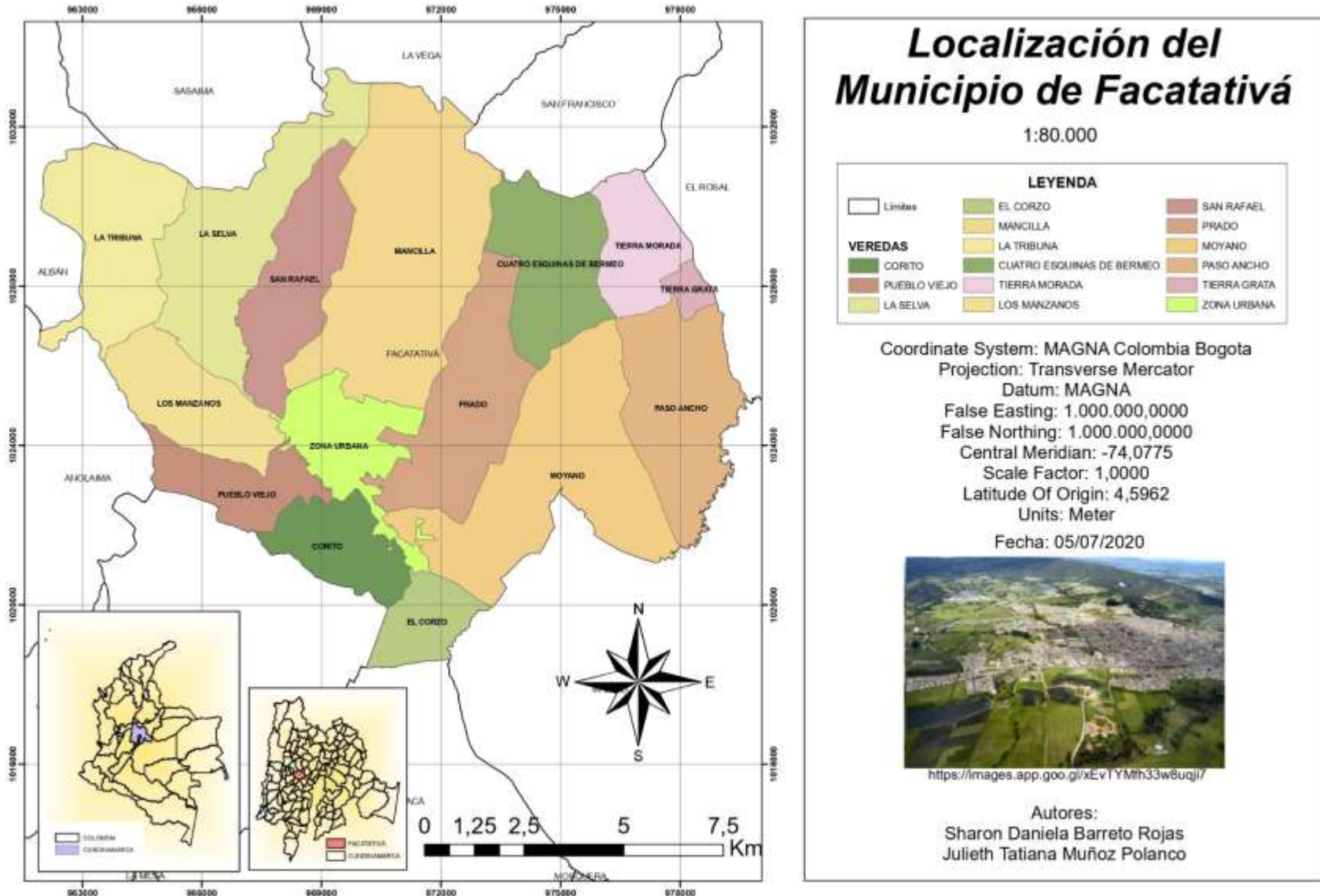
Análisis de información espacial cartográfica y secundaria

La obtención de información a partir de diferentes entidades permitió el desarrollo de esta sección, en la cual se expone la interpretación dada a cada factor o mecanismo que influye en la erosión del municipio de Facatativá.

Descripción del área de estudio

Gracias al reconocimiento que se le realizó al municipio, se pudo confirmar la información mostrada en el capítulo del marco geográfico, donde se expone que el municipio se divide en 14 veredas, Corito, Cuatro esquinas, El Corzo, La Selva, La Tribuna, Los Manzanos, Mancilla, Moyano, Paso Ancho, Prado, Pueblo Viejo, Tierra Grata, San Rafael y Tierra Morada, donde a partir de los sistemas de información geográfica se apoya esta información como se observa en la figura 5, a demás en los Anexos 4 y 5, se corroboran los datos de su red hídrica y las curvas de nivel en donde se muestran alturas entre los 2586 hasta los 3200 msnm aprox., respectivamente.

Figura 5. Mapa de localización del municipio de Facatativá.



Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de amenaza y vulnerabilidad en el municipio de Facatativá.

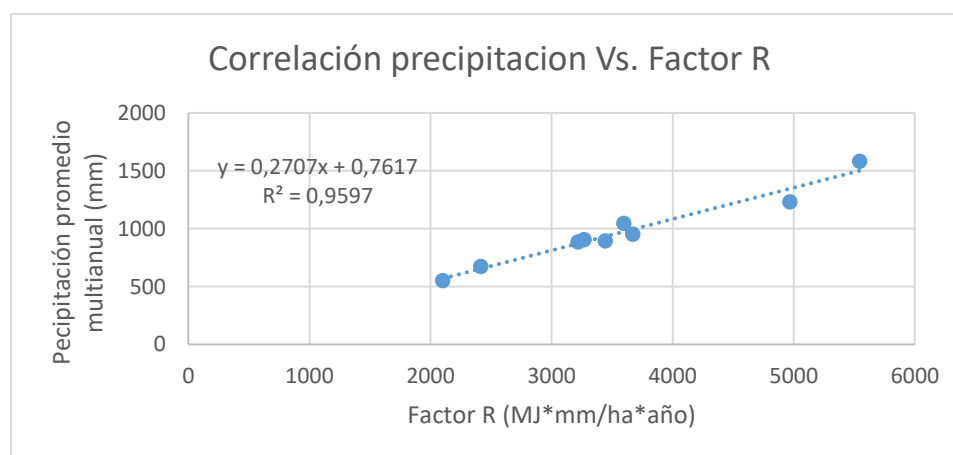
Amenaza por erosión en el municipio de Facatativá.

Factor R. Teniendo en cuenta que la erosividad por la lluvia, es aquella que representa la energía con la que caen las gotas al punto de romper los agregados superficiales dependiendo su intensidad (GEASIG), se puede decir que en Facatativá la agresividad de las mismas es baja, al arrojar un Factor R que fluctúa entre 2.500 y 5.000 MJ*mm/ha*año, esto quiere decir que aunque la gotas de lluvia generan un impacto sobre el suelo, este es mínimo y se reparte de manera uniforme en todo el municipio; cabe resaltar, que se tomaron las estaciones más cercanas al municipio, sin embargo, a nivel nacional aún se presentan falencias en la ubicación de estaciones meteorológicas como se puede observar en el Anexo 6, existiendo distancias considerables entre ellas, lo que puede inferir en los resultados de este factor.

En el Anexo 7, se puede observar la distribución del Factor R, según las 9 estaciones y sus valores de precipitación promedio anuales multianuales en un histórico del año 2002 al 2016, para observar la relación entre estos datos se presenta la figura 6 de correlación en donde se obtuvo un $R^2 = 0,9597$, es decir, que se presenta una relación lineal positiva.

Figura 6.

Correlación de precipitación multianual promedio Vs. Factor R.



Fuente: Elaboración propia

Factor K. El factor correspondiente a la erodabilidad del suelo, como se mencionó anteriormente precisa toma de muestras en campo (in situ), para evaluar con precisión su permeabilidad, estructura, textura, porcentaje de materia orgánica, entre otros, al no contar con

las posibilidades para realizar este procedimiento, se tomó otra metodología que consistía en el pleno uso de SIG, según lo establecido por Kirkby y Morgan (1980), partiendo de la información ofrecida por el shapefile del Mapa de suelos del territorio colombiano a escala 1:100.000, del departamento de Cundinamarca. Para el municipio de Facatativá, se encontraron 14 unidades de paisaje después de realizar un recorte, presentadas en la tabla 10.

Tabla 10

Unidades de paisaje presentes en el municipio de Facatativá.

Unidad de paisaje
MLCd
MLKc
MLKd
MLSg
MLTc
MLVe
MLVf
MMCd
RLOa
RLQa
RLQb
RMOb
RMQa
RMQb

Fuente: IGAC.

De estas unidades de paisaje mostradas en el Anexo 8, se buscó su % de materia orgánica y su textura partiendo del mapa de unidades de suelos de la sabana de Bogotá (INGEOMINAS, 2004), informe de “Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca del río Teusaca” (CAR, 2006) y el documento “Metodología para la identificación y caracterización de distritos de conservación de suelos en Colombia. Estudios de caso en la cuenca del río Bogotá” (López, 2017), de donde se obtuvo la tabla 11.

Tabla 11.

Características de las unidades de paisaje presentes al municipio de Facatativá.

Símbolo	Orden	Complejo	Paisaje y material litológico	Clase	Compact.	Salinidad	Materia Orgánica	Fertilidad
MLCd	Inceptisol	Humic Dystrudepts, Tepic Argiudells, Tepic Hapludand	Rocas clásticas arenosas, limo arcillosos y mantos de espesor variable de ceniza volcánica	Bien drenados, estructuras de moderadamente finas a moderadamente gruesas, profundos a superficiales, textura franca arcillo arenosa	Muy baja	Normal	Alta	Baja
MLKc y MLKd	Andisol	Pachic Melanudands, Typic Hapluclands, Andic Dystrudepts	Ceniza volcánica sobre depósitos clásticos, grangénicos, y rocas clásticas limo arcillosas	Bien drenados, estructuras medias a moderadamente gruesas, profundos, textura franca	Baja	Normal	Alta	Media
MLSg	Inceptisol	Typic Eutrudepts	Rocas clásticas limo arcillosos y depósitos de ceniza volcánica de espesor variable	Bien drenados, estructuras de moderadamente finas a moderadamente gruesas, profundos a superficiales, textura franco arcillosa	Baja	Normal	Media	Alta

MLTc	Andisol	Typic Hapludands, Andic Dystrudepts	Depósitos de ceniza volcánica que recubren rocas clásticas limo arcillosas	Bien drenados, estructuras finas a medias, moderadamente profundos, textura franca arcillo arenosa	Baja	Normal	Media	Baja
MLVe y MLVf	Inceptisol	Humic Lithic Eutrudepts, Typic Placudands, Dystric Eutrudepts	Rocas clásticas limo arcillosas, químicas carbonatadas y depósitos de espesor variable de ceniza volcánica	Moderadamente a bien drenados, estructuras finas a moderadamente gruesas, profundos a superficiales, de textura franco arcillosa	Baja	Normal	Muy alta	Alta
MMCd	Inceptisol	Humic Dystrudepts	Rocas clásticas arenosas y limo arcillosas	Moderadamente a bien drenados, estructuras medias a moderadamente finas, profundos, textura franco arcillosa	Muy baja	Normal	Muy alta	Baja
RLOa	Inceptisol	Typic Endeaquepts, Aeric Endoaquepts, Thaptic Hapludands	Depósitos de ceniza volcánica que recubren rocas clásticas limo arcillosas	Bien a pobremente drenados, estructuras finas a medias, profundos, textura franco arcillosa	Moderada	Normal	Muy alta	Media

RLQa y RLQb	Inceptisol y Andisol	Pachic, Melanudands, Andic Dystrudepts	Rocas clásticas limo arcillosas, químicas carbonatadas y depósitos de espesor variable de ceniza volcánica	Bien a imperfectamente drenados, estructuras finas a moderadamente gruesas, profundos a moderadamente profundos, textura franca arcillo limosa	Baja	Normal	Muy alta	Media
RMOb	Entisol	Aeric Eplaquents, Fluvaquentic Endeaquepts	Baja evolución	Pobres a muy pobremente drenados, estructuras finas, superficiales, textura arcillosa	Alta	Normal	Muy alta	Alta
RMQa y RMQb	N/A	Dachic Haplustands, Humic Haplustands, Fluventic Dystrustepts	Ceniza volcánica	Bien a moderadamente drenados, estructuras finas a moderadamente gruesas, profundos a muy profundos, textura franco arcillosa	Muy baja	Moderada	Muy alta	Media

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 11, se obtuvo el factor K de cada unidad de paisaje como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12.

Factor K, asociado a las unidades de paisaje.

Unidad de paisaje	Textura	% M.O	Estructura	Permeabilidad	Factor K
MLCd	Franco arcillo arenoso	5	3	2	0,028
MLKc	Franco	5	3	3	0,038
MLKd	Franco	5	3	3	0,038
MLSg	Franco arcilloso	2	3	4	0,032
MLTc	Franco arcillo arenoso	2	3	4	0,033
MLVe	Franco arcilloso	5	2	3	0,028
MLVf	Franco arcilloso	5	2	3	0,028
MMCd	Franco arcilloso	4	2	2	0,028
RLOa	Franco arcilloso	4	3	5	0,028
RLQa	Franco arcillo limoso	4	3	6	0,034
RLQb	Franco arcillo limoso	5	3	6	0,034
RMOb	Arcilloso	2	2	2	0,038
RMQa	Franco arcilloso	5	3	3	0,028
RMQb	Franco arcilloso	5	3	3	0,028

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 9, se puede observar la distribución del factor K, en las diferentes unidades de paisaje, siendo menor en las zonas que poseen suelos franco arcillosos y franco arcillo arenosos de unidades MLC, MLV, MMC, RLO y RMQ, las cuales son predominantes a lo largo del municipio, con un factor de 0,028 ton/MJ*mm y mayor en las zonas con suelos francos de unidades MLK, lo cual tiene mucho sentido debido a que estos suelos tienden a ser los más aptos para productividad agrícola por lo que son más susceptibles a la erosión como respuesta a la intensiva actividad agrícola que se maneja y los arcillosos de unidades RMO con un factor de 0,038 ton/MJ*mm, esto se debe a que estos suelos originalmente no son aptos para actividad agrícola, sin embargo, al realizarles un acondicionamiento previo se pueden adecuar mejorando su drenaje y otras características, dando la oportunidad de utilizarse para dicha actividad

económica, cabe resaltar que estos suelos son menos porosos, por lo que su permeabilidad puede ser muy baja al punto de generar encharcamientos, sumado a esto cuando se secan se compactan y se agrietan por lo que existe la posibilidad de que se erosione más fácil por la escorrentía.

Factor LS. La topografía del municipio también es importante para identificar la erosión presente, es por esta razón que se estudia el factor de longitud (L) y el factor pendiente (S), siendo el relieve uno de los principales factores que determinan la emisión de sedimentos de las vertientes; gracias a la disponibilidad de los modelos de elevación digital se hace más fácil la aplicación del factor LS, por lo que el mismo, ha sido modificado varias veces. En este estudio, se aplicó la metodología propuesta por Moore y Burch tal y como se muestra en la ecuación 7, la cual incorpora el impacto de la convergencia del flujo y el área de contribución aguas arriba del punto en el que se quiere evaluar la información.

En el anexo 10, se puede observar el mapa obtenido del factor LS, con valores que van desde 0 a 34,70, no obstante el municipio presenta una topografía escarpada, lo cual se asemeja a lo presentado en la literatura, donde las zonas con mayor pendiente y/o crestas corresponden al Norte en las veredas La Tribuna, La Selva, San Rafael, Mancilla, Prado, Cuatro Esquinas y Tierra Morada con los cerros Pan de Azúcar, peñas del Aserradero, Peñas de Separadero, Piedrecitas, Cerro Negro, Mancilla y la Cuchilla de Barro Blanco ; al Sur en las veredas de La tribuna, Los Manzanos y Pueblo Viejo con la cadena montañosa de Santa Helena formada por los cerros de Malabrigo, Peña Negra, Alto de las cruces y Manjuy; al norte de las veredas La Selva, Mancilla, San Rafael y Prado, se encuentran elevados picos de donde nacen los principales ríos del municipio (Rubiano, 2010).

Factor C. Para este factor se adoptó una metodología con enfoques de teledetección basado en el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI), el cual permite la diferenciación de la cobertura vegetal y el suelo desnudo, vegetación muerta/ escasa. Este factor es de gran importancia, ya que, a partir de este se observa la relación de la erosión en condiciones específicas de vegetación, para el método aplicado que en este caso fue el propuesto por Duringon et al, (2014), se asocia el cambio en la escala del NDVI, a países cercanos al Ecuador.

En el Anexo 11, se observa el mapa del factor C, donde las tonalidades rojas son aquellas zonas, que presentan mayor susceptibilidad a la erosión por cobertura y manejo del suelo, ya que, esto nos indica que existe baja protección a la cobertura vegetal y a su vez baja capacidad de

amortiguar procesos erosivos, las veredas que se ven afectadas por los valores más altos de este factor corresponden en su mayoría a la parte sur y centro del municipio, tales como, Pasoancho, Moyano, Prado, Corito, El corzo, Los Manzanos, Pueblo viejo y esto sin dejar de lado que también se ubica la parte urbana, según la literatura en estos municipios es donde se observa mayor cantidad de áreas de uso agrícola y ganadería intensiva basado en la siembra de cultivos transitorios de papa, arveja, cebada, flores, cultivos de pastos, entre otros, lo anterior específicamente por ser zonas de menor pendiente. En cuanto a los suelos que se localizan en las partes de mayor altitud del municipio se observa una cobertura y manejo adecuado en la mayoría del área siendo suelos exclusivos para el establecimiento de bosques de protección y producción, además se encuentran relictos de bosque natural secundario y bosque plantado en veredas como La Tribuna, Mancilla, La Selva y en cabeceras de ríos o quebradas (Alcaldía de Facatativá, 2017), en estas mismas zonas se observa uno que otro parches rojo los cual se atribuye a la ubicación de asentamientos subnormales y/o presencia de actividades económicas como agricultura y ganadería que no deberían estar allí.

Factor P. En muchas ocasiones se suele obviar el valor del factor P correspondiente a las prácticas de conservación, al no contar con información disponible o por la inexistencia de prácticas relevantes, se le da un valor de 1, sin embargo, para efectos del estudio este se calculó teniendo en cuenta el valor arrojado del porcentaje de pendiente presente en el municipio y prácticas como contornear, cortar en franjas, terrazas, entre otros, cabe resaltar que este varía entre 0 y 1, donde 0 representa una muy buena instalación de resistencia a la erosión y 1 representa ninguna instalación de resistencia a la erosión (Parveen & Kumar, 2012).

En el Anexo 12, se observa el mapa obtenido para el factor P, en donde nuevamente se observa que las zonas donde se presenta mayor altitud se ven influenciadas por este factor, lo que quiere decir que en veredas como Mancilla, La Tribuna, Pueblo Viejo, Los Manzanos, San Rafael, El Prado, La selva y cuatro esquinas se debe tener mayor énfasis en planificación de prácticas para la conservación de suelo.

Factor A (Amenaza en el municipio de Facatativá). Como se mencionó anteriormente la superposición de cada uno de los mapas obtenidos, dejó como resultado el mapa de estados erosivos del municipio de Facatativá, lo cual se asoció a la amenaza de tipo natural que en este se podría presentar según la RUSLE, agrupando así, los diferentes grados de erosión de manera precisa a lo largo del territorio.

Como se puede observar en la figura 7, a lo largo del municipio según la clasificación dada por la FAO (1979), presenta una erosión predominante de tipo incipiente y ligero con pérdidas entre 0 a 50 ton/ha/año, lo que indica que se encuentra una buena resistencia en cuanto a procesos erosivos.

En la figura 7.1, se puede observar que las zonas que presentan erosión de tipo fuerte y severa con pérdidas entre 50 y >200 ton/ha/año, corresponde a las de mayor pendiente en el municipio, en veredas como Mancilla, La Tribuna, Pueblo Viejo, Los Manzanos, San Rafael, El Prado, La selva y cuatro esquinas, lo cual puede estar influenciado por el arrastre de sedimentos y teniendo en cuenta los cuerpos hídricos que allí se encuentran y las malas prácticas de uso de suelo que allí se manejan, aumentando la amenaza. Las áreas y los porcentajes de pérdida establecidos para cada tipo de erosión se muestran en la tabla 13.

