

Zonificación ambiental por riesgo de erosión en la vereda El Hato, municipio de Choachí, asociada al cultivo de girasol

Environmental zoning for erosion risk in the village El Hato of the Choachí municipality associated with sunflower cultivation

Wendy Yineth Peñuela Rincón*, María Fernanda Tocora Rodríguez**
y Laura Victoria Mahecha Anzola***

Cómo citar:

Peñuela Rincón, W. Y., Tocora Rodríguez, M. F., & Mahecha Anzola, L. V. (2019). Zonificación ambiental por riesgo de erosión en la vereda El Hato, municipio de Choachí, asociada al cultivo de girasol. *Ingeciencia*, 4, 79-96.

* Ingeniera ambiental, Universidad Central. Correo: wpenuelar@ucentral.edu.co
** Ingeniera ambiental, Universidad Central. Correo: mtocorar@ucentral.edu.co
*** Ingeniera ambiental. Docente del Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Central. Correo: lmahechaa@ucentral.edu.co

Resumen

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), en 2014 el 40% de la superficie continental de Colombia presentaba degradación, la cual genera consecuencias ambientales, sociales y económicas a nivel nacional, regional y local. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo realizar la zonificación ambiental de riesgo por erosión hídrica en los cultivos de girasol de la vereda El Hato del municipio de Choachí, Cundinamarca. Para el procesamiento de datos se implementaron dos metodologías: la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por su sigla en inglés), para identificar la amenaza, y la superposición ponderada, para evaluar la vulnerabilidad física. La investigación evidenció que la zona de estudio comprende un área de 355,98 hectáreas, de las cuales 217,7 se encuentran en un riesgo de erosión hídrica muy bajo. Además, de las 8,8 hectáreas de cultivo de girasol, aproximadamente 7,3 presentan riesgo de erosión muy bajo, comportamiento que depende de características climatológicas, geográficas y de la localización de las infraestructuras propias de la región. Finalmente, la evaluación del riesgo permitió plantear recomendaciones enfocadas en la mitigación y control de la erosión hídrica, las cuales aportarán a la Alcaldía Municipal y sus agricultores.

Palabras claves: actividad agrícola, amenaza, degradación, pérdida de suelo, vulnerabilidad.

Abstract

According to the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (Ideam) and the Ministry of Environment and Sustainable Development (MADS), by 2014, 40% of Colombia's continental surface area was degraded, with environmental, social and economic consequences at the national, regional and local levels. Therefore, the present study aimed to carry out the environmental zoning of erosion risk in the sunflower crops of the El Hato district in the municipality of Choachí, Cundinamarca. Two methodologies were implemented for data processing: the Universal Soil Loss Equation (USLE), to identify the threat, and the weighted overlay, to assess physical vulnerability. Through the development of the work, it became evident that the study zone comprises an area of 355,98 hectares, of which 217,7 are at a very low risk of water erosion. In addition, of the approximately 8,8 hectares of sunflower cultivation, 7,3 of these present a very low risk of erosion. This behavior depends on climatic and geographical characteristics and the location of the region's own infrastructure. Finally, the risk assessment led recommendations focused on the mitigation and control of water erosion, which will be provided to the City Hall and its farmers.

Keywords: agricultural activity, degradation, soil loss, threat, vulnerability.

1. Introducción

La erosión hídrica del suelo genera pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua. En este proceso intervienen factores naturales y antrópicos que desencadenan cambios negativos en las funciones y propiedades del suelo (Gutiérrez & Pinzón, 2017).

En el año 2017, un estudio desarrollado por Castro *et al.* señala que la erosión hídrica de suelos en Colombia es un problema que afecta directamente su fertilidad, ocasiona baja producción de los cultivos e incrementa los costos de producción, de manera que determina el riesgo potencial de erosión de la zona de estudio. Sin embargo, actualmente en Colombia no existen suficientes estudios en los que se señale la magnitud del problema en diferentes zonas geográficas, ni las consecuencias socioambientales que genera este fenómeno (Ayala & Lozano, 2016).