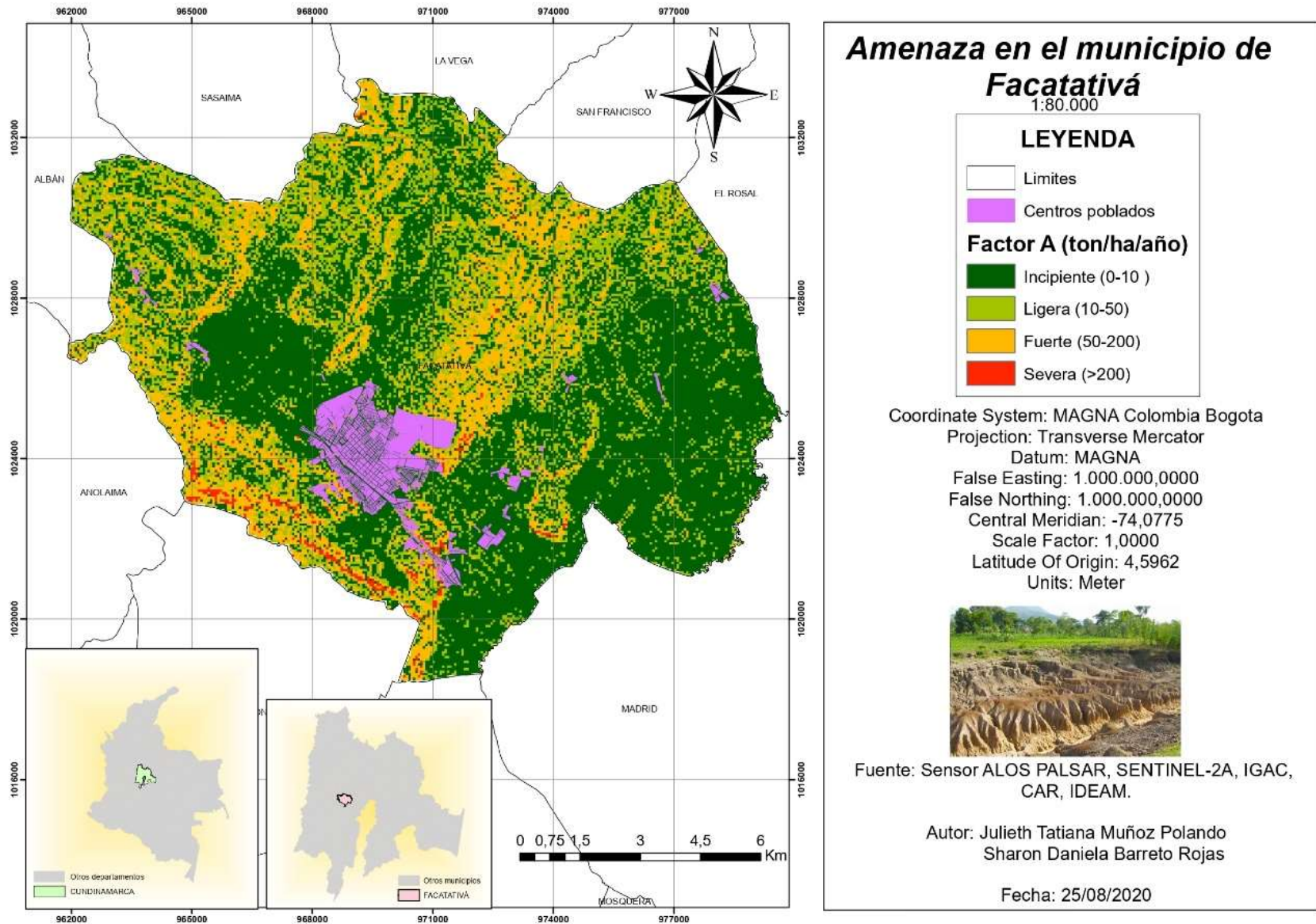
Tabla 13

Área (ha) amenazadas de acuerdo a la pérdida de suelo.

Clasificación	Área (ha)	Porcentaje (%)
Incipiente	9031,61	58%
Ligera	3538,65	23%
Fuerte	2956,12	19%
Severa	138,68	1%

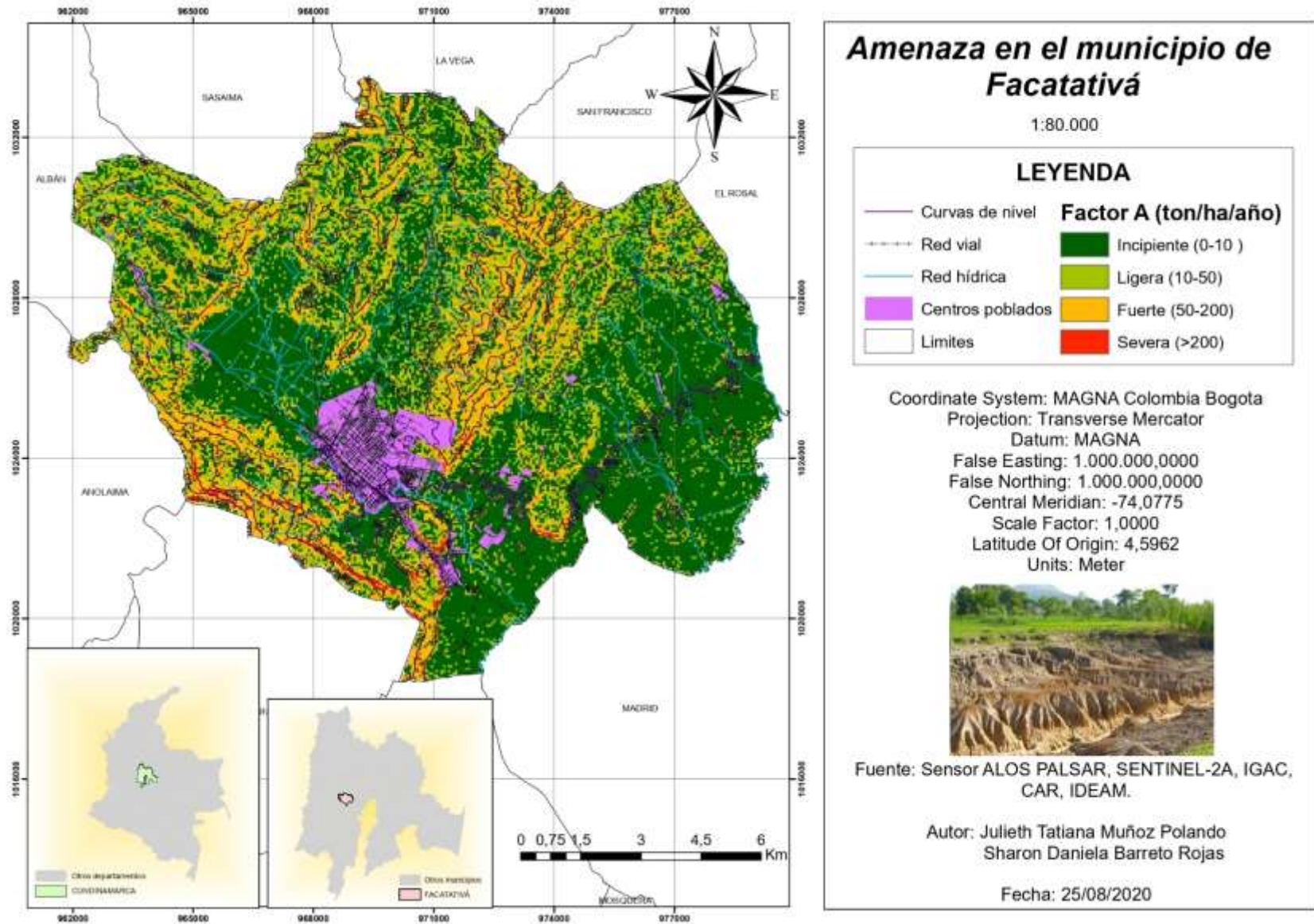
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Mapa de amenaza en el municipio de Facatativá, según metodología RUSLE.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.1. Mapa de amenaza en el municipio de Facatativá, según metodología RUSLE.



Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad por erosión en el municipio de Facatativá. Para el análisis se llevó a cabo el cálculo del porcentaje de coberturas del suelo adjunto en el mapa Anexo 13, presentando que en el municipio de Facatativá en su mayoría se realizan actividades agrícolas y ganaderas, debido al porcentaje de pastos limpios que en este municipio se evidencia, haciendo de estos suelos los más utilizados para estas labores, por otro lado, el municipio presenta otras coberturas del suelo en menor proporción presentadas en la tabla 14.

Tabla 14.

Cobertura del Suelo del Municipio de Facatativá, según Corine Land Cover, 2012

Cobertura del Municipio de Facatativá	Área	% Área
1.1.1. Tejido urbano continuo	474,828622	3,0%
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	176,108403	1,1%
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	11,261025	0,1%
2.2.5. Cultivos confinados	669,89141	4,2%
2.1.4. Hortalizas	25,940254	0,2%
2.3.1 Pastos Limpios	9159,228926	60,0%
2.3.3. Pastos enmalezados	90,701068	0,6%
2.4.1. Mosaico de cultivos	375,479052	2,4%
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	1745,683781	11,0%
3.1.5. Plantación forestal	614,554016	3,9%
4.1.1. Zonas Pantanosas	30,436305	0,2%
1.4.2. Instalaciones recreativas	80,429986	0,5%
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	51,64501	0,3%
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	27,384642	0,2%
3.1.1. Bosque denso	184,089488	1,2%
3.1.2. Bosque abierto	56,445674	0,4%
3.2.1. Herbazal	103,706574	0,7%
3.2.2. Arbustal	1427,369613	9,0%
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	179,614039	1,1%

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la clasificación de coberturas en el municipio se evidenció su importancia para el análisis de vulnerabilidad y riesgo.

La vulnerabilidad se denota por la susceptibilidad que tiene cierta área de estudio a condiciones naturales o antrópicas de sufrir algún cambio perjudicial en su ecosistema, para obtener la vulnerabilidad a la erosión del municipio de Facatativá, como primera instancia se obtuvo el mapa de vulnerabilidad ecosistémica del municipio presentada en el Anexo 14.

La tabla 15, presenta el resultado obtenido del área en ha de cada calificación de la vulnerabilidad ecosistémica del municipio de Facatativá.

Tabla 15.

Área según la vulnerabilidad ecosistémica del municipio de Facatativá

VULNERABILIDAD ECOSISTÉMICA		
GRADO	ÁREA (ha)	% ÁREA
MUY BAJO	648,85	4%
BAJO	675,83	4%
MEDIO	12.370,56	78%
ALTO	2.104,69	13%

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del grupo de muy baja y baja vulnerabilidad se encuentran los ecosistemas productivos industriales y comerciales, el tejido urbano continuo y discontinuo, y los cultivos confinados, puesto a la infraestructura, vías en concreto continuas, y edificaciones, logran hacer que estos ecosistemas presenten resiliencia.

Esta vulnerabilidad permite observar que el municipio en gran parte se conforma por ecosistemas de moderada/media exposición, puesto a que en su mayoría cuenta con sistemas agropecuarios donde la erosión se podría presentar de manera frecuente, el Municipio de Facatativá debido a su extensión rural presenta un amplio gremio de agricultores y ganaderos, y consigo la probabilidad a la vulnerabilidad a la erosión.

Dentro del grupo de alta probabilidad vulnerable se encuentran los ecosistemas naturales, las reservas, bosques densos y abiertos que se hallan en el municipio, debido a la posibilidad de

explotación inadecuada de los bosques y los parches abiertos incurren en la degradación del suelo por diferentes factores climáticos, ahora bien, no se descarta la posibilidad de la deforestación con el fin de extender la frontera agropecuaria.

En el Anexo 15, se muestra el mapa de vulnerabilidad que presenta el suelo, además se obtuvo los resultados presentados en la tabla 16, del área en ha.

Tabla 16.

Área según la vulnerabilidad del suelo en el municipio de Facatativá

VULNERABILIDAD DEL SUELO		
GRADO	ÁREA (ha)	% ÁREA
MUY BAJO	926,69	6%
BAJO	6.547,38	41%
MEDIO	2.850,62	18%
ALTO	5.480,38	35%

Fuente: Elaboración propia.

En la clasificación de vulnerabilidad muy baja del suelo se encuentran suelos del periodo cuaternario, de ambientes lagunares y superficies inundadas, son suelos que se encuentran debajo de formaciones hídricas, por lo tanto, se presentaría erosión solo si se secan los cuerpos de agua, donde se podría compactar el suelo en el área. Dentro de la vulnerabilidad baja, se encuentra la mayor parte del municipio debido a que se presentan suelos del periodo pleistoceno, son suelos productos de la meteorización en periodos largos del tiempo, y esto hace que sean menos vulnerables a erosionarse. Casi 2900 ha del municipio de Facatativá presenta vulnerabilidad media, puesto a que se compone de formaciones arcillolitas del periodo paleoceno, indicando la posibilidad de fallas y probabilidades de fractura en el sistema geológico (SGC, s, f). En el grupo del suelo que presenta alta vulnerabilidad se evidencian materiales delgados, que se encuentran en capas finas formadas por shales, calizas y otras, con poca o nula resistencia a la erosión debido a su textura lodosa.

El mapa de vulnerabilidad topográfica mostrado en el Anexo 16, presento las áreas de la tabla 17.

Tabla 17.

Área según la vulnerabilidad topográfica del municipio de Facatativá

VULNERABILIDAD TOPOGRÁFICA		
GRADO	ÁREA (ha)	% ÁREA
MUY BAJO	13.205,01	84%
BAJO	11,99	0.08%
MEDIO	637,14	4%
ALTO	1.943,71	12%

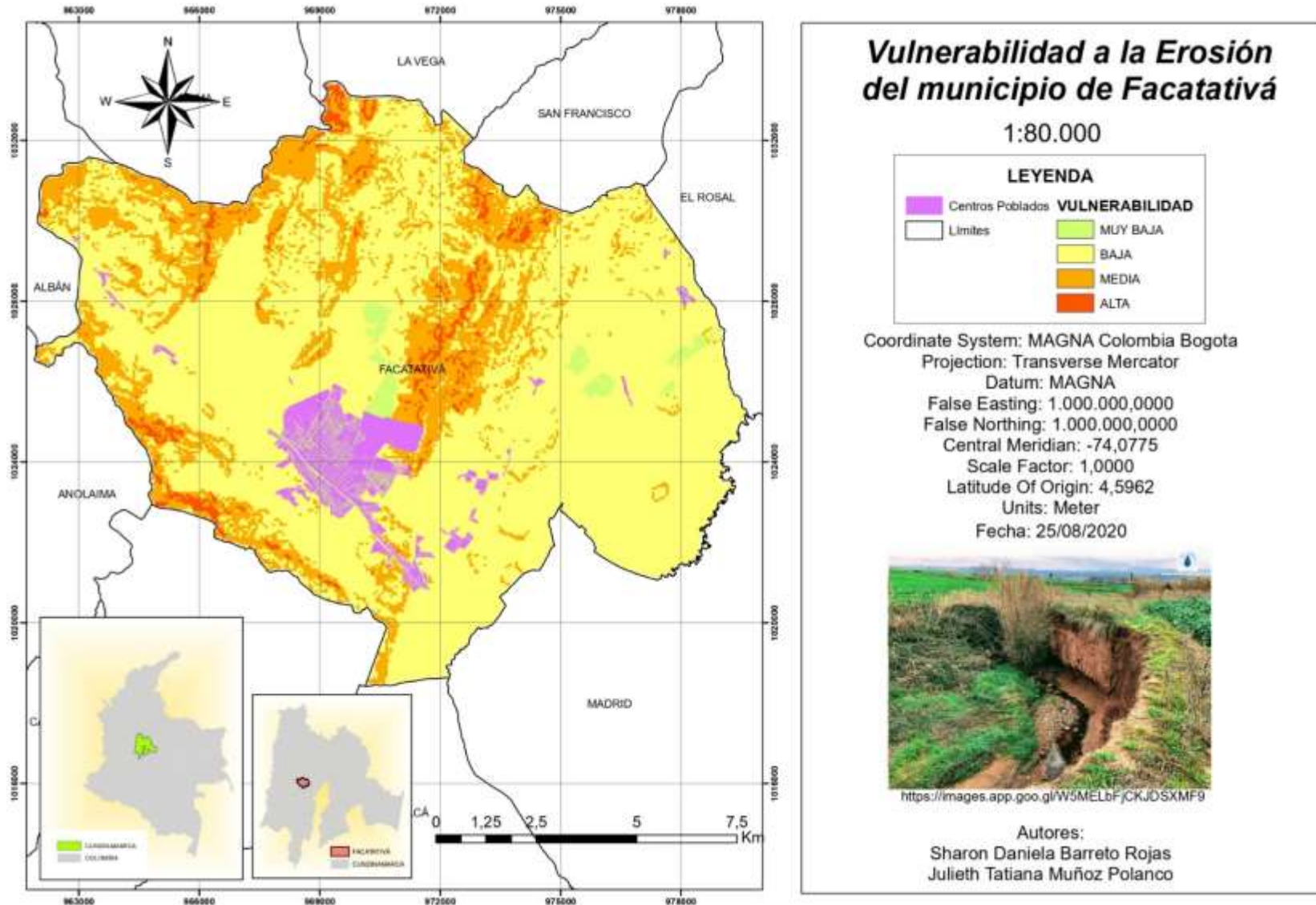
Fuente: Elaboración propia

El municipio de Facatativá se ubica entre alturas de 2.580 y 3.200 msnm y teniendo en cuenta que la vulnerabilidad a la erosión del suelo se influye directamente de la pendiente del área de estudio, donde si la inclinación y la longitud de la pendiente aumentan, mayor será la probabilidad de que el agua fluya por escorrentía fragmentando el suelo (Hincapié, Et al, 2010), se presenta en mayor porcentaje del municipio muy baja vulnerabilidad a la erosión, debido a que el mayor porcentaje de área se encuentra en un terreno donde la pendiente no oscila, disminuyendo las probabilidades de erosión hídrica. Por otro lado, en esta área se encuentra el casco urbano en el que influye en gran parte la infraestructura debido a que esta se ve afectada solo si se presenta un fenómeno constante, aunque se contempla que el material de las estructuras es esencial para hacer frente a la erosión.

Por otra parte, es importante mencionar que 2000 ha del municipio tienen alta vulnerabilidad, influenciado por la diferencia de alturas en el municipio entre 2.900 y 3.000 msnm en vista a que estas pendientes son las más altas, así mismo son las más vulnerables a la erosión hídrica por la escorrentía removiendo las capas del suelo, ya sea por factores climáticos como la precipitación en el municipio.

La vulnerabilidad total, realizada con la superposición entre la vulnerabilidad ecosistémica, del suelo y la pendiente presenta el porcentaje de área por cada grado, se muestra en la figura 8, para las áreas se muestra la tabla 18.

Figura 8. Mapa de la Vulnerabilidad a la erosión del Municipio de Facatativá



Fuente: Elaboración propia

Tabla 18.

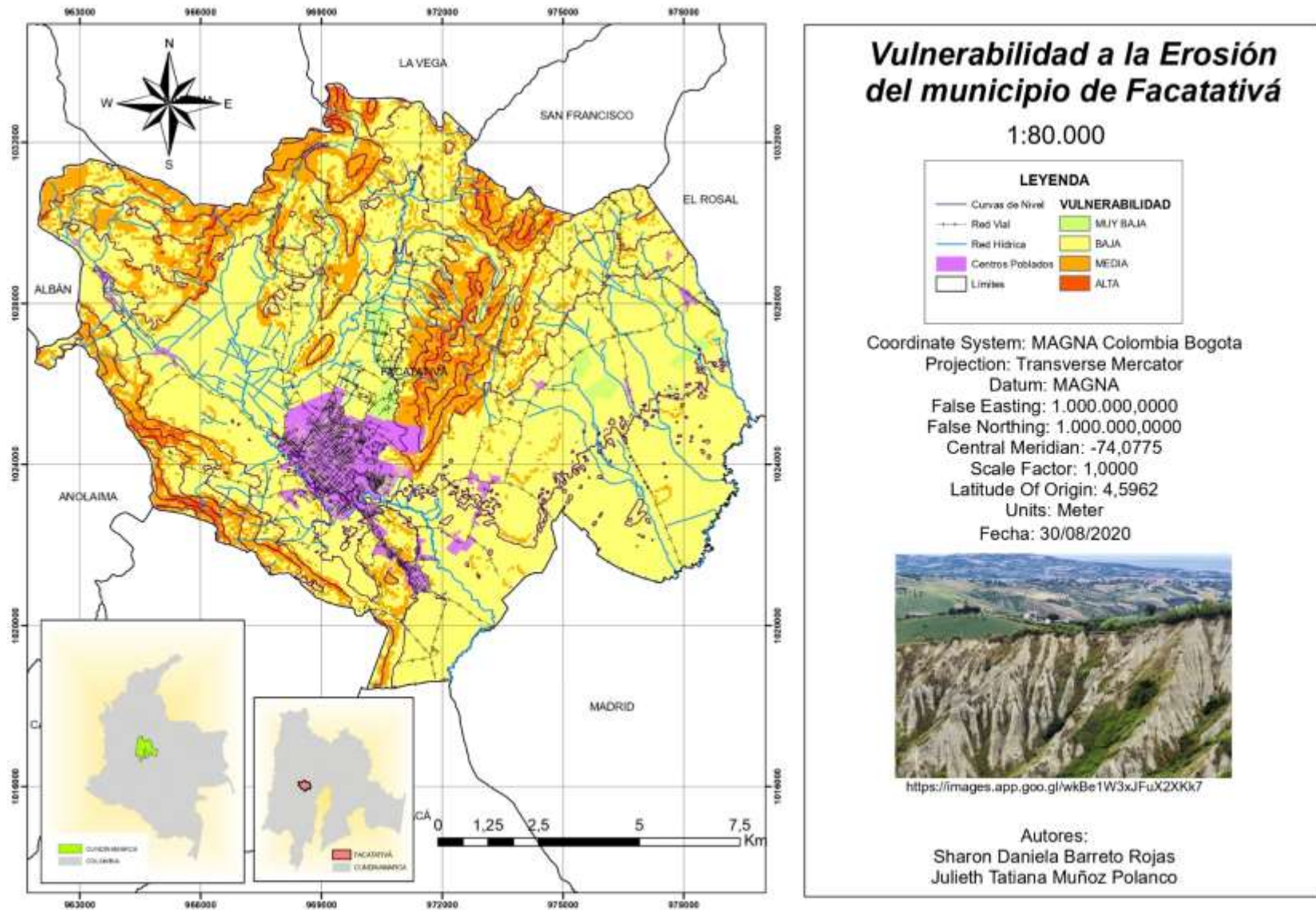
Vulnerabilidad del Municipio de Facatativá

VULNERABILIDAD		
GRADO	ÁREA (ha)	% ÁREA
MUY BAJO	668,63	4%
BAJO	11.336,87	73%
MEDIO	3.252,15	21%
ALTO	341,62	2%

Fuente: Elaboración propia

El mapa de vulnerabilidad del municipio de Facatativá se segregó de tal forma que permitió identificar qué zonas se encuentran con mayor vulnerabilidad a la erosión, en la figura 8.1, se presenta la red hídrica del municipio y esta se encuentra en su mayoría dentro del grado bajo de vulnerabilidad, la red vial proporcionando que está dentro de los rangos muy bajo y bajo, son muy pocas las zonas que presentan vulnerabilidad alta y muy alta, aunque esto se deduce que es debido a que se construyeron en altas pendientes y por posibilidad a erosión por remoción en masa, estas vías presentan esta vulnerabilidad. Por otro lado, las curvas de nivel, evidencia que a mayor altura mayor vulnerabilidad a la erosión puesto a que uno de los factores que más influye es la precipitación ocasionando escorrentía de partículas dejando vulnerable el suelo a la presencia de surcos.