En el año 2015, un estudio realizado por Rodríguez y García, denominado “Diagnóstico ambiental del turismo de naturaleza del municipio de Choachí”, menciona que el Parque Ecológico Matarredonda, el Parque Aventura la Chorrera y el centro turístico Aguas Termales de Santa Mónica son tres sitios destinados a actividades ecoturísticas que han generado una oportunidad de desarrollo económico y cultural. Con base en los estudios, se obtuvo que geomorfológicamente se encuentran ubicados en un área montañosa con laderas, cerros elevados y suelos con pendientes mayores al 40%, una topografía abrupta que los limita exclusivamente a uso de conservación forestal, además de procesos leves de erosión hídrica, los cuales se deben a la práctica de actividades pecuarias, expansión de áreas para la construcción de senderos, acumulación de materiales como leña y escombros y la remoción de la cobertura vegetal. A partir de allí, se identifican zonas del municipio con pocos estudios de degradación del suelo, por lo que se hace necesario realizar investigaciones que permitan reconocer las áreas que están en riesgo de presentar este fenómeno erosivo.

Específicamente, este proyecto hace la zonificación ambiental de riesgo por erosión hídrica de la vereda El Hato del municipio de Choachí (Cundinamarca) asociada al cultivo de girasol, a una escala de 1:16 000. La zonificación aporta a la planificación del uso de la tierra y la gestión del territorio, además proporciona información sobre el uso, la capacidad y la fragilidad del área.

2. Materiales y métodos

La zonificación ambiental se desarrolló a partir de un análisis cualitativo y cuantitativo de la amenaza y la vulnerabilidad. Con este propósito se desarrollaron dos metodologías, las cuales permitieron reconocer las diferentes variables presentes en la zona de estudio mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La primera metodología, que se implementó para categorizar la amenaza, fue la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por su sigla en inglés), desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978. La segunda metodología se aplicó para identificar la vulnerabilidad por medio de la superposición ponderada de planos. Las dos metodologías permitieron identificar y analizar el riesgo por erosión hídrica de la vereda El Hato (figura 1). Para determinar los dos factores se realizó una clasificación en cinco niveles —donde uno (1) es el más bajo y cinco (5) el más alto— para evaluar la erosión del suelo de la vereda por medio de elaboración cartográfica a una escala de 1:16 000.

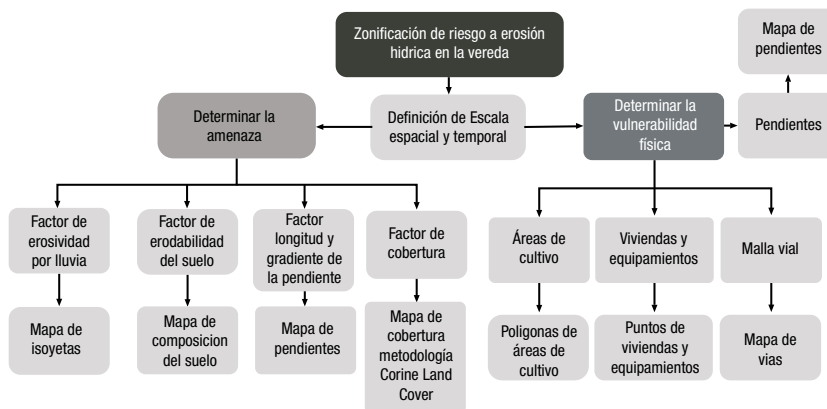


Figura 1. Metodología para hacer la zonificación de erosión hídrica.
Fuente: adaptada de Gaitán *et al.* (2017) y Ospina (2015).

2.1 Evaluación de la amenaza

La metodología USLE considera la interacción de factores naturales y antrópicos (ecuación 1).

$$A = R * K * LS * C * P \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde,

A: Pérdida de suelo por unidad de superficie (tonelada/hectárea * año).

R: Factor de erosividad por lluvia.

K: Factor de erodabilidad del suelo.

LS: Factor longitud y gradiente de la pendiente.

C: Factor cobertura.

P: Factor de prácticas de conservación del suelo.

Las pérdidas de suelo por erosión se estimaron mediante la multiplicación de los factores R, K, LS y C, los cuales se describen posteriormente. El factor P no se tuvo en cuenta debido a la falta de información sobre las prácticas y manejos específicos dentro de la zona de estudio.

El factor R permite cuantificar el impacto de la lluvia y la tasa de escorrentía asociada a los eventos de precipitación (Loaiza & Da Silva, 2018). Para determinarlo se utilizó el índice de Fournier modificado (IFM) (ecuación 2), usando la información de los registros mensuales de lluvia de los últimos diez años, en tres estaciones de la red climatológica del Ideam más cercanas a la zona de estudio.

$$IFM = \sum_{i=1}^n \frac{pi^2}{P} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde,

pi= precipitación máxima mensual (mm).

P= precipitación total anual (mm).

La determinación del factor K indica la vulnerabilidad al desprendimiento y al transporte de suelo por medio de las gotas de lluvia y de escorrentía (Loaiza & Da Silva, 2018). Este fue generado a partir de la reclasificación del mapa de suelo digital del mundo (DSMW, por su sigla en inglés) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por su sigla en inglés) a escala 1:5000.00, de acuerdo con los contenidos de arena, limo, arcilla y materia orgánica de la zona de estudio.

El factor de porcentaje de contenido bajo de arena (ecuación 3) reduce el indicador K; el factor de porcentaje de arcilla y limo (ecuación 4) genera factores bajos de erosión cuando hay proporciones altas de arcilla y limo; el factor de porcentaje de carbono orgánico (ecuación 5) reduce valores de K en suelos con altos contenidos de carbono, y el factor de porcentaje de contenido alto de arena (ecuación 6) disminuye los valores de K para suelo con altos contenidos de arena.

$$f_{csand} = (0,2 + 0,3 * \exp \left[-0,256 * m_s * \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right]) \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$f_{orgC} = \left(1 - \frac{0,25 * orgC}{orgC + \exp [3,72 - 2,95 * orgC]} \right) \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0,7 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5,51 + 22,9 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde,

m_s : porcentaje de arena.

m_{silt} : porcentaje de limo.

m_c : porcentaje de arcilla.

orgC: porcentaje de carbono orgánico.

Luego de determinar la composición del suelo, se realizó la multiplicación entre los factores descritos anteriormente (ecuación 7). De esta manera se obtuvo el factor K.

$$K_{USLE} = f_{csand} * f_{cl-si} * f_{orgC} * f_{hisand} \quad (\text{Ecuación 7})$$

El factor longitud y gradiente de la pendiente (LS) corresponde al factor topográfico, el cual indica que la erosión aumenta conforme a la pendiente (factor L) y la inclinación del terreno se hacen mayores (factor S) (Loaiza & Da Silva, 2018).

El cálculo de la pendiente (L) se hizo a partir del modelo digital de elevación de 12,5 metros de resolución. Con esta cartografía se obtuvo el valor de la pendiente a nivel del

pixel (β) y posteriormente se calculó el valor del radio F (ecuación 8), que indica la erosión por efecto de los flujos y el impacto de la precipitación.

$$F = \frac{\sin\beta}{\left(3(\sin\beta)^{0,8} + 0,56\right)} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Luego de calcular el radio F, se determinó el exponente de la longitud de la pendiente por medio de la ecuación 9.

$$m = \frac{F}{1 + F} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde,

m: exponente de la longitud de la pendiente.

F: valor del radio.

A partir de las ecuaciones 8 y 9 se calculó el factor L (ecuación 10).

$$L_{(i,j)} = \frac{\left[A_{(i,j)} + D^2\right]^{(m+1)} - A_{(i,j)}^{(m+1)}}{x^m * D^{m+2} * (22,13)^m} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde,

A: flujo acumulado.