Figura 8.1. Mapa de la Vulnerabilidad a la erosión del Municipio de Facatativá



Fuente: Elaboración propia

Zonificación de riesgo por erosión del municipio de Facatativá. Con el propósito de que los mapas de riesgo por erosión del municipio de Facatativá, puedan ser utilizados como insumo en la planificación del mismo, se combinó con el mapa político quedando delimitado por las veredas presentes en el, tal y como se observa en la figura 9.

La amenaza y la vulnerabilidad por separado realmente no presentan un peligro para el municipio, sin embargo, al juntarlas se convierten en un riesgo que se define como la probabilidad de que se produzca un evento (FAO, 2009), el cual puede generar consecuencias negativas como: interrupción de actividad económica y deterioro ambiental sumándole las actividades antrópicas.

En la figura 9, se puede observar el mapa de riesgo por erosión en el municipio de Facatativá, de donde se obtienen los datos mostrados en la tabla 19.

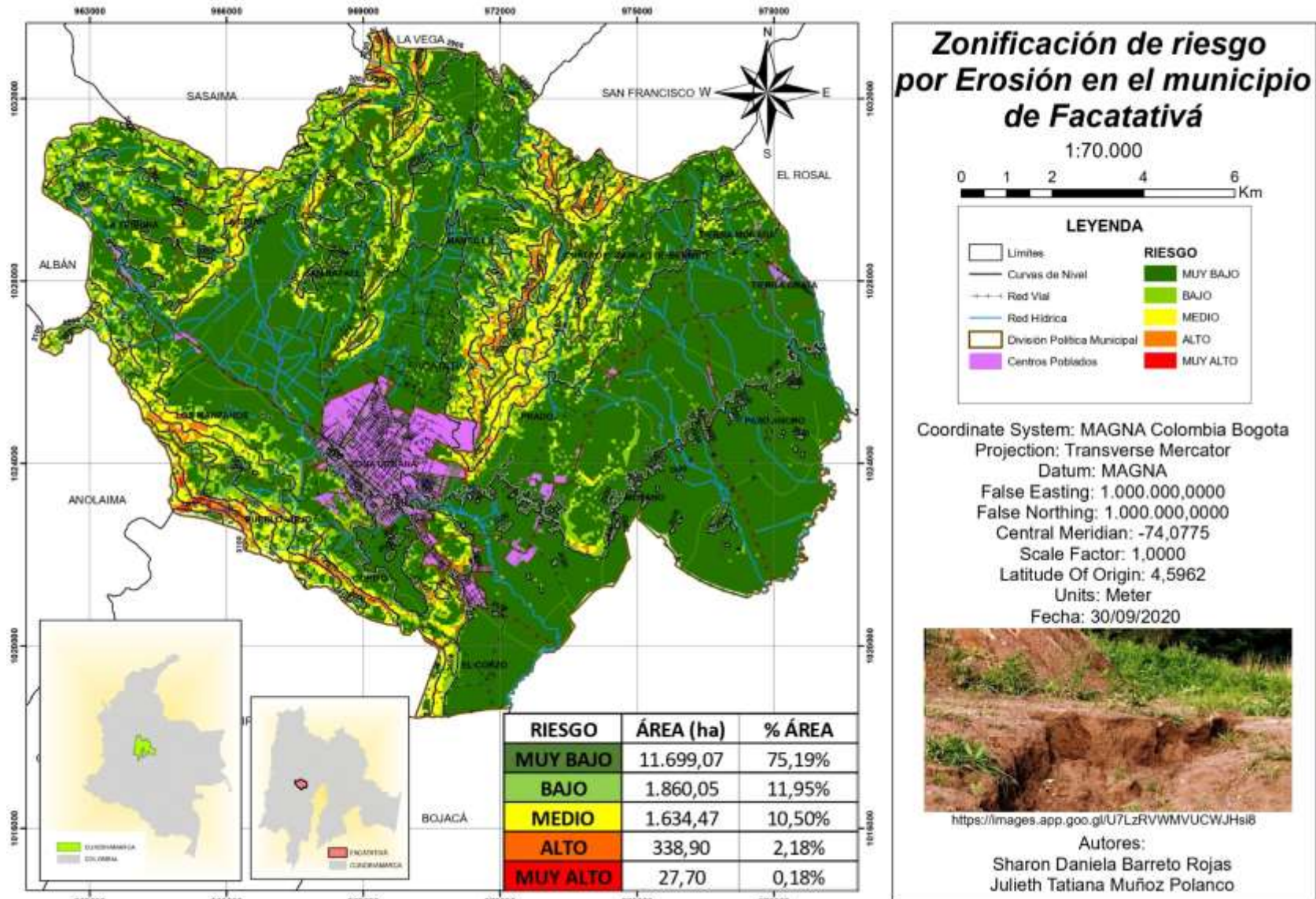
Tabla 19.

Clasificación del riesgo por erosión en el municipio de Facatativá.

Riesgo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy bajo	11699,07	75,19
Bajo	1860,05	11,95
Medio	1634,47	10,5
Alto	338,90	2,18
Muy alto	27,70	0,18

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Mapa de zonificación de riesgo por erosión del Municipio de Facatativá



Fuente: Elaboración propia.

A la vista de los resultados obtenidos, se comprueba que el municipio tiene un riesgo de erosión de muy bajo a bajo en la mayoría del territorio, sin embargo, el riesgo alto y muy alto de erosión se encuentra en las zonas de mayor altitud del municipio, como Mancilla, Pueblo Viejo, Corito y La Selva, lo cual es muy coherente si se tiene en cuenta el grado de las pendientes que se presenta en estas veredas siendo de tipo onduladas y escarpadas.

Según la FAO, las zonas con mayor pendiente son más susceptibles a la erosión, esto se debe a la acción que tienen las gotas de lluvia generando un desprendimiento del suelo el cual es arrastrado por el agua que no se infiltra, sino que simplemente fluye sobre la superficie.

Otro factor importante a tener en cuenta, es el suelo que presenta el municipio, como se mencionó en el factor K, se encuentran suelos francos, arcillosos y franco arcillosos que le permiten a la comunidad el desarrollo de actividades agropecuarias, según el recorrido realizado por Google Earth, en las zonas con riesgo medio se encuentran algunas fincas, que no deberían estar allí y que están generando una fragmentación en el ecosistema, lo cual contribuye al incremento del riesgo por erosión.

La pérdida del suelo por erosión ocasiona la pérdida de los servicios ecosistémicos, las funciones y características propias de este, afectando consigo la capacidad productiva (IDEAM, 2015). El análisis teniendo en cuenta la cobertura del suelo del municipio deja ver que, de acuerdo con la tabla 14, de coberturas del suelo según Corine Land Cover, el 58% del municipio está conformado por pastos limpios, así mismo esta clasificación presenta Riesgo muy bajo de erosión, puesto a que gran parte de esta cobertura se encuentra en la planicie del municipio, con esporádicas presencias de cultivos ocasionando pequeños sectores con riesgo medio y alto a erosionarse, esto, si no se realizan prácticas de manejo. Por otra parte, el segundo porcentaje mayor de cobertura del municipio pertenece al 11% de mosaico de pastos y cultivos, presentado riesgo de erosión muy baja en su mayoría, también se observan zonas de riesgo baja, medio y alto, que se intuye que se ven influenciadas debido a la topografía que se presenta en la zona, en esta área se tienen alturas de 2.900 msnm, siendo áreas montañosas del municipio, y agregando a esto los cultivos presentes, el riesgo aumenta en función al uso del suelo y la pendiente de este, con probabilidades de que haya mayor arrastre de partículas desde lugares más altos de los cerros.

El municipio presenta en el 9% de su totalidad cobertura arbustal y herbazal en menor porcentaje, donde según el mapa de la figura 9, en su mayoría presenta riesgo medio y alto a erosionarse, se entiende que esta clasificación se da debido a la altura, por otro lado, es una vegetación de características secas propensas a causar incendios debido al cambio climático y así mismo disminuir las características ecosistémicas del suelo (CVC,2018), con la probabilidad de dejar suelos desnudos en los cerros del municipio y aumentar el riesgo.

Otras coberturas dentro del municipio que presenta riesgo alto y muy alto por erosión son los bosques densos, abiertos y plantaciones forestales, más que por sus características, que son de poca o nula probabilidad a erosionarse debido a la alta cantidad de cobertura vegetal, es por la ubicación topográfica en la que se encuentran, ya que se ubican en las partes más altas del municipio, donde la erosión del suelo es provocada por acción de la velocidad con la que fluye el agua en él acentuando la presencia de surcos, el riesgo a la erosión podría magnificarse por acción antrópica como la deforestación o por causas naturales como incendios forestales que no se descartan debido a la alta susceptibilidad que ha presentado el municipio a este fenómeno natural, causando la pérdida de la protección contra agentes erosivos y disminuyendo su resiliencia, es importante resaltar que en el municipio las plantaciones forestales se destacan por la presencia de eucaliptos, que se ha presentado como una amenaza para el suelo por las propiedades de esta vegetación. El eucalipto es vegetación proveniente de Australia que demanda altas cantidades de agua para su supervivencia, por esto se caracteriza por influir directamente en la disminución de la humedad del suelo, afectando la calidad del agua y aumentando el volumen de erosión del terreno (FAO, 1987).

La vegetación secundaria o en transición se caracteriza por originarse a partir de un proceso de sucesión de la cobertura inicial que se encontraba en el ecosistema antes de alguna intervención o destrucción de la vegetación primaria y busca recuperar el estado original del suelo (Municipio de Envigado, 2014); en Facatativá esta cobertura presenta en mayor proporción riesgo a la erosión bajo y medio, precisamente puesto a ser zonas en proceso de recuperación cualquier acción antrópica o natural que incida en esta cobertura influye a que se erosione con mayor facilidad.

Propuesta de alternativas de manejo a la erosión del municipio de Facatativá.

El municipio de Facatativá se distingue por ser agricultor, por eso, a pesar de que existe el riesgo por erosión, la mayoría de cultivos se realizan en contorno a las curvas de nivel, práctica que se basa en que cada hilera del cultivo se oponga al flujo del agua, se traza en el centro de la parcela una línea guía, luego a ambos lados se trazan las curvas (Soza, 2012) disminuyendo el riesgo debido a que esta práctica contribuye a aminorar la escorrentía del agua y el arrastre de partículas en el suelo en vista de que el agua tiene más tiempo para penetrar el suelo fluyendo lentamente, previniendo el movimiento, dejándolo en su lugar y ayudando a mejorar las condiciones del suelo y así mismo favorece al uso adecuado de este. Por tal razón se proponen las siguientes alternativas para disminuir el riesgo presente en el municipio de Facatativá expuestas en la tabla 20.

Tabla 20

Alternativas de manejo al riesgo por erosión hídrica

Tipo de Cobertura	Grado de Erosión	Pendiente	Estrategia bioingenieril
Pastos Limpios, Mosaicos de Pastos y cultivos, Mosaico de Pastos y cultivos con espacios naturales, Zonas pantanosas	MUY BAJO	0-3	Franja de filtración con vegetación
Vegetación secundaria o en transición	BAJO	3-12	Empalizada Trenzada
Arbustal y Herbazal	MEDIO	12-35	Fajina Viva
Plantaciones forestales, Bosque denso y abierto	ALTO	35-50	Definirlo como áreas exclusivas para protección y conservación
	MUY ALTO		

Fuente: Elaboración propia.

Franjas de filtración con vegetación.

Se propone inicialmente porque es un método con buenos desempeños para pendientes menores al 10%, para áreas sin uso o endurecidas y con un flujo superficial uniforme o laminar (RCDMC, 2016), en la tabla 20 se evidencia la cobertura presente en esta pendiente.

La franja de filtración es elaborada a partir de una zona de pastos u otra vegetación existente en el terreno utilizada para filtrar los sedimentos, la materia orgánica, y si hay presencia de cultivos es beneficiosa para atrapar pesticidas y otros contaminantes presentes en la esorrentía laminar del campo. En Facatativá las Franjas de filtración con vegetación resultan proporcionar ventajas en el terreno como la adsorción de contaminantes a las superficies del suelo y de las plantas, así mismo infiltra contaminantes solubles de la mayoría de cultivos existentes en el terreno, por otro lado, teniendo en cuenta la gran cantidad de cuerpos hídricos con los que cuenta el municipio esta técnica ayuda a mejorar la calidad del agua impidiendo que el agua contaminada llegue a estas fuentes.

Para llevar a cabo esta técnica se debe tener en cuenta que entre más ancha sea la franja mayor retención e infiltración se da, proporcionando más beneficios a la calidad del agua, se puede proponer esta alternativa a los agricultores del municipio exponiendo principalmente sus ventajas económicas, donde dependiendo de la vegetación usada para la franja se puede utilizar como forraje ya sea para uso propio o para la venta.

Por otra parte, en pastos limpios se puede emplear no solo como alternativa al riesgo de erosión, sino también para conservar la vida silvestre si se utilizan la vegetación adecuada que proporcione alimento y resguardo a las especies presentes en el municipio.

Para implementar la franja de infiltración inicialmente se deben considerar los caudales de agua esperados de acuerdo a las lluvias presentes en el municipio, la pendiente que debe ser menor al 10% y para Facatativá hablamos de pendientes no mayores al 3%, y el tipo de suelo con el fin de maximizar su potencial. Si se desea implementar la alternativa en zonas de cultivo, se prepararía el terreno con disqueo ligero como forma de labranza. En Facatativá se presencia cultivos de gramíneas y leguminosas como arveja y cebada (Vargas, 2017). Para las gramíneas se recomienda adicionar un fertilizante para el establecimiento del suelo y si se desea aplicar abono al terreno para mejores resultados, se recomienda evitar los fertilizantes nitrogenados para que no se dé presencia en una proporción inadecuada de malezas o que sean lavados en el terreno

provocando preocupaciones a la calidad del agua. En cuanto a las leguminosas se recomienda pre- inocular las semillas. Para el terreno del municipio se puede realizar siembra en línea siendo las más adecuadas y que puede requerir menor preparación del terreno como se presenta en la imagen 1.

Imagen 1. *Franjas de Filtración con Vegetación*



Fuente: RCDMC, 2016.

Facatativá presenta precipitaciones en gran parte del año resultado ventajoso y que salvaguarda la economía del agricultor, aunque de ser necesario y si se presentan épocas secas en el año, se puede implementar sistemas de riego en beneficio de los cultivos.

Para dar mantenimiento a las franjas se realiza corte y si es posible coseche, varias veces del año para fomentar el crecimiento de una vegetación densa (USDA, 2011). Si la franja se hizo con el fin de conservar, se debe realizar el corte con precaución en periodos de anidación de fauna silvestre. Se debe mantener el cuidado como un cultivo convencional, eliminando malezas, realizando corte oportuno y por último ya cuando se haya acumulado mucho sedimento en la franja se recomienda restaurar la franja para mantener el suelo sin erosión.

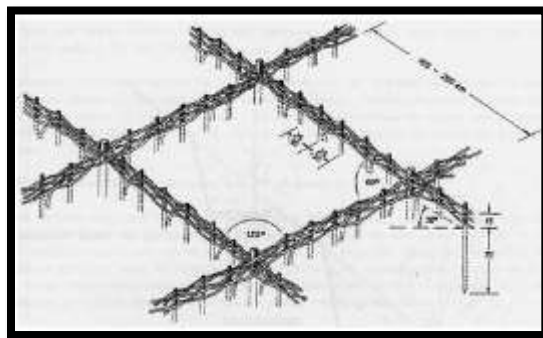
Empalizada trenzada.

Teniendo en cuenta la presencia de cobertura secundaria o en transición se planteó esta estrategia para ayudar a la estabilización del terreno acorde a su pendiente entre 3% y 12% así mismo para el establecimiento de la cobertura proporcionando beneficios al suelo y a la regeneración natural (Carrillo, 2016), esta empalizada contribuye al reforzamiento del suelo impidiendo el desplazamiento del suelo y reforzando la generación de un microclima favorable.

Inicialmente se hace el estudio del terreno para conocer los puntos donde se puede realizar el procedimiento, se usan estacas de madera entre 3 y 10 cm de diámetro y 1 m de longitud con el fin de usar materiales biodegradables, se clavan y entre estas se colocan estacas de menor tamaño a intervalos de 30 cm. Haciendo uso de la vegetación que hace parte del terreno se entrelazan las ramas vivas de la vegetación Facatativeña que, de acuerdo a la altura podríamos utilizar helecho, retamos, salvia, fiques, chilcos y gurrubo (Alcaldía de Facatativá, 2020) cada rama debe apretarse hacia abajo después de entrelazada con la estaca, y para cada estaca se usa un número de 3 a 7 pares de ramas. Se busca que las ramas se puedan entrelazar entre sí, y así mismo facilite su enraizamiento, se recomienda que se entierren completamente las estaca para ayudar a la revegetalización del terreno,

Para trenzar las empalizadas se recomienda el uso del sauce arbustivo en hileras horizontales o diagonales, para la pendiente de Facatativá a la cual se le propone la alternativa se recomienda la diagonal para retener material suelto en el terreno por escorrentía como se observa en la imagen 2 (FAO, 2020).

Imagen 2. *Empalizadas trenzadas diagonal a la pendiente*



Fuente: FAO, 2020

Fajinas vivas

Las fajinas son una técnica de bioingeniería que consiste en un manojo de ramas, las cuales son posteriormente enterradas en zanjas poco profundas para que así germinen como lo haría una estaca viva a lo largo de las líneas de nivel del talud.

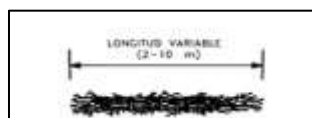
Es una técnica amigable con el medioambiente la cual ofrece diversas ventajas para el control de erosión, ya que, como es bien sabido las raíces proporcionan estabilidad y a su vez facilitan drenar el terreno proporcionando efectos de contención que protegen el talud del arrastre de la escorrentía superficial debido la reducción de la longitud efectiva que se logra en el mismo al quedar dividida en tramos mucho más cortos (Mataix,2003), esta posee limitaciones en cuanto a la planta que se usa, al grado de inclinación de las pendientes, el follaje, su forma constructiva, entre otros.

Castro y Galviz, (2015), en su investigación encontraron que Colombia debido a su variedad de climas, flora y fauna es apta para la aplicación de este tipo de bioingeniería; una de las especies recomendadas para el desarrollo de la misma es el Sauce el cual se da en gran parte del país, como es el caso del municipio de Facatativá, por tal motivo, se propone como aplicación al riesgo medio de erosión encontrado, siendo una alternativa nueva de baja intensidad de uso, reemplazando soluciones más costosas que pueden alterar las características del medio ambiente como los sistemas convencionales.

Instalación:

- a) Se preparan las fajinas con haces de ramas y tallos de plantas leñosas con alta capacidad de enraizamiento de 1 a 9 m de longitud y entre 15 y 30 mm de diámetro, se atan firmemente con cuerdas finas de fibras vegetales. Las ramas deben ser largas, rectas, flexibles y con yemas de crecimiento activas, para finalmente obtener una fajina entre 15 y 30 cm de diámetro 2 y 10 m, estas pueden variar dependiendo las condiciones de la zona, como se observa en la imagen 3.

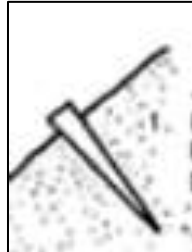
Imagen 3. *Preparación de las fajinas*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia.

- b) Se realizan estacas de contorno, situadas perpendicularmente a la línea de máxima pendiente, como se observa en la imagen 4.

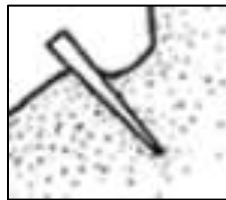
Imagen 4. *Ubicación de estacas de contorno.*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia.

- c) Se realiza apertura de zanjas como se observa en la imagen 5 de aprox. 0,6 m de profundidad, por encima de las estacas, a una distancia de $1/2$ a $2/3$ del diámetro de la fajina. Como mínimo debe tener una profundidad de la mitad del diámetro de la fajina.

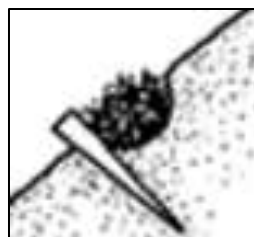
Imagen 5. *Apertura de zanjas.*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia.

- d) Se colocan las fajinas en las zanjas, como se muestra en la imagen 6.

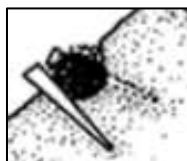
Imagen 6. *Colocación de fajinas en zanjas.*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia.

- e) Sujeción de las fajinas al talud como se muestra en la imagen 7, clavándola con estacas de madera maciza entre 0,6 y 1 m de longitud o estaquillas entre 0,5 m y 0,75 m de longitud, la madera debe estar sana y aquellas que se astillen durante la instalación se deben desechar. Las estaquillas se instalan en la cara inferior de las fajinas al tresbolillo y deben sobresalir 5-10 cm por encima de la parte superior de las mismas.

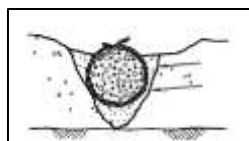
Imagen 7. *Fijación de fajinas.*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia.

- f) Recubrimiento de las fajinas con tierra preferiblemente húmeda y apisonado de esta, dejando sin cubrir aproximadamente un 10-20%, como se muestra en la imagen 8.

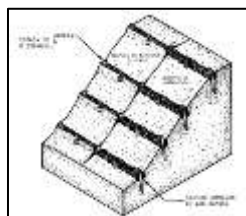
Imagen 8. *Relleno de zanjas y alrededor de las fajinas.*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia.

- g) La instalación se realiza desde el pie del talud hacia la cabecera, hasta completar el tratamiento, se recomienda sembrar el espacio existente entre filas consecutivas de y/o instalando materiales de recubrimiento para prevenir la erosión, como en la imagen 9.

Imagen 9. *Instalación de fajinas en talud.*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia.