D: tamaño del pixel.

X: factor de corrección de forma.

m: exponente de la longitud de la pendiente.

L: factor de la pendiente.

Para calcular el factor de inclinación del terreno (S), se empleó un condicional, que depende del ángulo de la pendiente β , para lo cual se empleó la ecuación 11.

$$\begin{aligned} \text{Cuando } \tan\beta_{(i,j)} < 0,09 \quad S_{(i,j)} &= 10,8 \sin\beta_{(i,j)} + 0,03 \\ \text{Cuando } \tan\beta_{(i,j)} \geq 0,09 \quad S_{(i,j)} &= 16,8 \sin\beta_{(i,j)} - 0,5 \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 11})$$

El factor LS se determinó mediante la multiplicación de los factores obtenidos previamente (factor L y S).






El factor de cobertura (C) representa la capacidad de la vegetación para impedir el arrastre de sedimento, de manera que este valor depende del tipo de vegetación y del porcentaje de cobertura (Loaiza & Da Silva, 2018). Inicialmente, se tuvo en cuenta el mapa de cobertura vegetal obtenido por medio de la metodología de Corine Land Cover, para lo cual fue necesario identificar el valor C para los dos tipos de cobertura presentes en el área de estudio.

2.2. Evaluación de la vulnerabilidad física

En la caracterización de la vulnerabilidad es importante identificar las variables de viviendas y áreas de cultivo de girasol presentes en la zona, para lo cual se utilizó el software Google Earth, en el que se trazaron dichas variables. Luego, en el software ArcGis 10.3 se procedió a cargar los puntos de equipamientos, las líneas de vías y los polígonos previamente realizados.

Otra de las variables importantes para el análisis de la erosión hídrica es la topografía, la cual se realiza a partir del modelo digital de elevación (DEM, por su sigla en inglés) y se clasifica en cinco rangos que describen el desarrollo o limitación de actividades e infraestructura según el porcentaje de inclinación de la pendiente (tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de la vulnerabilidad según la pendiente






Clase	Rango (%)	Pendiente	Calificación	Color
1	0 a 7	Plana y ligeramente inclinada	Nula	
2	7 a 12	Moderadamente inclinada	Leve	
3	12 a 25	Fuertemente inclinada	Moderada	
4	25 a 75	Ligera y moderadamente escarpada	Alta	
5	75 a 150	Fuertemente escarpada	Muy alta	

Fuente: adaptada de Corpochivor (2017).

Para cada una de las variables identificadas previamente, se realizó un análisis de vulnerabilidad a partir de las distancias medidas en línea recta, las cuales se determinaron en metros por medio de la herramienta de distancia euclidiana.

Posteriormente se realizó una reclasificación, la cual permitió señalar los valores máximos y mínimos para cada rango según las cinco clases, que varían desde 0 metros hasta 1500 metros. Esta distancia permitió clasificar y evaluar que tan expuestas o afectadas se encuentran la estructura física y las áreas de cultivos presentes en la vereda. En la tabla 2 se observa la clasificación de la vulnerabilidad según los rangos de distancia (metros).

Tabla 2. Clasificación de la vulnerabilidad según la distancia euclidiana

Clase	Distancia en áreas de cultivo (m)	Distancia de viviendas y equipamientos (m)	Distancia de las vías (m)	Calificación de vulnerabilidad	Color
1	401 a 1500	401 a 1500	351 a 1500	Nula	
2	301 a 400	251 a 400	251 a 350	Leve	
3	101 a 300	101 a 250	101 a 250	Moderada	
4	31 a 100	51 a 100	51 a 100	Alta	
5	0 a 30	0 a 50	0 a 50	Muy alta	

Fuente: la interacción de la malla vial y los sistemas naturales se tomó del Instituto Nacional de Vías (Invias, 2014), y las limitaciones del suelo según las clases del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2014).

A partir de los ráster obtenidos a una escala de medición común, se realizó una superposición ponderada, la cual permitió dar un valor porcentual para cada variable según su nivel de importancia (tabla 3).

Tabla 3. Superposición ponderada por variable

Variables	Porcentaje de importancia
Pendiente	35%
Cultivos	30%
Viviendas	20%
Vías	15%

Fuente: elaboración propia.

2.3. Evaluación del riesgo

En la etapa final de la investigación se determinó el riesgo a partir de los conceptos señalados en la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), en la cual se identifica la relación entre la amenaza y la vulnerabilidad (ecuación 12).

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Esta metodología permitió clasificar el riesgo en cinco niveles, los cuales se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación del riesgo

Nivel	Calificación	Color
1	Muy bajo	
2	Bajo	
3	Medio	
4	Alto	
5	Muy alto	

Fuente: Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo (SNGRD, 2017).

3. Resultados

A partir de los datos y planos obtenidos en la evaluación de la amenaza y la vulnerabilidad física se generó como resultado principal dos planos, uno de ellos representa la zonificación de riesgo de erosión hídrica en la vereda El Hato, y el segundo hace referencia al plano de zonificación de riesgos de erosión en los cultivos de girasol presentes en la vereda.

3.1 Amenaza por erosión hídrica

Los planos que se muestran en la figura 2 tienen una escala espacial de 1:16 000.

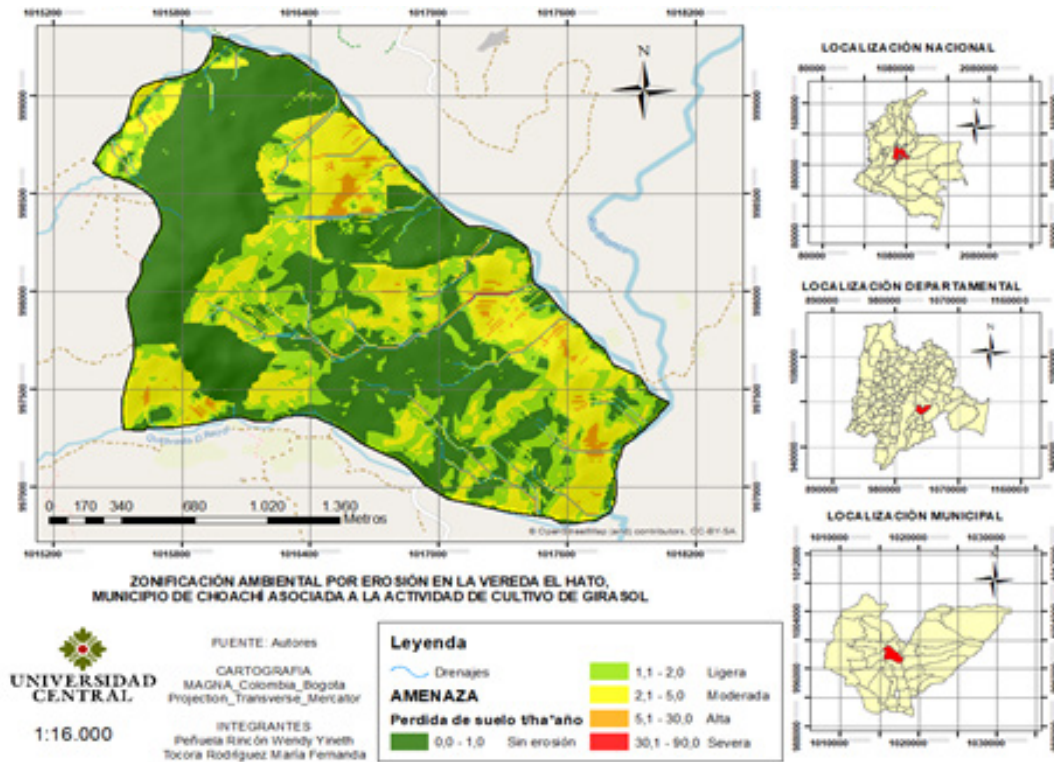


Figura 2. Amenaza por erosión hídrica en la vereda el Hato del municipio de Choachí.