Zonas de protección

Las zonas que presentan riesgo alto y muy alto de erosión, corresponden a las más altas del municipio a pesar de ser las que poseen mayor cantidad de cobertura vegetal, este riesgo se ve influenciado principalmente la inclinación de pendiente que ahí se encuentra; como se mencionó anteriormente hay zonas de protección por lo que se aconseja que estas sean definidas en su totalidad, ya que, en el POT, no se encuentra, lo que a su vez genera un conflicto por el uso del suelo presente en el municipio, cabe resaltar que los bosques densos suministran una protección al suelo que disminuye la erosión que allí se presenta, demorando la escorrentía, las velocidades y caudales, ya que a medida del tiempo se forma un colchón protector, teniendo en cuenta lo anterior, en el momento que se presente tala u influencia de otras actividades se desestabiliza el equilibrio del mismo y se acelera la erosión de manera catastrófica y más en zonas con inclinación como las que tiene Facatativá.

Las medidas de intervención propuestas, son aplicables, según los resultados obtenidos para los diferentes grados de erosión, sin dejar de lado la importancia de la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA), y de conservación, para evitar que las zonas con erosión incipiente o ligera aumenten el riesgo, y se atenúa la erosión en zonas de riesgos más altos, creando una responsabilidad en todas las personas del municipio en cuanto al uso del recurso suelo, además el uso de estas técnicas se desarrollan con materiales naturales obtenidos del mismo ecosistema, lo que disminuye los costos de implementación contribuyendo a su vez con la revegetalización de zonas con afectaciones que presentan baja vegetación. (Cantillo & González, 2016).

Conclusiones

El análisis de información espacial por medio del uso de sistemas de información geográfica puede ser una ventaja en el mundo actual donde la tecnología es la base de la información, una de las principales ventajas sobre el uso de estas herramientas es que permite el reconocimiento de un área de estudio cuando se presentan dificultades para realizar trabajo de campo, como es el caso de la metodología RUSLE, la cual se enfoca en el uso de estos.

La evaluación de la amenaza y la vulnerabilidad en conjunto, permitió observar que el municipio de Facatativá a pesar de ser uno en los que más maneja el sector agricultor, no presenta un mayor porcentaje de zonas en riesgo de erosión, por el contrario presenta en su mayoría riesgo muy bajo y bajo; las zonas que presentan ese riesgo en mayor grado son aquellas con gran cobertura vegetal y pendientes lo cual indica que son más susceptibles a procesos erosivos como es el caso de las veredas Mancilla, La Tribuna, Pueblo Viejo, Los Manzanos, San Rafael, El Prado, La selva y cuatro esquinas.

Con relación a la amenaza el municipio se ve afectado por el tipo de suelos que se presentan que son de tipo francos, arcillosos y franco arcillosos, sumado a la longitud e inclinación de las pendientes, y el cambio de cobertura que se ha presentado a través del tiempo hace que la amenaza sea mayor en algunas zonas correspondiente al 1% del total del municipio, claramente en los centros poblados la amenaza es baja ya que no hay componentes que se puedan erosionar y el suelo es apto para esa zona de urbanización.

Con relación a la vulnerabilidad se destaca que el territorio presente en su mayoría baja vulnerabilidad a la erosión, esto de acuerdo a que Facatativá es un municipio con alto porcentaje de pastos limpios y no tiene alta presencia de suelos desnudos, impidiendo la fragilidad natural por el fenómeno erosivo.

Así mismo para el análisis del riesgo el 75,19% del área del municipio presenta riesgo muy bajo, porque son suelos cubiertos con cultivos transitorios, en Facatativá se maneja mucho la rotación de cultivos dando la oportunidad al suelo de regenerar algunos servicios ecosistémicos que ofrece y disminuyendo el riesgo a erosionarse, agregado a esto, el porcentaje de riesgo a la erosión alto se debe por las altas pendientes presentes en el área de estudio, no precisamente por la cobertura que allí se presenta.

Para el análisis de la amenaza, el NDVI, es una herramienta que permite analizar la cobertura vegetal en diferentes momentos, gracias a la facilidad de acceso que se tiene a sensores multi-espectrales, este es de gran importancia para definir los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo y generar estrategias que permitan la conservación de recursos como es el caso del suelo en este caso del municipio de Facatativá.

Aunque el estudio se enfocaba en el riesgo por erosión hídrica, cabe mencionar que el municipio de Facatativá en tiempos de sequía es un punto vulnerable a incendios forestales, debido a la cobertura herbazal que se encuentra dentro de él. Provocando la erosión de los suelos y con ello la facilidad de dejar el suelo desnudo para que se pueda presentar erosión hídrica en la zona en épocas de lluvia.

Para la propuesta de alternativas fue importante tener en cuenta que Facatativá cuenta con zonas de protección forestal, pero que no se encuentran resguardadas por ninguna normativa, cabe destacar que el plan de ordenamiento territorial del municipio data del año 2002, y en este no se evidencia la protección de estas zonas, por lo tanto, es importante tener en cuenta que el municipio requiere un nuevo plan con prontitud para evitar conflictos por el uso del suelo, entre ellas la expansión inadecuada de la frontera agrícola y otras actividades allí desarrolladas.

El desarrollo de este tipo de estudios da un aporte para la futura planeación del municipio teniendo en cuenta el componente ambiental, en donde, en municipios como Facatativá el desarrollo económico crece continuamente y no cuenta con la información suficiente para mitigar los impactos que deja el uso incorrecto del suelo, adicionalmente se impulsa el uso de sistemas de información geográfica como herramienta para evaluar un territorio por medio de insumos informáticos creando su vez metadatos que puedan ser utilizados en estudios posteriores.

Recomendaciones

Se recomienda el uso de herramientas de información geográfica para realizar estudios cuando no se da la posibilidad de evidenciar un trabajo en campo, gracias a la facilidad que se da en el manejo de sensores remotos, el manejo de modelos de elevación e imágenes TIF del área de estudio, que pueden permitir el análisis de una zona de estudio y consigo la verificación más adelante en campo.

A pesar de existir el riesgo por erosión, agricultores usan estrategias de manejo de cultivos que le dan cobertura al suelo y así previene la erosión de él. Se recomienda campañas de alternativas de manejo de la erosión para evitar la erosión futura en el municipio, con el fin de que se observe por parte de estos las ventajas económicas y ecosistémicas que ofrecen estas alternativas.

Para la realización de este tipo de estudios, si es recomendable algunas visitas a campo debido al sesgo que se puede presentar en los cálculos por medio de SIG, generando en algunas ocasiones sobreestimaciones, de esta manera se pueden realizar ajustes que sean más cercanos a la realidad.

En el caso del factor R, se recomienda el uso de las estaciones más cercanas, ya que de un lugar a otro las condiciones climáticas pueden variar mucho generando errores en el cálculo del factor.

Se recomienda utilizar la información obtenida en este estudio para futuras investigaciones, que permitan una mejor planeación en el municipio.

Referencias

- Abramson L. W., (1996), *Slope Stabilization methods. Slope stability and stabilization methods*. John Wiley & Sons, Inc. New York, pp 441-582.
- Alcaldía de Facatativá (2012). *Economía y su proceso en Facatativá*. Recuperado de: <https://www.facatativateamo.com/pdf/Economia-y-su-proceso-en-Facatativa.pdf>
- Alcaldía de Facatativá. (2017). Plan de manejo ambiental de residuos sólidos en Facatativá.
- Alcaldía de Facatativá. (2020). *Nuestro municipio*. Recuperado de: <http://www.facatativa-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio#:~:text=La%20riqueza%20natural%20de%20Facativ%C3%A1,canoras%20entre%20las%20que%20sobresalen>
- Almagro, A., Thomé, T., Colman, C., Pereira, R., Junior, J., Rodrigues, D., & Oliveira, P. (2019). *Improving cover and management factor (C-factor) estimation using remote sensing approaches for tropical regions. International Soil and Water Conservation Research*, 7(4), 325-334. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633919301832>
- Besteiro, S., & Delgado, M. (2011). *Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina)*.1 Rev. Fac. Agron. Vol 110 (2): 82- 90
- Bermúdez Et al. (2010). *Facatativá, Fortaleza de piedra Cruce de caminos*. Recuperado de: <https://www.facatativateamo.com/pdf/recopilacion-de-la-historia-de-Facatativa.pdf>
- Camargo, C., Pacheco, C., & López, R. . (2017). *Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica*. Revista Gestión y Ambiente 20 (2), 265-280, 2017.
- Cantillo, G. Gonzáles, K. (2016). *Estrategias pata la reducción del riesgo de erosión. Microcuenca Quebrada Negra, vereda Piluma, municipio de Sasaima, Cundinamarca*. Recuperado de: <http://sie.car.gov.co/handle/11349/4623>

- CAR. (2006). *Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca del río Teusaca – 2120-13*. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac25d4c03bce.pdf>
- CAR, (2018). *Diagnóstico y monitoreo de degradación de suelos por erosión en la cuenca rio Garagoa-subcuenca rio Machetá- jurisdicción car a escala 1:100.000*. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5bdc6ea177cfc.pdf>
- Castillo, J., & Estrada, J. (2016). *Determinación de zonas de erosión hídrica a partir de la ecuación universal de la pérdida del suelo (R.U.S.L.E), sistemas de información geográfica y técnicas de teledetección en la ciudad de Bogotá D.C para el año 2013*. Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3042/1/LizarazoSalcedoIvanAlberto2016.pdf>
- Castro, A., Lince, L., & Riaño, O. (2016). *Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetería del Quindío, Colombia*. Recuperado de: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1828/2215>
- Clérics, C., & García, F. (2001). *Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la Cuenca del Río de La Plata*. Recuperado de: <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/VOL5/1/p92-103.pdf>
- Contreras, J., Bonilla, C., & Troncoso, J. (2012). *Nuevo método de evaluación del riesgo de erosión hídrica en operaciones forestales basado en la vulnerabilidad de las precipitaciones*. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16849/AD%20USLE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CVC. (2018). *Cobertura y uso de la tierra*. Recuperado de: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/13_CapituloI_Diagnostico_CobertVeg_Flora.pdf

- Diaz, J. (2015). *Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de éstos a la agricultura de precisión*. Recuperado de: https://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf
- DNP. (2013). Elementos para la formulación de la política nacional de ordenamiento territorial y alcances de las directrices departamentales. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/Documento%20PNOT-LOOT.%20DDTS%20-%20SODT.%2011%20junio%202013.pdf>
- Durigon, V., Carvalho, D., Antunes, M., Oliveira, P., & Fernandes, M. (2014). *International Journal of Remote NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. International Journal of Remote Sensing 00:441-453. Taylor & Francis*. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.871081>
- Echeverri, L. & Obando, F. *Erosividad de las lluvias en la región centro-sur del departamento de caldas, Colombia*. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24951/36985>
- ESRI, (2016), *Como funciona spline*. Recuperado de: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-spline-works.htm#:~:text=La%20herramienta%20Spline%20utiliza%20un,por%20los%20puntos%20de%20entrada>
- FAO. (1987). *Efectos ecológicos de los eucaliptos*. Recuperado de: <http://www.terram.cl/wp-content/uploads/2017/01/INFORME-FAO-EUCALIPTOS-1987.pdf>
- FAO. (1979). *Clasificación de la amenaza*.
- FAO. (2015). *Guía para la descripción de suelos*. Recuperado de: <http://edepot.wur.nl/484606>
- FAO. (2020). *II. Método de estabilización de laderas mediante el empleo de materiales vivos*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/ad081s/AD081s03.htm>
- FAO. (2020). *¿Qué es el suelo?*. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

- Felicísimo (1994). El modelo digital de elevaciones. Recuperado de: http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_2.pdf
- Giménez, M. (2008). *Metodología de cálculo del factor topográfico, LS, integrado en los modelos Rusle y Usped. Aplicación al arroyo del lugar, Guadalajara (España)*. Recuperado de: http://oa.upm.es/1914/1/MARTIN_CRUZ_GIMENEZ_SUAREZ.pdf
- Govaerts, B., & Verhulst, N. (2010). *The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeeker TM handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management Part A: Concepts and case studies*. Recuperado de <http://plantstress.com/methods/Greenseeker.PDF>
- Herrera, (2015). *Colombia se queda sin piel: erosión afecta a casi medio país*. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15684196>
- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2012). *La ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)*. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16849/AD%20USLE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IDEAM. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- IDEAM. (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia 2015*. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>
- IDEAM, U.D.C.A., (2015). *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión*. IDEAM - MADS -U.D.C. A Bogotá D.C., Colombia., 170 págs. Versión 2. Publicación aprobada por el IDEAM, diciembre de 2015, Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM. (2014). *Degradación de suelos*. Recuperado de: <http://www.siac.gov.co/erosion>
- INGEOMINAS. (2004). *Mapa de unidades de suelo de la Sabana de Bogotá*. Recuperado de: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B7/21003002502799/Mapa/pdf/2105027991300001.pdf>

- INGEOMINAS. (2004). *Mapa de unidades taxonómicas de la Sabana de Bogotá*. Recuperado de: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B7/21003002502799/Mapa/pdf/2105027991300002.pdf>
- Ipbes, (s.f). *Comunicado de prensa: La degradación del suelo a nivel mundial empeora y ahora es "crítica", poniendo en riesgo el bienestar de 3200 millones de personas*. Recuperado de: <https://ipbes.net/news/comunicado-de-prensa-la-degradación-del-suelo-nivel-mundial-empeora-y-ahora-es-crítica-poniendo>
- Jaramillo, D., Parra, L. y González, L. (1994). *El recurso suelo en Colombia: Distribución y evaluación*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 88 p.
- Jaramillo. (2003). *Plantas medicinales en los jardines de las veredas Mancilla, La Tribuna, Pueblo Viejo y Tierra Morada (Facatativá, Cundinamarca)*. Recuperado de: <https://facatativateamo.com/pdf/pdf2/tesis-sobre-plantas-de-Facatativa.pdf>
- Jimenez, L. Marinez, P. Ruiz, M. Dunin, M. Guerrero, D. (2006). *Metodología para la zonificación del riesgo de erosión en cuencas andinas. Estudio de caso en el Río Chalaco, Piura*. Recuperado de: <http://revistas.uned.es/index.php/ETFVI/article/view/1456>
- Kirkby M, Morgan R. 1980. Soil Erosion. Página (Wiley J& SL, editor)Landscape.
- Lobatón, M., & Marín, Y. (2011). *Diagnóstico base para el análisis ambiental territorial en el municipio de Facatativá (Cundinamarca)*. Recuperado de: <http://geodatosfacatativa.com/Documentos/Diagnostico%20base%20para%20el%20análisis%20ambiental%20y%20territorial%20en%20el%20municipio%20de%20Facatativa.pdf>
- López, G., (2017). *Metodología para la identificación y caracterización de distritos de conservación de suelos en Colombia. estudios de caso en la cuenca del río Bogotá*. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/59482/7/GuillermoL%C3%B3pezP%C3%A9rez%20.2017S.pdf>
- Mataix, C. (2003). *Técnicas de revegetación de taludes, en: Restauración de ecosistemas mediterráneos, p.p 189, 226. Universidad de Alcalá de Henares*. Recuperado de: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/306/301>

- Muñoz, F., Pérez, E., & Otero, J. (2014). *Susceptibilidad a la erosión hídrica de suelos en la zona andina del departamento del Cauca Colombia*. Recuperado de:
http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/9f8d_43-48.pdf
- Parveen, R. & Kumar, U., "*Integrated Approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for Soil Loss Risk Assessment in Upper South Koel Basin, Jharkhand*," *Journal of Geographic Information System*,. Recuperado de: 10.4236/jgis.2012.46061.
- Plan de Desarrollo Facatativá, (2016-2019). *Análisis situacional municipio de facatativá*. Pdf
- Plan de desarrollo de Facatativá. (2020). "*Facatativá correcta, un propósito común 2020-2024*". Recuperado de:
https://facativacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/facativacundinamarca/content/files/000666/33278_proyecto-plan-facativacorrecta-un-proposito-comun-20202024.pdf
- Rangel, N., & Posada, B. (2013). *Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterio*. Recuperado de:
<http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/730/675>
- RCDMC. (2016). *Guía de prácticas para el manejo de erosión y escorrentía agrícola en laderas*. Recuperado de:
https://www.rcdmonterey.org/images/docs/publications/rcdmc_hillslope_guide_en_espanol-10-5-16.pdf
- Real Academia Española RAE. (2020). *Erosión*. Recuperado de:<https://dle.rae.es/erosi%C3%B3n>
- Renard, K., Foster G., Weesies G., Mccool D. Y Yoder D. (1996). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With The Revised Universal Soil Loss Equation, US Department of Agriculture, Agricultural Research Services, Agricultural Handbook 703. USA*. Recuperado de:
https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/RUSLE/AH_703.pdf

- Rivera, P. y Gómez, A. (1991). *Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda)*. Cenicafé 37-52.
- Rubiano, R. (2010). *Fortaleza de piedra cruce de caminos*. Recuperado de: <https://www.facatativateamo.com/pdf/recopilacion-de-la-historia-de-Facatativa.pdf>
- Romero, D., & Galviz, W. (2015). *Viabilidad de la implementación de fajinas para la estabilización de taludes en Colombia período i, año 2015*. Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2555/1/VIABILIDAD%20DE%20LA%20IMPLEMENTACI%C3%93N%20DE%20FAJINAS%20PARA%20LA%20ESTABILIZACI%C3%93N%20DE%20TALUDES%20EN%20COLOMBIA.%20%281%29.pdf>
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J., & Deering, D. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.
- Servicio Geológico Colombiano. (s,f). *Anexo A. Susceptibilidad por geología*. Recuperado de: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B21/AmeMM347EspeldaNuevo/Documento/Pdf/AnexoA.pdf>
- Shin G. 1999. *The analysis of soil erosion analysis in watershed using GIS*. Dissertation, Department of Civil Engineering, Gang-won National University.
- SIAC, (2020). *Degradación de suelos*. Recuperado de: <http://www.siac.gov.co/erosion>
- SIGSA & ESRI (2016). *¿Qué es ArcGis?*. Recuperado de: <https://www.sigsa.info/productos/esri/plataforma-arcgis#:~:text=ArcGIS%20es%20un%20completo%20sistema,compartir%20y%20distribuir%20informaci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica>.
- SINCHI, (2007). *Compatibilización de la zonificación ecológica*. Recuperado de: [https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/ZEE%20Rio%20Putumayo%20\(1\).pdf](https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/ZEE%20Rio%20Putumayo%20(1).pdf)
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. (SSSA). 1984. *Glossary of Soil Science terms*. SSSA. Madison. 38

Soza, F. (2012). *Siembra en contorno o en curvas de nivel*. Recuperado de:
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1337/2/02.pdf>

Tarbuck, E., & Lutgens, F. 1999. *Ciencias de la tierra: Una introducción a la Geología Física*. 6^a.
Ed. Prentice Hall Iberia S. R. L. Madrid. 572 p

USDA-NRCS. 2011. *Field Office Technical Guide. Conservation Practice Standard. Filter Strips*.
Code 393. Sacramento, CA.

Zambrano, J. (2020). *Vulnerabilidad del terreno*. Recuperado de:
<https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Vulnerabi.htm>

Anexos

Anexo 1. Especificaciones técnicas de la información geográfica utilizada como fuente siguiendo las normas técnicas colombianas NTC 4611:2011 y NTC 5043:2010.

División veredal de Facatativá	Informe detallado de la Calidad	
	Informe de exactitud temática	Evaluando la información proporcionada, la exactitud de los datos se asemeja al 95% de la información siendo una de las más confiables brindadas por las instituciones del estado.
	Informe de exactitud Lógica	Todos los polígonos presentan el código, descripción y datos relevantes para su interpretación.
	Fuente de Información	
	Nombre del responsable	MGN-DANE, IGAC
	tipo de responsable	Dueño
	Datos de Publicación	
	Fecha	2017
	Título	Nivel de Referencia de Veredas
	Tipo de Presentación	Vector
	Forma de Presentación	ESRI Shapefile
	Enlace en Línea	https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/descarga-nivel-de-referencia-de-veredas/
	Descripción	La capa proporciona los datos más actualizados de las veredas de Colombia, se utilizó como insumo para obtener la información veredal del área de estudio,
	Nivel de resolución	1:25000
Red Hídrica de Facatativá	Informe detallado de la Calidad	
	Informe de exactitud temática	Evaluando la información proporcionada, la exactitud de los datos se asemeja al 100%, es verídica, los polígonos se acoplan, la red hídrica se asemeja a la observada en el territorio
	Informe de exactitud Lógica	Cada dato proporcionado presenta las variables suficientes para el reconocimiento de la información, esto teniendo en cuenta que es a nivel departamental y usada para el nivel municipal.
	Fuente de Información	
	Nombre del responsable	MGN-DANE, IGAC
	tipo de responsable	Dueño
	Datos de Publicación	
	Fecha	2017
	Título	Marco geoestadístico Nacional
	Forma de Presentación	Shapefile (.shp)

	Enlace en Línea	https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/descarga-mgn-marco-geoestadistico-nacional/
	Descripción	Proporciono la red hídrica de Cundinamarca, consigo, la del municipio de Facatativá.
	Nivel de resolución	1:25000
Mapa de suelos del territorio colombiano	Informe detallado de la Calidad	
	Informe de exactitud temática	Evaluando la información proporcionada, la exactitud de los datos se asemeja al 90%, debido a la escala en la que se encuentra la información utilizada
	Informe de exactitud Lógica	Todos los polígonos presentan el código, descripción y datos importantes acerca del recurso suelo (ambientes edafogénicos, características físicas, químicas, mineralógicas, morfológicas y taxonomía)
	Fuente de Información	
	Nombre del responsable	IGAC
	tipo de responsable	Dueño
	Datos de Publicación	
	Fecha	2001
	Título	Mapas de Suelos del Territorio Colombiano a escala 1:100.000. Departamento: Cundinamarca
	Tipo de Presentación	Vector
	Forma de Presentación	Shapefile (.shp)
	Enlace en Línea	https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia
	Descripción	Se utilizó de insumo para reconocer las unidades de paisaje presentes en el municipio de Facatativá y conocer la erodabilidad del suelo.
	Nivel de resolución	1:100000
Cobertura actual del municipio de Facatativá	Informe detallado de la Calidad	
	Informe de exactitud temática	Ese una información 100% verídica, ya que aporta la información del municipio con una resolución bastante buena, brindando el detalle necesario de la zona de estudio
	Informe de exactitud Lógica	Información del ráster confiable, con nubosidad <30%
	Fuente de Información	
	Nombre del responsable	USGS (sensor Sentinel 2A)
	tipo de responsable	Dueño
	Datos de Publicación	
	Fecha	18 de febrero 2020
	Título	S2A_MSIL1C_20200218T152631_N0209_R025_T18NWL_20200218T185233.SAFE
	Tipo de Presentación	Ráster
Forma de Presentación	TIF (.tif)	

	Enlace en Línea	https://earthexplorer.usgs.gov/
	Descripción	Se utilizó de insumo para reconocer la cobertura y el manejo de la misma en el municipio de Facatativá.
	Nivel de resolución	10 m
Clasificación ecosistémica según Corine Land Cover	Informe detallado de la Calidad	
	Informe de exactitud temática	Evaluando la información proporcionada, la exactitud de los datos se asemeja al 90%, debido a la escala en la que se encuentra la información utilizada
	Informe de exactitud Lógica	Se presentan los datos totalmente descritos, sin discrepancias
	Fuente de Información	
	Nombre del responsable	IDEAM
	tipo de responsable	Dueño
	Datos de Publicación	
	Fecha	2015
	Título	Coberturas de la tierra. Período 2010-2012
	Tipo de Presentación	Vector
	Forma de Presentación	ESRI Shapefile
	Enlace en Línea	http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas
	Descripción	Se utilizó de insumo para reconocer la cobertura vegetal del municipio de Facatativá, acorde a la clasificación según Corine Land Cover y fue usada para la elaboración del mapa de vulnerabilidad ecosistémica del municipio.
	Nivel de resolución	1:100000
Modelo de elevación Digital (DEM)	Informe detallado de la Calidad	
	Informe de exactitud temática	Es una información 100% verídica, ya que aporta la información del municipio con una resolución bastante buena, brindando el detalle necesario de la zona de estudio
	Informe de exactitud Lógica	Información del ráster confiable
	Fuente de Información	
	Nombre del responsable	EARTH DATA (sensor ALOS PALSAR)
	tipo de responsable	Autor
	Datos de Publicación	
	Fecha	2018
	Título	Modelo de elevación Digital
	Tipo de Presentación	Ráster
	Forma de Presentación	TIF (.tif)
	Enlace en Línea	https://earthdata.nasa.gov/
	Descripción	El ráster fue usado como insumo para la elaboración de las curvas de nivel del municipio, para determinar la longitud, pendiente y proporcionó la información correspondiente para la vulnerabilidad topográfica.

	Nivel de resolución	12,5 m
Clasificación geológica del suelo	Informe detallado de la Calidad	
	Informe de exactitud temática	Evaluando la información proporcionada, la exactitud de los datos se asemeja al 90%, debido a la escala en la que se encuentra la información utilizada
	Informe de exactitud Lógica	permite la fácil interpretación, a partir de la descripción de los datos que ofrece.
	Fuente de Información	
	Nombre del responsable	SGC
	tipo de responsable	Dueño
	Datos de Publicación	
	Fecha	2016
	Título	Atlas geológico de Colombia
	Tipo de Presentación	Vector
	Forma de Presentación	Shapefile (.shp)
	Enlace en Línea	https://www.datos.gov.co/Minas-y-Energ-a/Atlas-Geol-gico-de-Colombia/2swu-wi2z
	Descripción	Insumo para evaluar la vulnerabilidad del suelo a partir de la información geológica del municipio
	Nivel de resolución	1:100000

Anexo 2. Estaciones pluviométricas y datos de precipitación.

Tabla 19.

Datos estación Venecia

PRECIPITACIÓN													
VENECIA FACATATIVÁ													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2002	11,00	27,80	51,90	191,30	47,30	53,40	67,00	4,00	34,00	29,00	41,40	102,60	660,70
2003	12,00	111,20	132,80	87,50	35,40	50,46	5,00	73,00	43,20	78,20	115,10	103,00	846,86
2004	25,00	76,00	61,90	122,00	118,00	44,00	25,00	13,00	113,40	157,20	80,00	43,10	878,60
2005	57,60	40,20	31,30	37,80	95,40	9,20	51,30	19,40	96,40	101,50	29,40	27,60	597,10
2006	38,00	26,00	190,00	175,00	223,00	66,00	5,00	48,00	24,00	153,00	139,00	47,00	1134,00
2007	15,00	31,00	89,00	123,00	57,00	67,00	32,00	103,00	32,80	156,00	89,00	113,00	907,80
2008	80,00	51,00	141,00	112,00	142,70	48,00	66,00	91,00	36,00	137,50	303,00	69,00	1277,20
2009	48,00	44,00	107,00	86,00	48,00	93,00	41,17	42,00	0,00	186,60	126,10	28,00	849,87
2010	5,00	22,50	6,70	141,60	132,90	70,60	94,00	35,00	59,00	119,00	202,60	121,70	1010,60
2011	28,00	61,00	133,00	171,60	176,20	39,00	54,00	35,10	40,70	162,30	215,00	97,30	1213,20
2012	62,90	52,40	82,80	152,80	49,20	30,10	53,80	68,80	20,80	131,80	84,90	73,10	863,40
2013	69,90	102,10	84,80	96,50	150,70	29,10	14,10	60,40	24,70	92,40	171,60	90,00	986,30
2014	45,70	49,40	73,10	66,90	92,40	48,50	31,20	19,50	29,10	188,40	124,10	44,40	812,70
2015	17,20	31,20	85,10	46,30	24,50	70,30	30,70	15,90	16,60	20,90	81,10	1,50	441,30
2016	37,00	101,00	98,10	149,30	96,10	44,00	63,70	22,00	135,60	149,20	156,80	70,40	1123,20

Fuente: CAR.

Tabla 20.

Datos estación El Tesoro.

PRECIPITACIÓN													
TESORO EL-FACATATIVÁ													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2002	9,00	18,00	116,50	179,60	91,30	112,50	36,30	55,00	80,40	122,10	117,30	125,00	1063,00
2003	0,00	58,60	97,60	158,60	24,50	72,81	62,07	86,00	55,60	294,40	192,90	97,40	1200,48
2004	31,00	59,50	91,70	290,30	194,70	111,50	64,30	21,20	115,70	242,10	200,00	5,00	1427,00
2005	32,00	71,00	246,00	86,00	198,50	9,50	12,50	6,00	165,80	162,00	109,00	44,50	1142,80
2006	0,00	0,00	282,00	209,70	173,10	73,00	28,50	30,00	55,30	169,50	92,60	52,90	1166,60
2007	32,00	52,56	48,10	92,60	36,80	86,30	30,10	74,10	13,00	201,90	91,90	63,60	822,96
2008	41,20	23,50	35,40	123,60	138,00	51,80	66,90	80,90	44,10	144,10	173,30	57,80	980,60
2009	22,10	58,20	85,50	64,40	49,10	56,10	28,70	36,90	14,60	96,40	84,30	7,30	603,60
2010	11,70	30,50	3,60	75,60	108,80	84,20	158,70	25,00	69,80	59,80	177,60	62,30	867,60
2011	21,40	23,50	97,60	114,40	150,00	41,30	37,20	24,00	54,10	221,90	171,00	75,30	1031,70
2012	43,10	38,60	159,90	99,00	74,90	25,60	48,40	60,10	9,30	88,60	65,20	33,80	746,50
2013	26,10	43,20	74,60	83,70	114,20	25,10	36,60	46,90	16,40	88,40	85,40	73,30	713,90
2014	19,00	33,20	78,70	88,20	111,50	36,90	14,00	21,90	28,80	56,90	84,90	17,00	591,00
2015	5,50	9,40	70,80	72,60	33,80	55,10	23,20	13,10	11,60	19,00	112,35	0,00	426,45
2016	7,80	37,60	40,30	147,80	48,90	48,80	62,30	14,60	52,80	65,50	77,90	34,60	638,90

Fuente: CAR.

Tabla 21.

Datos estación Paloquemao

PRECIPITACIÓN													
PALOQUEMAO-ZIPACÓN													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2002	30,90	38,20	153,60	325,40	97,30	63,30	24,60	12,10	87,90	125,90	38,70	87,60	1085,50
2003	30,20	120,10	110,60	202,10	0,00	4,60	65,60	68,70	54,40	287,20	231,60	64,80	1239,90
2004	73,70	125,60	105,10	219,70	141,00	30,00	43,00	5,40	74,10	135,80	241,80	66,60	1261,80
2005	31,80	25,90	33,70	124,00	191,10	78,90	50,00	42,20	90,80	159,90	19,60	177,90	1025,80
2006	35,90	122,30	158,80	99,90	222,80	66,30	33,40	79,70	126,00	95,50	34,10	120,93	1195,63
2007	68,60	9,00	51,60	107,10	132,00	44,00	12,00	37,20	31,00	356,70	118,00	198,00	1165,20
2008	163,80	70,30	180,00	83,60	201,90	91,80	69,20	101,10	34,10	46,50	300,60	73,70	1416,60
2009	108,40	101,00	163,00	108,40	150,10	64,90	29,60	26,60	67,10	224,80	102,50	52,00	1198,40
2010	31,20	42,80	67,40	268,30	126,40	90,20	97,60	99,40	113,60	167,40	208,80	123,10	1436,20
2011	23,00	68,60	79,90	112,00	59,10	37,10	15,00	35,00	34,20	252,40	468,60	237,20	1422,10
2012	89,70	61,90	121,70	256,40	42,80	43,20	52,70	92,70	28,20	216,70	69,10	88,70	1163,80
2013	132,20	177,40	73,60	215,80	154,10	41,00	17,00	49,40	44,90	100,50	369,50	184,20	1559,60
2014	37,80	99,30	184,20	59,80	127,80	58,70	18,40	13,10	35,70	244,10	259,30	156,40	1294,60
2015	28,50	94,50	123,20	91,20	37,20	53,40	33,70	17,30	25,20	41,50	166,30	42,10	754,10
2016	53,60	19,00	83,70	221,90	84,50	68,10	83,00	29,70	54,30	234,90	290,80	39,00	1262,50

Fuente: CAR.

Tabla 22.

Datos estación Manjui

PRECIPITACIÓN													
MANJUI-FACATATIVÁ													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2002	10,50	30,50	61,50	210,50	79,00	87,00	33,00	20,50	48,50	123,00	45,00	63,00	812,00
2003	2,50	56,20	84,00	120,00	30,00	4,00	53,40	48,30	69,40	165,90	113,00	62,50	809,20
2004	19,20	76,30	49,20	154,50	116,80	41,10	38,40	31,00	128,00	132,00	120,00	18,40	924,90
2005	93,20	35,30	45,00	83,20	134,80	21,60	24,40	45,70	71,60	281,70	84,20	8,30	929,00
2006	48,70	17,00	144,30	220,50	258,20	89,50	17,00	48,70	45,30	188,50	241,80	124,20	1443,70
2007	13,60	2,30	128,80	155,00	104,00	46,00	31,00	105,00	38,80	215,00	106,90	164,10	1110,50
2008	71,70	63,50	58,10	117,80	158,20	39,00	120,80	158,60	32,90	129,90	271,40	37,10	1259,00
2009	42,80	77,20	111,10	144,40	75,60	121,90	99,10	44,60	30,00	142,50	84,20	3,10	976,50
2010	0,00	9,70	0,00	232,00	147,70	61,60	123,20	27,00	50,10	106,50	144,50	46,50	948,80
2011	0,00	115,50	238,50	295,00	183,50	56,70	74,00	37,80	40,80	37,90	85,00	49,90	1214,60
2012	50,90	23,00	136,50	118,00	59,30	26,70	53,40	82,80	34,30	94,20	65,80	27,90	772,80
2013	17,80	52,10	77,10	79,30	137,70	27,70	27,90	60,30	13,10	93,80	122,40	33,90	743,10
2014	1,40	46,40	31,30	53,90	145,20	96,70	85,20	22,30	73,00	169,60	144,40	50,80	920,20
2015	24,60	13,60	47,00	79,10	78,10	69,60	50,10	28,30	23,20	31,70	72,00	1,30	518,60
2016	31,80	32,50	44,60	152,30	96,80	35,90	71,50	16,10	62,00	181,80	165,00	27,50	917,80

Fuente: CAR.

Tabla 23.

Datos estación Campobello.

PRECIPITACIÓN													
CAMPOBELLO-MADRID													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2002	0,00	5,40	73,90	100,30	51,70	104,80	41,60	4,10	56,60	66,20	90,70	28,80	624,10
2003	0,00	13,90	44,60	73,60	22,70	58,60	43,63	40,00	12,40	99,10	77,10	24,00	509,63
2004	2,20	31,30	42,90	144,50	114,80	50,50	37,80	18,80	41,40	79,20	102,60	2,40	668,40
2005	22,50	27,40	48,30	52,50	102,50	23,50	22,10	32,50	36,80	107,90	70,80	62,90	609,70
2006	15,60	2,30	88,80	155,20	72,00	111,50	22,30	16,70	23,90	118,80	64,30	24,30	715,70
2007	19,20	7,10	43,70	124,30	57,40	65,20	18,50	46,70	2,70	126,20	94,20	108,30	713,50
2008	35,00	59,40	56,60	62,90	136,00	76,00	59,30	94,60	27,20	86,20	140,20	30,50	863,90
2009	65,10	59,20	89,20	58,50	62,30	67,10	53,60	18,90	14,30	107,70	64,30	9,70	669,90
2010	15,40	29,10	8,50	99,50	66,60	43,00	106,80	46,60	84,50	74,20	96,00	97,90	768,10
2011	15,40	36,30	117,60	118,50	154,20	37,80	44,70	20,70	39,30	138,20	190,80	46,90	960,40
2012	12,60	33,80	124,60	153,30	72,90	29,20	36,70	49,00	11,50	95,90	50,60	7,80	677,90
2013	15,70	49,20	31,40	55,30	77,70	13,10	41,50	32,80	23,90	44,80	89,10	53,90	528,40
2014	16,60	28,00	50,90	66,50	88,40	53,00	22,70	37,90	50,20	110,20	67,60	54,90	646,90
2015	18,70	26,10	57,80	72,40	28,10	40,20	39,30	22,10	25,80	37,20	41,80	2,20	411,70
2016	4,10	50,20	41,60	103,60	66,60	48,20	65,80	24,00	83,40	100,50	107,00	38,90	733,90

Fuente: CAR.

Tabla 24.

Datos estación Bojacá.

PRECIPITACIÓN													
BOJACA-BOJACA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2002	7,50	7,00	28,50	135,50	88,00	91,00	40,50	11,50	34,00	60,50	21,50	26,00	551,50
2003	3,50	15,50	38,50	85,00	16,50	2,00	50,50	22,50	45,00	133,00	104,00	27,00	543,00
2004	16,50	58,00	69,00	126,50	73,50	24,50	35,50	13,50	54,00	99,00	84,00	36,00	690,00
2005	46,00	17,50	24,00	67,00	102,50	22,00	13,50	25,07	40,35	77,44	66,51	0,00	501,87
2006	27,00	9,00	37,50	142,00	110,00	84,50	14,50	43,00	16,00	73,00	39,00	9,00	604,50
2007	13,00	2,50	60,00	90,50	58,50	68,00	12,50	22,50	24,00	70,00	68,50	62,50	552,50
2008	44,00	43,00	28,00	46,50	88,50	64,00	54,00	65,40	19,00	71,50	116,50	28,91	669,31
2009	27,00	49,50	82,80	63,00	69,50	41,00	26,00	9,50	16,50	95,00	65,50	19,00	564,30
2010	6,50	13,20	25,50	136,00	118,40	58,00	71,00	48,50	84,00	55,00	117,60	81,00	814,70
2011	9,00	37,00	154,00	140,10	129,00	36,00	16,00	22,00	43,00	54,50	74,50	21,00	736,10
2012	13,50	48,70	49,50	108,80	21,00	22,60	8,00	12,50	21,00	18,00	14,00	28,91	366,51
2013	21,34	10,00	47,00	55,00	71,50	19,50	27,00	18,00	17,00	41,30	83,00	7,50	418,14
2014	7,50	23,50	22,30	50,00	83,10	56,00	5,50	11,50	16,00	66,00	65,00	46,00	452,40
2015	14,10	33,00	35,50	30,90	11,70	15,00	31,00	5,00	9,00	15,00	32,50	0,00	232,70
2016	24,50	9,10	15,00	101,50	78,00	25,50	62,20	11,00	79,10	64,20	81,50	20,50	572,10

Fuente: CAR.

Tabla 25.

Datos estación La Pradera.

PRECIPITACIÓN													
PRADERA LA-SUBACHOQUE													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2002	11,00	27,60	101,30	84,10	94,20	39,90	22,50	69,40	1,00	118,07	107,74	50,23	727,04
2003	26,48	44,01	79,26	110,10	106,52	0,00	113,10	26,60	105,00	150,00	71,00	8,00	840,06
2004	22,00	2,70	16,70	98,50	92,40	17,70	44,20	39,40	112,60	113,50	162,00	50,23	771,93
2005	0,00	53,70	3,00	134,90	74,30	55,40	5,90	79,10	67,30	232,90	88,60	18,30	813,40
2006	0,00	5,00	100,90	136,60	188,60	74,50	59,80	39,10	44,80	107,50	13,80	75,20	845,80
2007	19,70	0,00	45,20	179,10	48,20	84,60	20,00	44,20	75,60	99,20	62,80	79,20	757,80
2008	45,90	73,60	105,50	166,80	189,80	85,80	77,40	125,90	69,00	76,90	226,80	18,60	1262,00
2009	43,00	63,70	124,20	57,60	31,70	35,10	43,80	26,40	57,00	105,40	44,80	20,40	653,10
2010	18,80	18,40	32,60	150,40	199,20	89,30	190,70	76,50	112,00	213,10	256,10	84,00	1441,10
2011	52,10	88,70	133,20	224,70	126,70	69,90	70,50	80,40	71,40	212,60	207,50	89,40	1427,10
2012	48,60	35,10	82,60	147,90	49,90	19,50	86,00	30,30	23,50	42,90	58,10	39,80	664,20
2013	8,70	74,60	51,60	142,50	96,60	28,90	33,30	101,50	52,20	92,60	147,60	107,00	937,10
2014	62,20	79,50	89,80	93,60	98,10	56,30	27,80	8,80	26,30	129,00	93,00	45,00	809,40
2015	21,50	20,00	115,70	37,30	24,70	41,80	31,90	17,20	4,00	56,40	40,70	3,40	414,60
2016	11,30	41,00	84,20	172,10	133,40	43,00	54,40	49,20	58,30	93,80	147,40	70,40	958,50

Fuente: CAR.

Tabla 26.

Datos estación Argentina.

PRECIPITACIÓN													
ARGENTINA-QUIPILE													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2002	6,60	42,60	0,00	29,10	83,30	8,40	14,90	5,40	0,40	20,20	1,00	19,70	231,60
2003	20,00	15,80	3,80	17,00	18,20	0,00	32,00	92,00	116,00	173,60	113,00	68,00	669,40
2004	3,00	126,30	74,00	168,50	155,00	29,00	70,00	23,00	124,00	131,00	102,00	61,00	1066,80
2005	53,00	119,00	70,00	121,00	206,00	39,00	61,00	41,00	71,00	157,00	91,00	131,00	1160,00
2006	25,00	27,00	134,00	160,00	107,00	116,00	32,00	73,00	76,00	125,00	192,30	53,00	1120,30
2007	16,00	9,00	174,00	232,00	161,00	51,00	27,00	107,00	54,00	183,40	121,00	101,60	1237,00
2008	114,50	129,20	121,00	128,35	123,72	163,00	61,00	236,50	55,00	181,70	208,30	64,50	1586,77
2009	70,00	82,40	131,60	54,10	35,60	43,90	35,20	68,70	38,60	96,60	85,30	7,70	749,70
2010	18,00	36,80	124,60	229,30	172,70	95,30	78,90	80,50	83,60	154,30	169,00	115,40	1358,40
2011	26,40	131,50	119,70	222,20	137,70	141,20	60,90	90,70	66,70	203,20	190,00	149,00	1539,20
2012	115,90	38,00	209,10	135,10	104,00	29,00	37,60	72,00	16,30	175,80	138,90	36,00	1107,70
2013	38,20	194,50	86,40	279,10	150,50	125,20	64,70	19,10	45,60	73,90	99,20	78,00	1254,40
2014	107,50	97,60	132,20	69,40	182,40	38,40	37,70	14,10	50,30	124,70	155,40	120,60	1130,30
2015	40,60	65,30	124,60	51,50	122,80	97,40	50,10	27,00	57,50	120,50	73,00	21,00	851,30
2016	35,60	71,60	112,70	14,70	44,20	18,60	52,70	22,00	88,50	59,90	76,70	42,00	639,20

Fuente: CAR.

Tabla 27.

Datos estación Sabaneta.