Fuente: elaboración propia con base cartográfica tomada del Geoportal Gobernación de Cundinamarca; datos de precipitación de la red climatológica Ideam; pendiente e inclinación del terreno de imágenes radar de satélite ALOS; composición del suelo del mapa de suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); factor de cobertura del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), y software ArcGis (Dangermond, 1969).

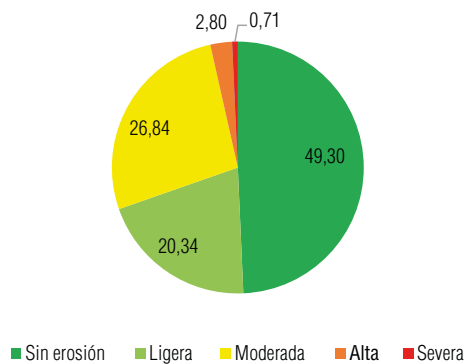


Figura 3. Porcentaje de amenaza por erosión.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Áreas de amenaza por erosión

Nivel	Calificación	Pérdida (t/ha* año)
1	Sin erosión	175,50
2	Ligera	72,42
3	Moderada	95,55
4	Alta	9,98
5	Severa	2,53

Fuente: elaboración propia.

El plano de amenaza evidencia cinco niveles, cada uno de los cuales refleja un nivel de pérdida de suelo a causa de la erosión hídrica en las distintas zonas de la vereda El Hato (tabla 5 y figura 3).

El nivel de amenaza 1 comprende un área de 175,50 hectáreas, equivalente al 49,30% de la vereda. Allí se ubican aquellas zonas que no presentan amenaza de erosión y se caracterizan por precipitaciones de fuertes a intensas. El suelo presenta pendientes desde pequeñas áreas planas hasta moderadamente escarpadas; la unidad de suelo es de tipo litosol, la cual indica una fertilidad de media a alta debido a la presencia de materia orgánica. Además, cuenta con dos tipos de cobertura: la primera corresponde a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, lo que evita la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre; la segunda cobertura se encuentra en la mayor parte del área y está conformada por espacios naturales, lo cual refleja las limitaciones de uso por sus características biofísicas.

El nivel 2 hace referencia a zonas con erosión de tipo ligera: indica pérdida de suelo de 72,42 t/ha* año, lo cual corresponde al 20,34% de la vereda. El suelo se caracteriza por pendientes desde ligeras a moderadamente inclinadas, con unidad de suelo de tipo litosol y una cobertura de mosaico de pastos y cultivos, los cuales tienen la capacidad de interceptar una proporción de la lluvia y reducir la amenaza de erosión hídrica. Sin embargo, presenta infraestructuras como viviendas rurales, vías y cultivos con grandes extensiones, las cuales son variables que generan cambios en el uso del suelo.

El nivel 3 representa la amenaza moderada: refleja una pérdida de suelo de 95,55 t/ha* año, lo cual equivale al 26,84% del área total. Cuenta con pendientes desde moderadamente inclinadas hasta ligeramente escarpadas. En la zona sur de la vereda se evidencia una pequeña área con unidad de suelo tipo cambisol húmico, el cual acumula materia orgánica dentro del suelo superficial mineral; estas zonas presentan las mismas características climatológicas y de cobertura con respecto al tipo de amenaza ligera.

Los niveles 4 y 5 representan amenaza alta y severa: indican pérdida de suelo de 9,98 t/ha* año (2,8% de la zona) y 2,53 t/ha* año (0,71% de la vereda), respectivamente. Son zonas que se caracterizan por pendientes desde moderadamente escarpadas a fuertemente escarpadas. Se evidencian principalmente en lugares donde hay cauces y por sus condiciones topográficas pueden tener un comportamiento torrencial de gran intensidad, por lo cual la amenaza varía según las características propias del cauce.