PRECIPITACIÓN													
SABANETA [23065100] LA VEGA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
2002	27,20	63,60	166,40	321,10	139,90	44,60	28,30	16,20	36,60	139,90	120,80	122,70	1227,30
2003	60,90	159,90	141,00	187,60	29,90	55,80	69,20	64,50	110,70	169,90	193,60	233,50	1476,50
2004	103,40	157,20	171,02	265,30	126,50	41,40	71,10	18,30	123,70	190,70	246,70	136,60	1651,92
2005	231,60	160,80	61,20	145,30	171,90	25,10	13,40	71,80	85,20	277,00	217,10	92,20	1552,60
2006	171,80	130,80	261,30	196,50	184,40	127,10	45,90	18,90	29,70	258,30	227,00	109,30	1761,00
2007	94,40	13,90	65,80	182,40	106,10	76,90	23,10	86,70	29,60	266,50	90,50	264,50	1300,40
2008	96,20	137,50	181,40	110,90	215,20	80,60	84,30	165,90	81,00	123,80	454,40	174,70	1905,90
2009	117,90	147,40	209,30	161,30	138,80	51,10	22,10	20,10	14,80	215,25	230,43	163,08	1491,57
2010	13,50	40,50	60,60	177,50	193,00	103,00	147,90	86,60	77,50	240,80	332,10	346,50	1819,50
2011	77,00	145,10	328,30	295,00	283,50	75,00	55,40	58,80	52,40	304,20	235,80	168,00	2078,50
2012	182,90	144,30	134,30	129,00	83,40	32,80	33,90	33,70	56,90	232,40	159,50	193,70	1416,80
2013	179,70	223,00	181,60	104,30	183,00	32,90	30,10	71,60	48,70	164,30	379,20	208,90	1807,30
2014	113,08	127,34	171,02	184,72	145,18	60,56	53,25	59,43	35,40	215,25	169,40	67,40	1402,03
2015	79,50	101,60	235,10	125,20	31,70	41,00	67,60	62,10	60,17	200,20	169,50	2,10	1175,77
2016	147,10	157,20	196,90	184,72	145,18	60,56	53,25	59,62	80,10	214,18	230,43	163,08	1692,33

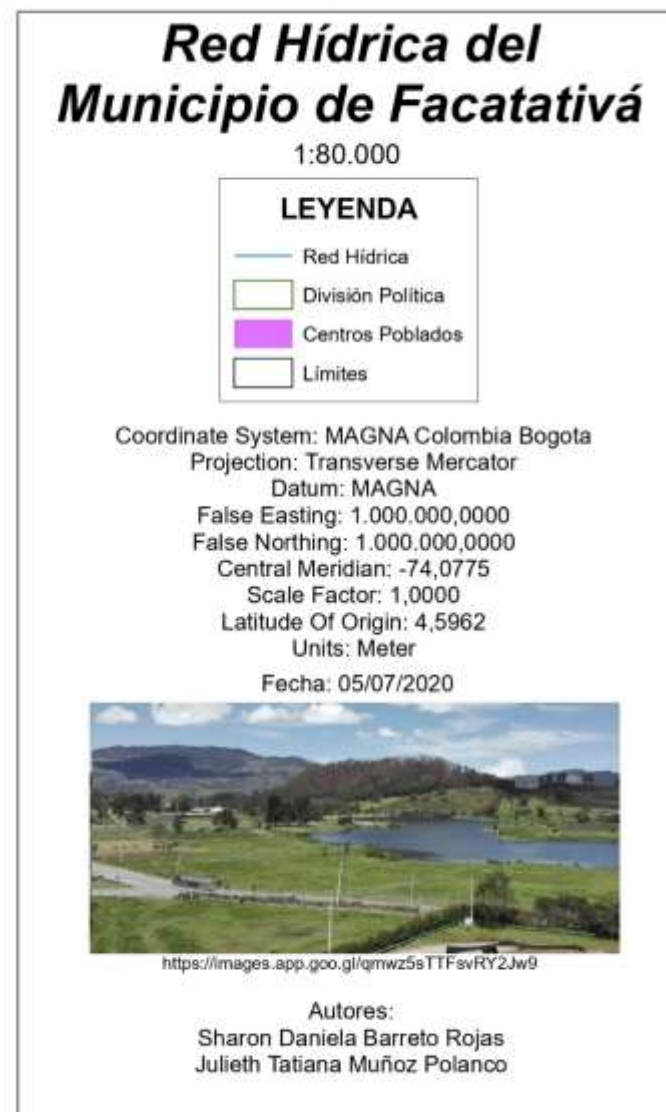
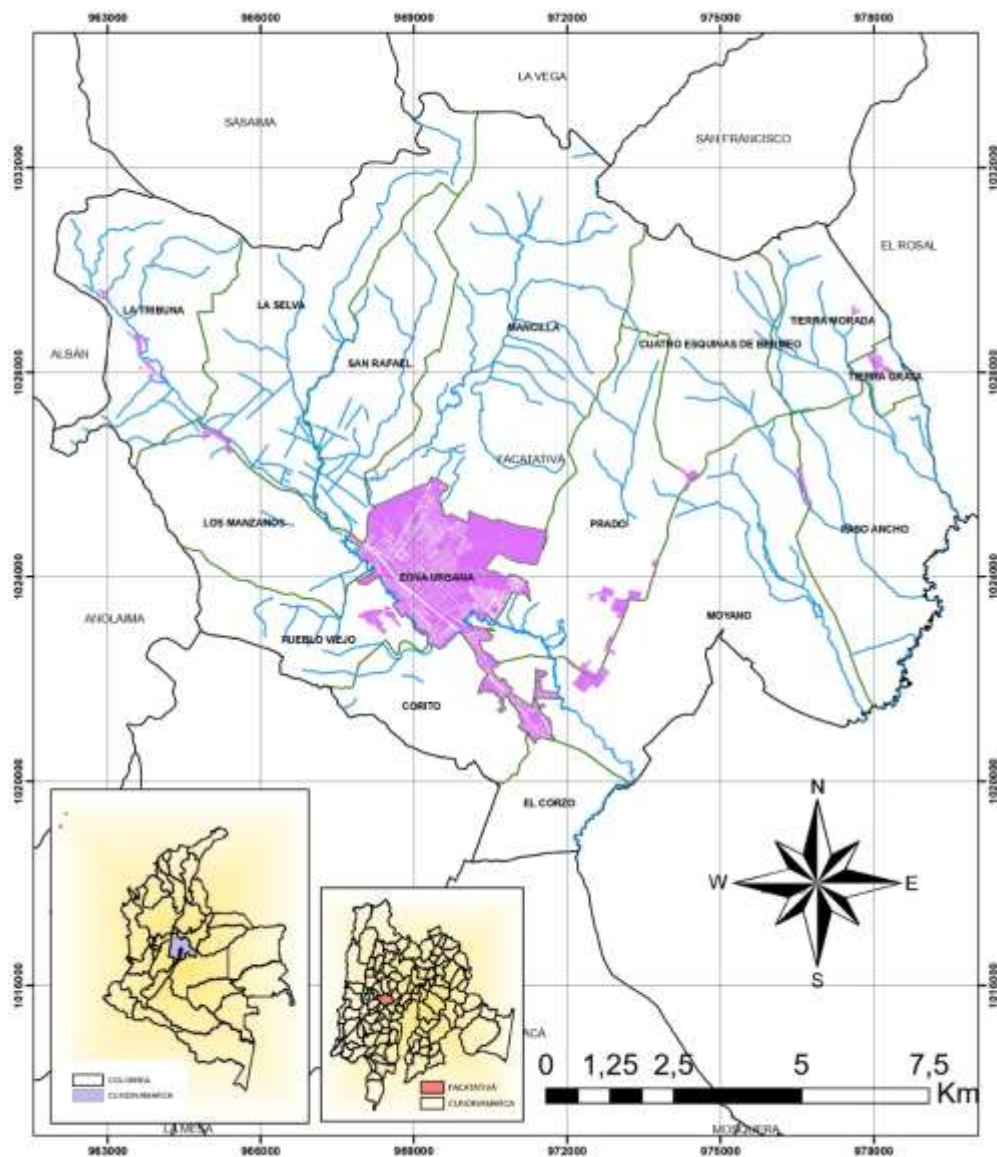
Fuente: IDEAM.

Anexo 3. Factor K, a partir de textura y porcentaje de materia orgánica.

TEXTURA DEL SUELO	< 0.5%	2%	>4%
Arena	0.007	0.004	0.003
Arena fina	0.0021	0.018	0.013
Arena muy fina	0.055	0.047	0.037
Arena franca	0.016	0.013	0.011
Arena fina franca	0.032	0.026	0.021
Arena muy fina franca	0.058	0.050	0.040
Franco arenoso	0.036	0.032	0.025
Franco arenoso fino	0.046	0.040	0.032
Franco arenoso muy fino	0.062	0.054	0.043
Franco (grada)	0.050	0.045	0.038
Limo franco	0.063	0.055	0.043
Limo	0.079	0.068	0.055
Franco arenoarcilloso	0.036	0.033	0.028
Franco arcilloso	0.037	0.033	0.028
Franco arcillolimoso	0.049	0.042	0.034
Arcilla arenosa	0.018	0.017	0.016
Arcilla limosa	0.033	0.030	0.025
Arcilla	0.017	0.038	-----

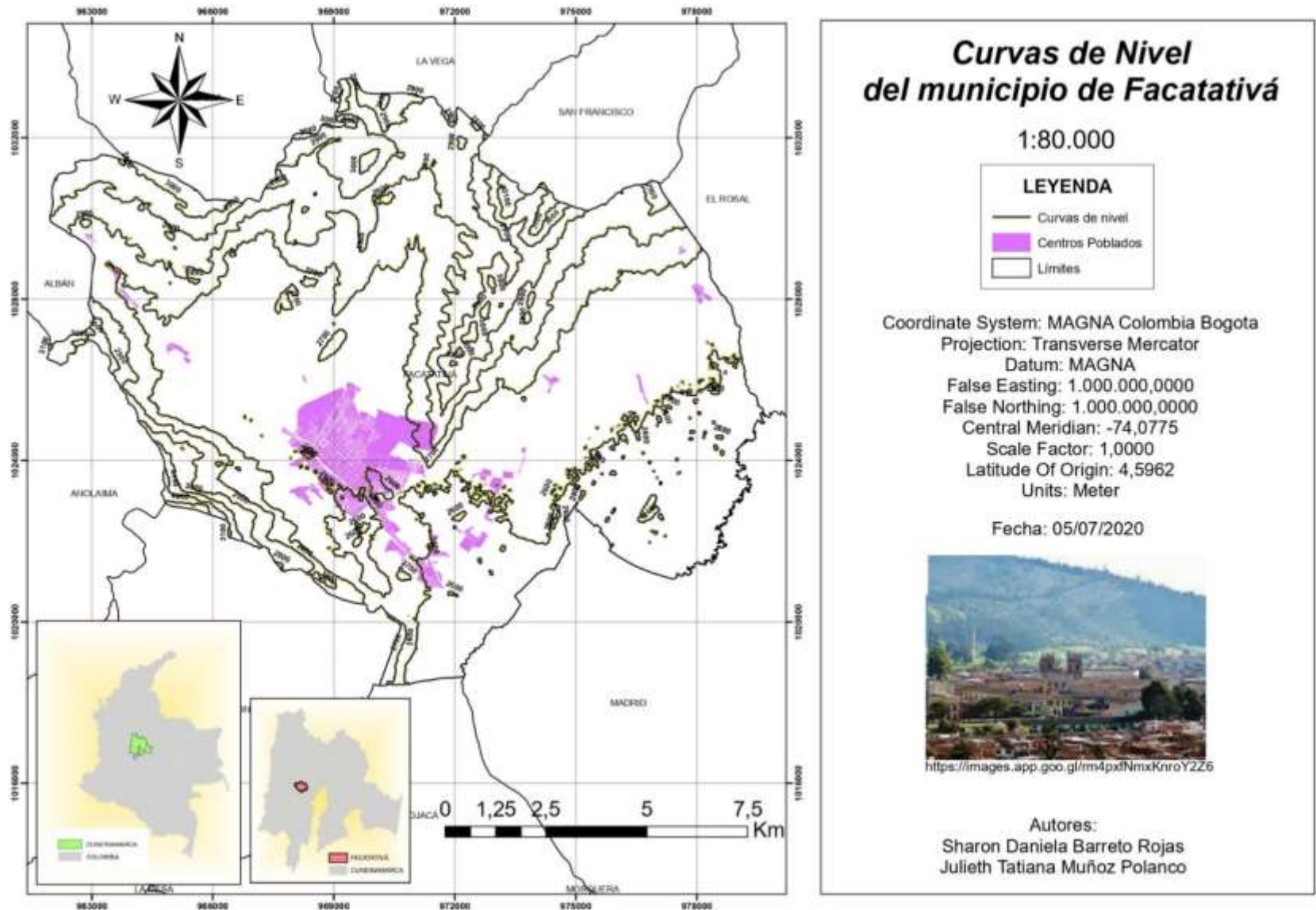
Fuente: Kirkby y Morgan (1980)

Anexo 4. Mapa de la red hídrica del Municipio de Facatativá



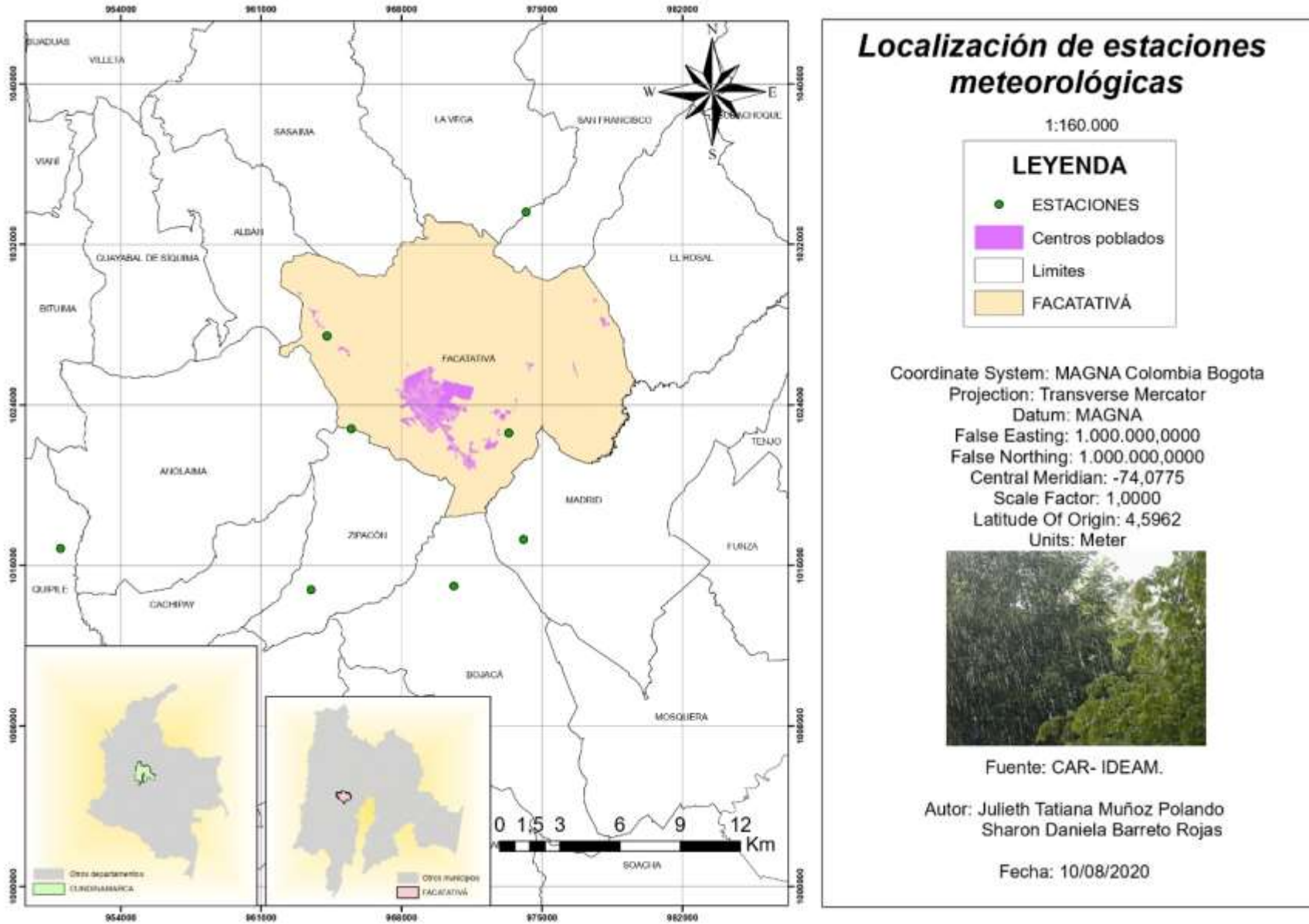
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Mapa de Curvas de Nivel del Municipio de Facatativá



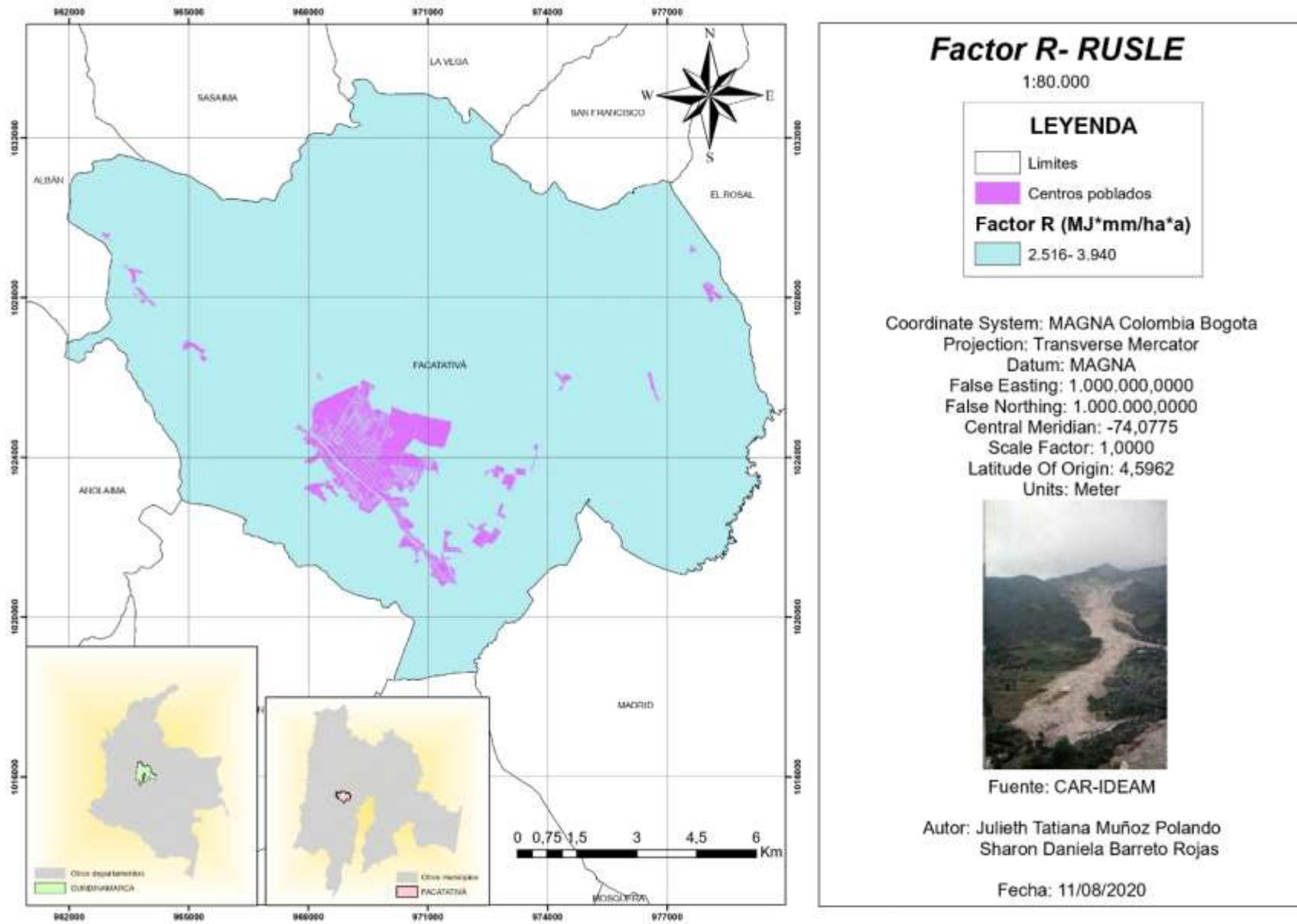
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6. Mapa de localización de estaciones meteorológicas.



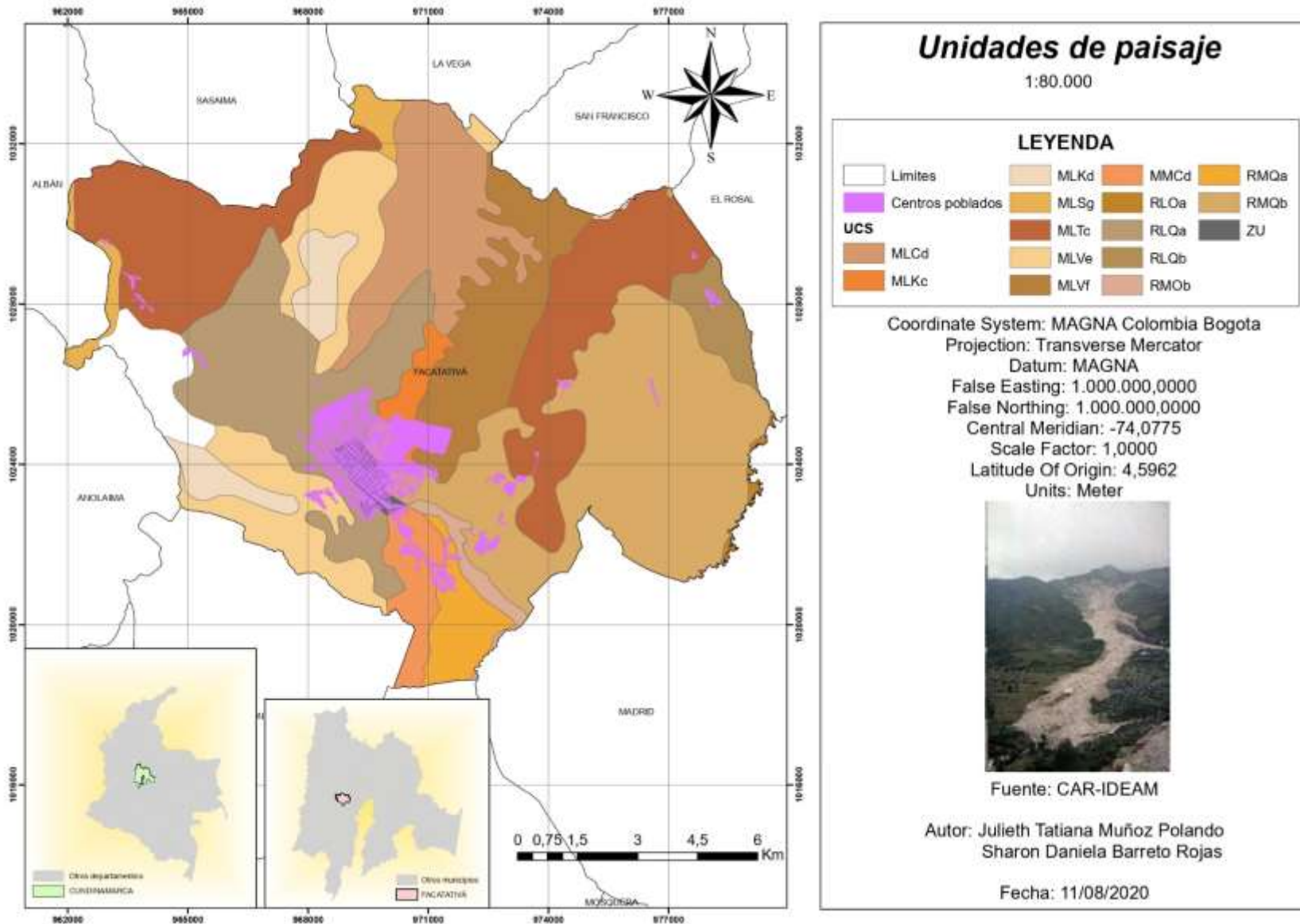
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. Mapa de Factor R, según metodología RUSLE.



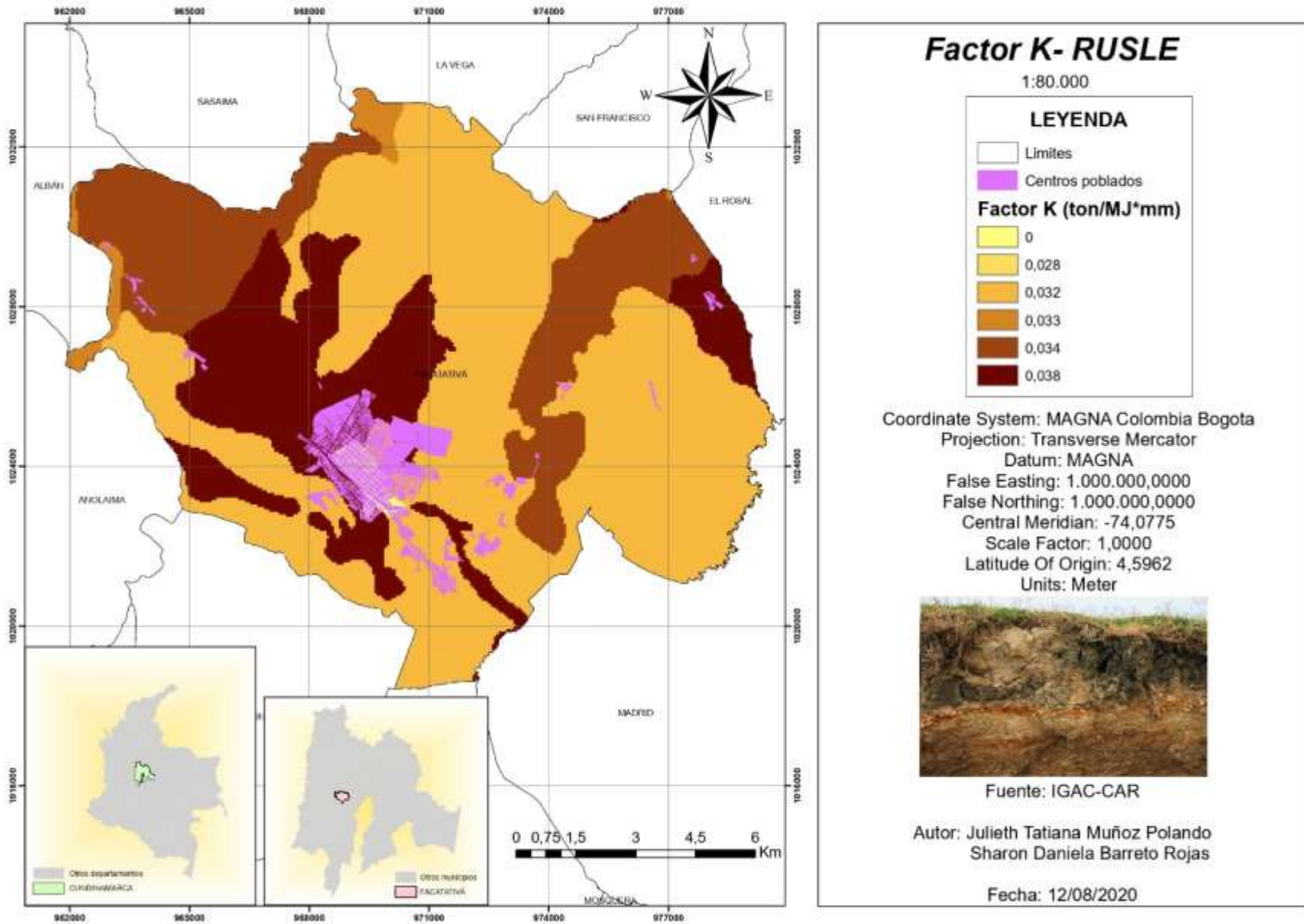
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8. Mapa de Unidades de paisaje del municipio de Facatativá



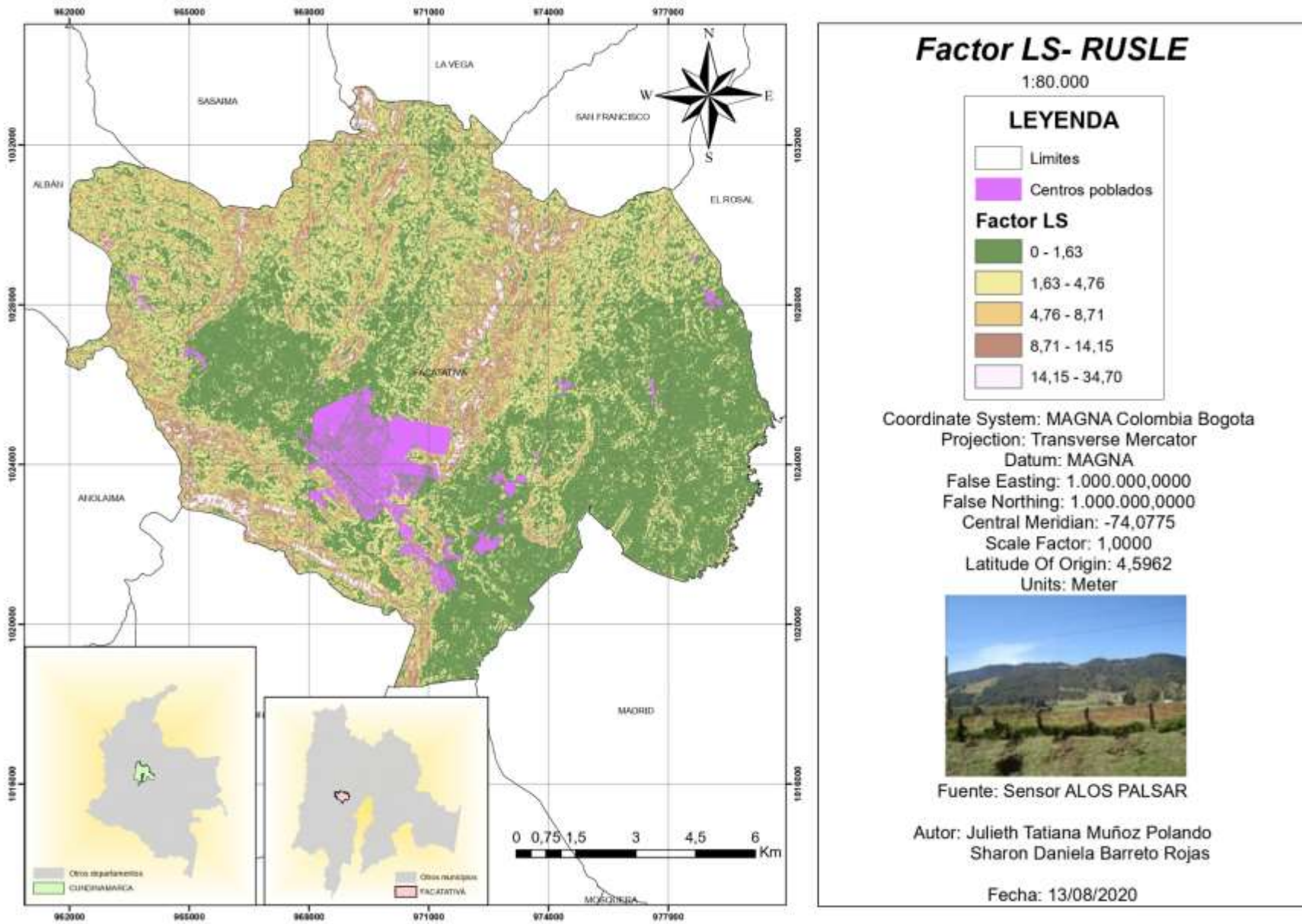
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9. Mapa del Factor K, según metodología RUSLE.



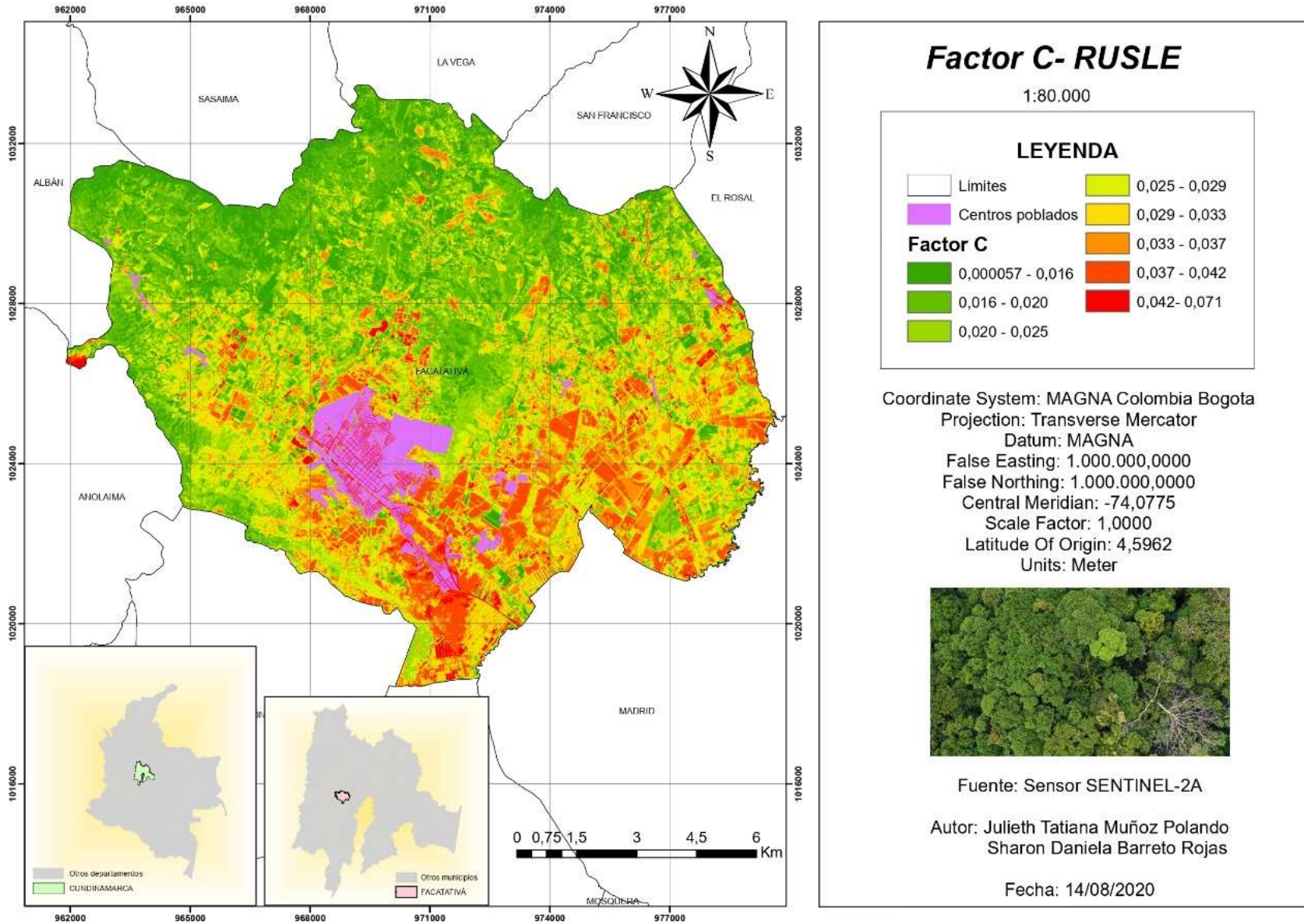
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10. Mapa del Factor LS, según metodología RUSLE.



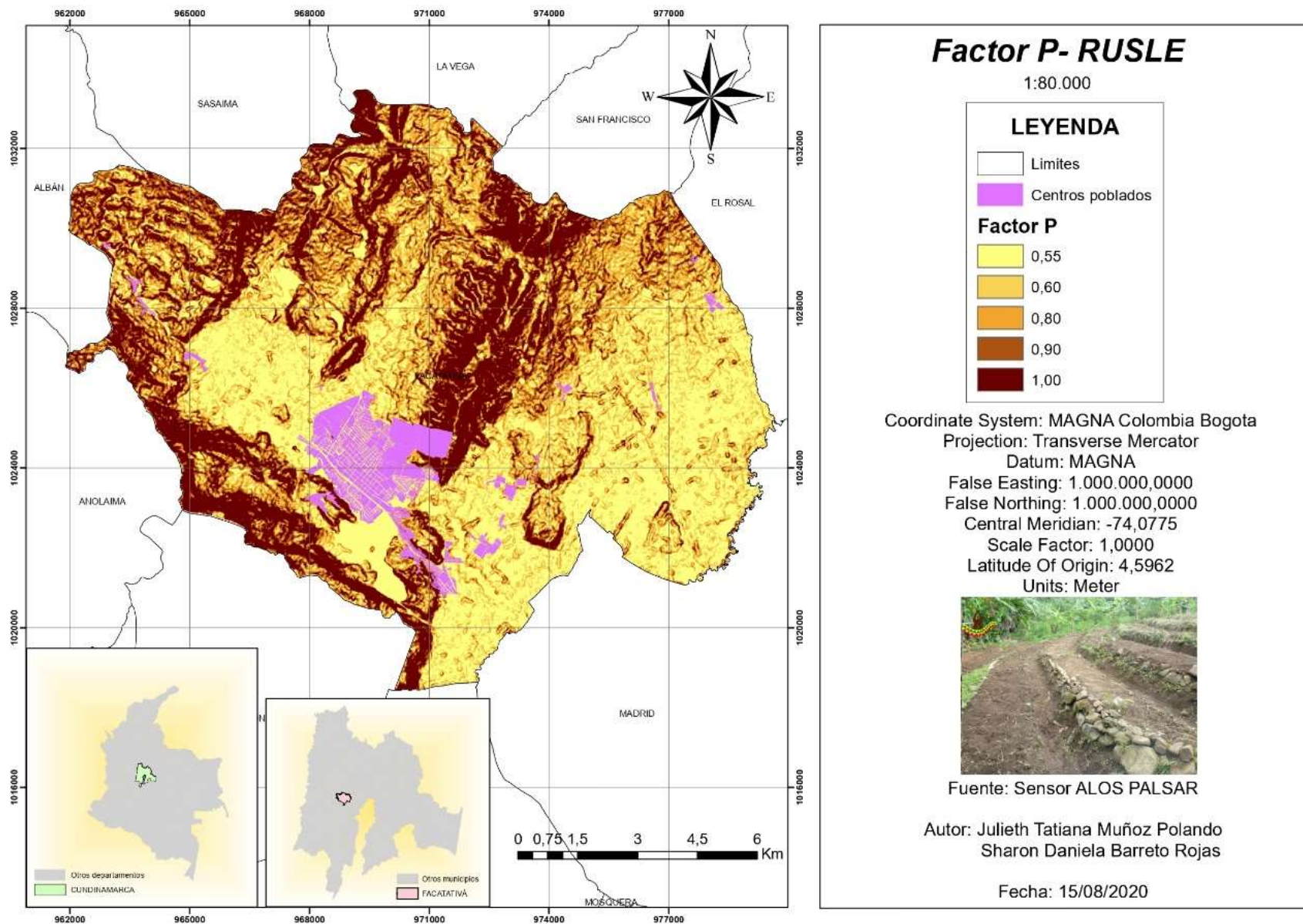
Fuente: Elaboración propia

Anexo 11. Mapa del Factor C, según metodología RUSLE.



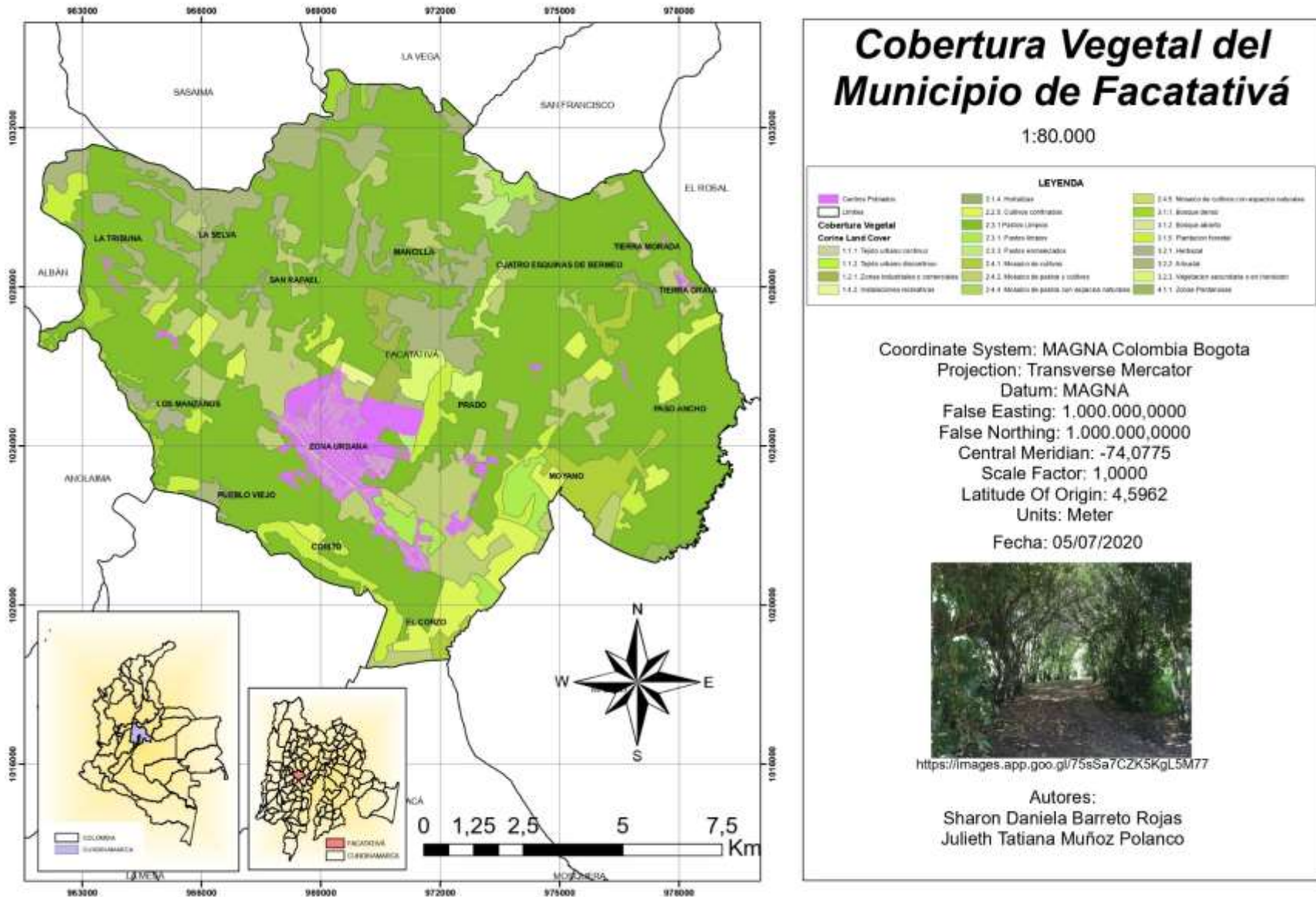
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12. Mapa del Factor P, según metodología RUSLE.



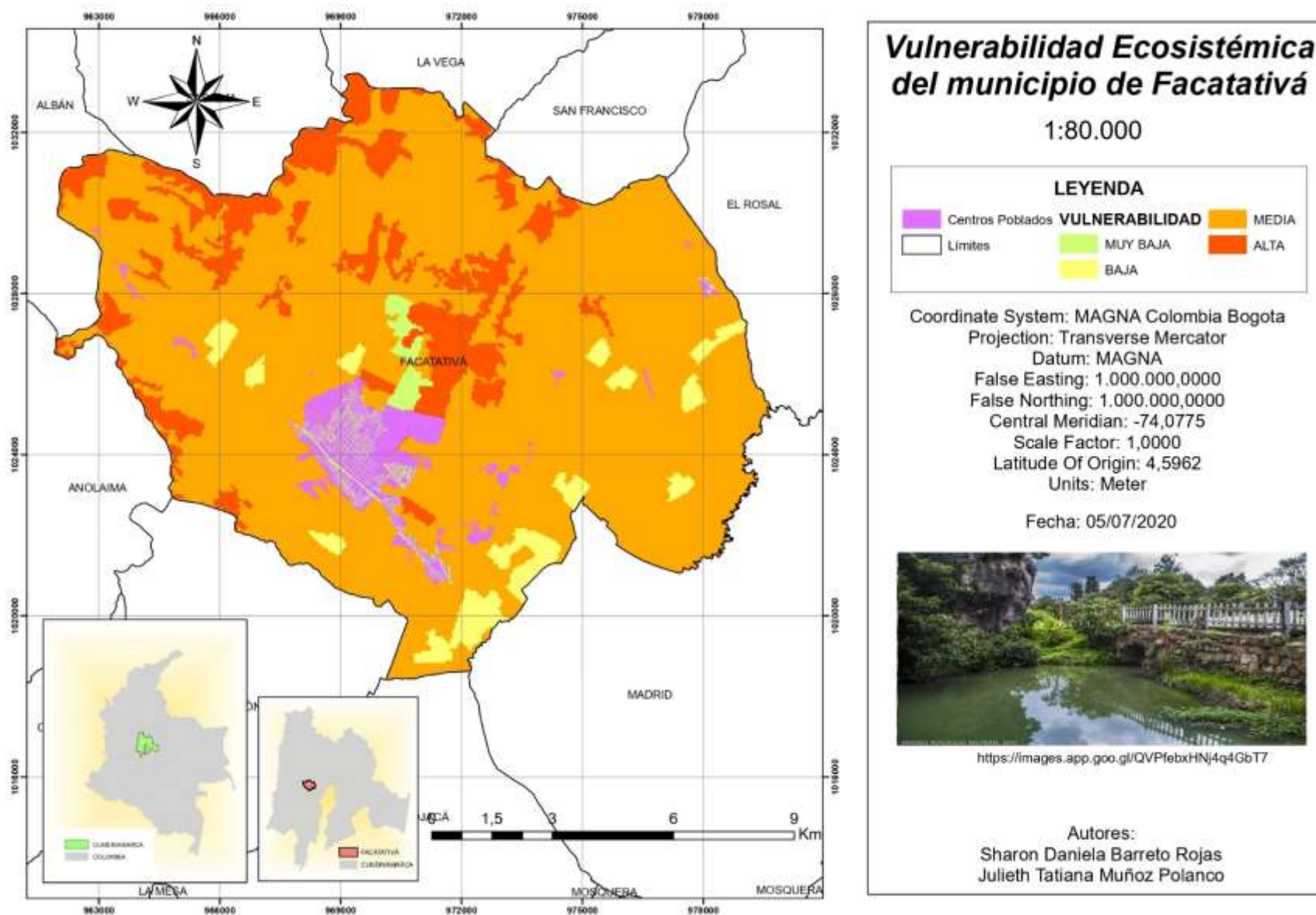
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13. Mapa de la Cobertura vegetal del Municipio de Facatativá



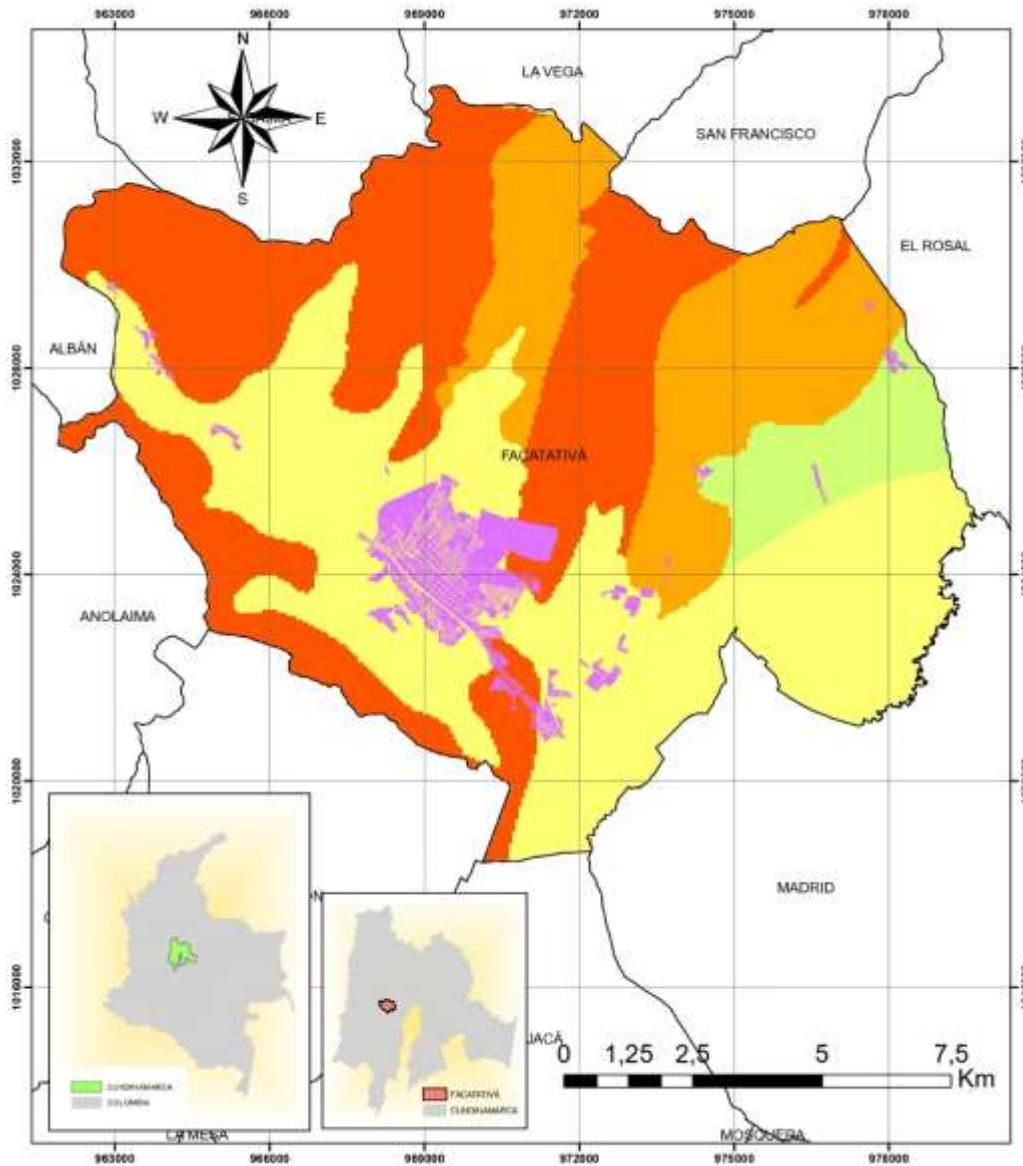
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14. Mapa de la Vulnerabilidad de la cobertura Vegetal del Municipio de Facatativá



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15. Mapa de la Vulnerabilidad del suelo del Municipio de Facatativá



Vulnerabilidad del Suelo del municipio de Facatativá

1:80.000

LEYENDA

	Centros Poblados	Vulnerabilidad del Suelo		MEDIA	
	Limites		MUY BAJA		ALTA
			BAJA		

Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: MAGNA
 False Easting: 1.000.000,0000
 False Northing: 1.000.000,0000
 Central Meridian: -74,0775
 Scale Factor: 1,0000
 Latitude Of Origin: 4,5962
 Units: Meter

Fecha: 05/08/2020

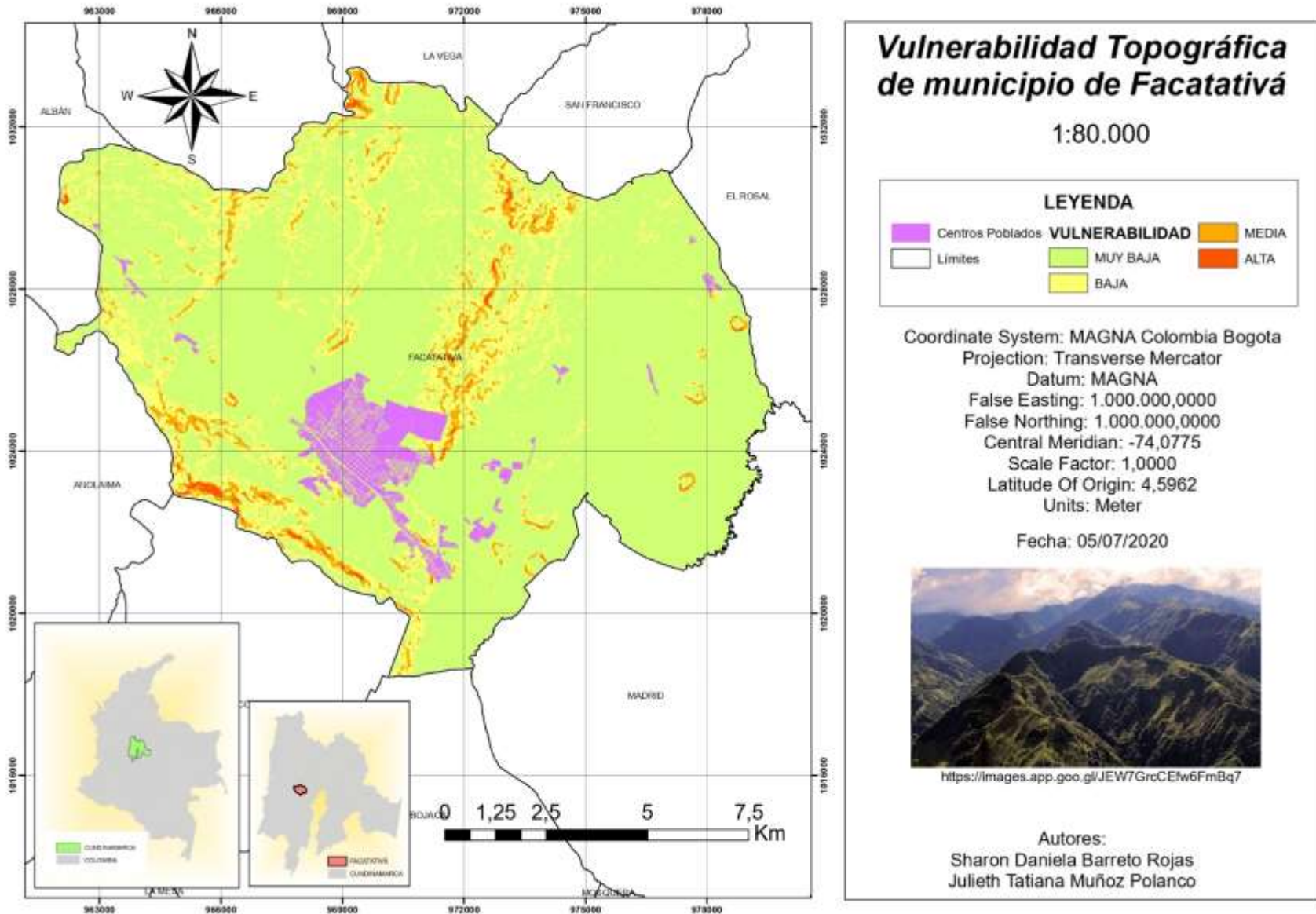


<https://images.app.goo.gl/gZLcZ57R2aT6cF47>

Autores:
 Sharon Daniela Barreto Rojas
 Julieth Tatiana Muñoz Polanco

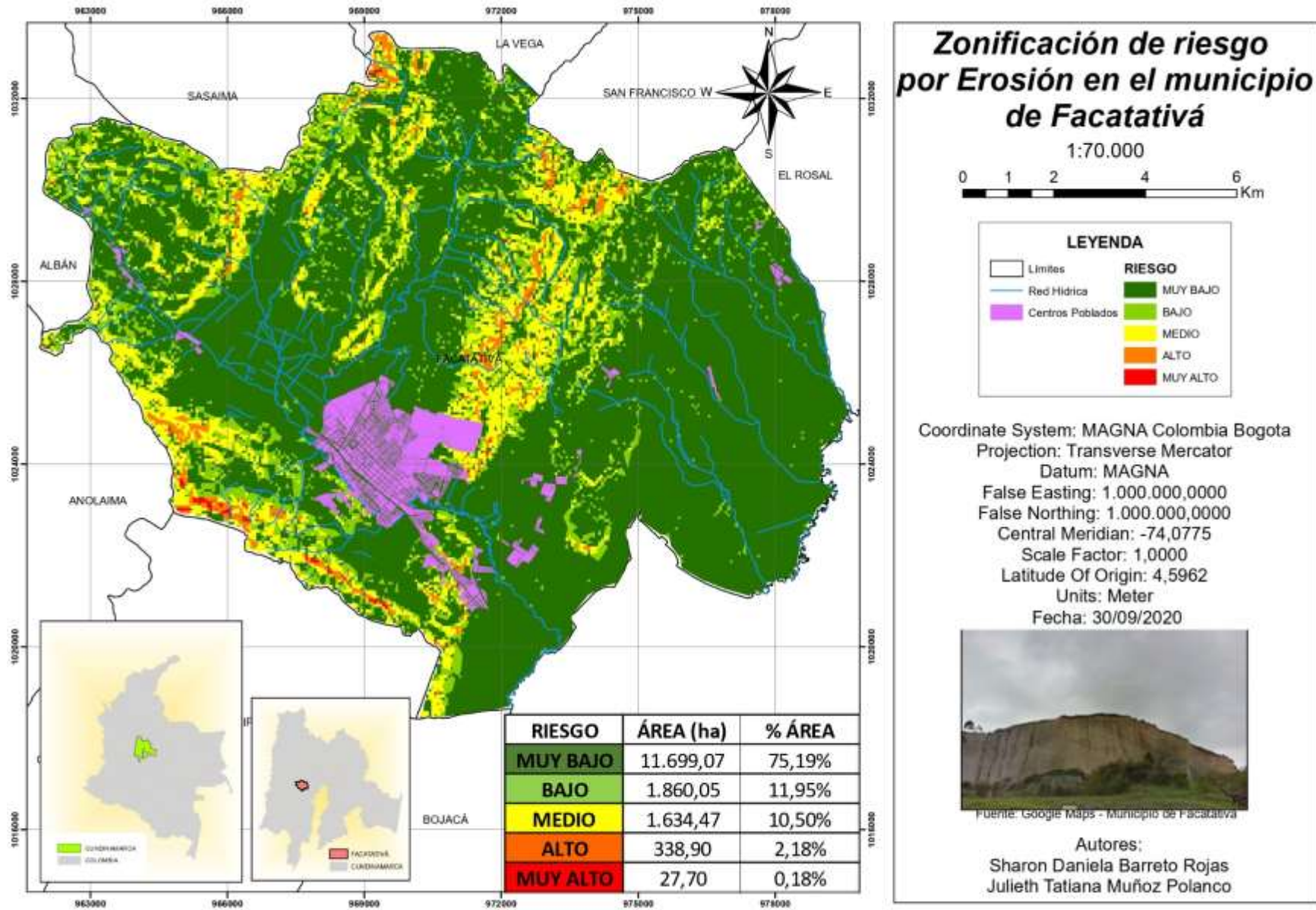
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 16. Mapa de la Vulnerabilidad Topográfica del Municipio de Facatativá



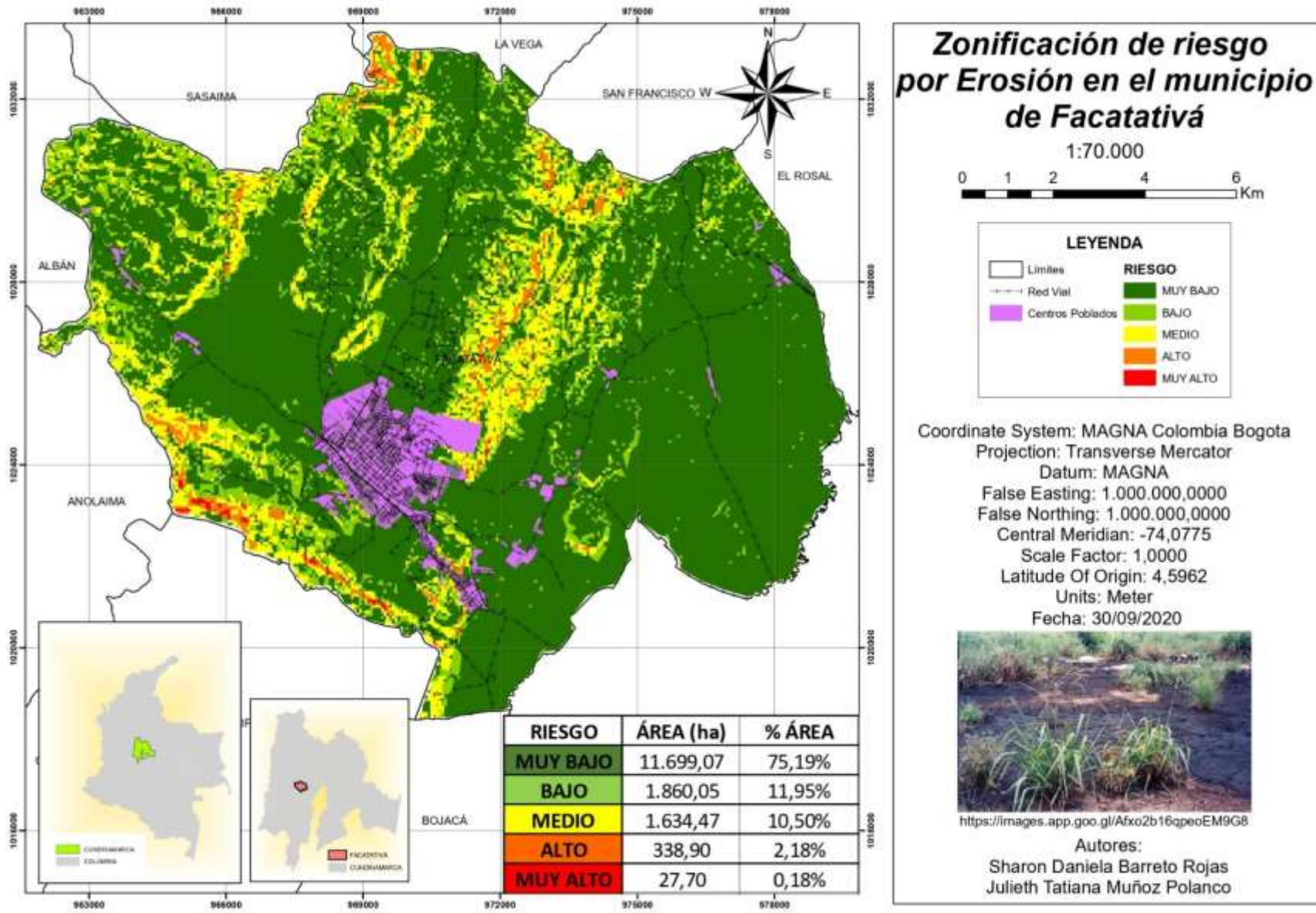
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 17. Mapa de zonificación de riesgo por erosión teniendo presente la Red hídrica del Municipio de Facatativá



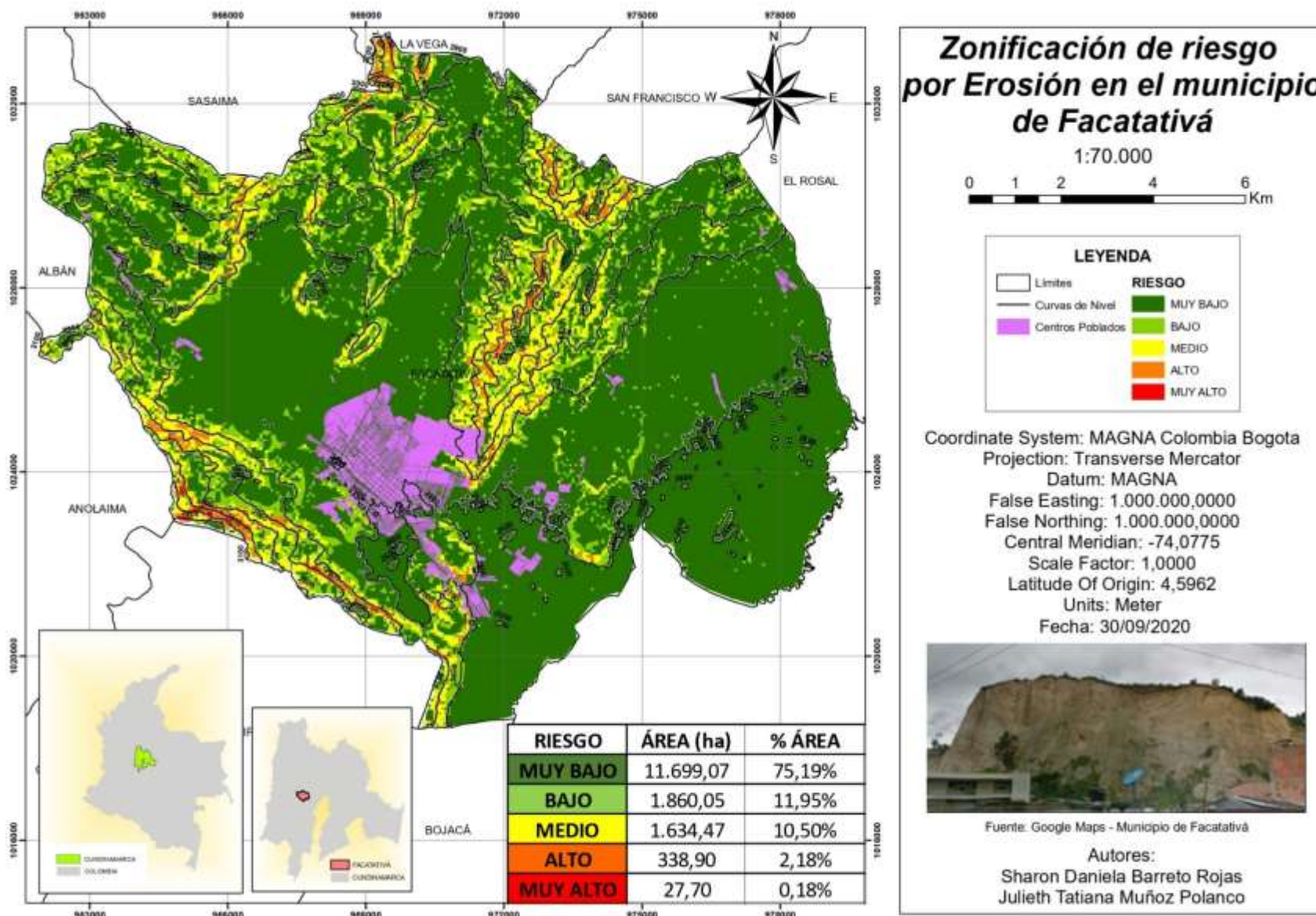
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 18. Mapa de zonificación de riesgo por erosión teniendo presente la Red vial del Municipio de Facatativá.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 19. Mapa de zonificación de riesgo por erosión teniendo presente las curvas de nivel del Municipio de Facatativá



Fuente: Elaboración propia.