3.2 Vulnerabilidad física de erosión hídrica

La figura 4 presenta el plano de vulnerabilidad física que se generó a partir de las cuatro variables nombradas en la figura 1.

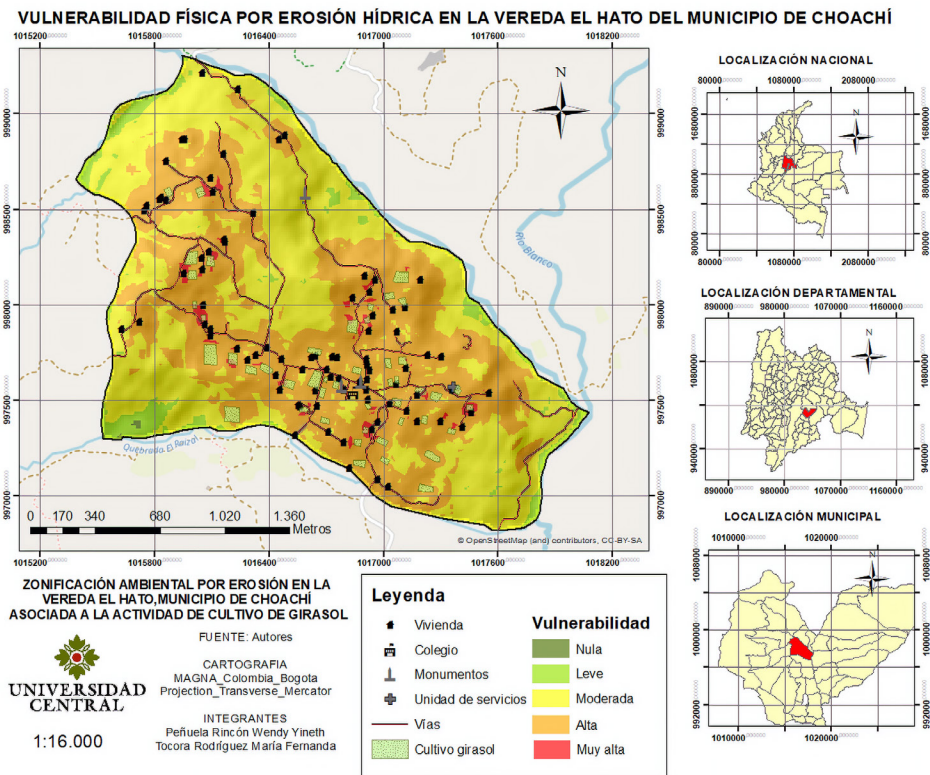


Figura 4: Vulnerabilidad física por erosión hídrica en la vereda El Hato del municipio de Choachí. **Fuente:** elaboración propia con base cartográfica tomada del Geoportal Gobernación de Cundinamarca; la pendiente de imágenes radar de satélite ALOS; identificación de cultivos por la Alcaldía Municipal de Choachí, Cundinamarca (2000), y equipamientos por medio de Google Earth (Keyhole, 2001) y software ArcGis, (Dangermond, 1969).

La vulnerabilidad se representa de manera cualitativa por medio de cinco colores, los cuales permiten identificar y priorizar las variables que están expuestas a un mayor riesgo (tabla 6, figura 5).

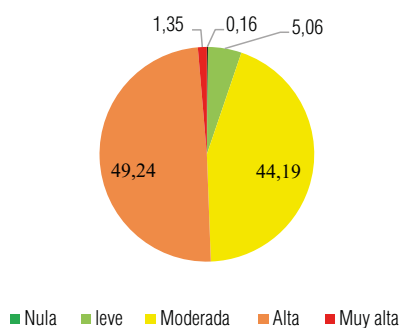


Figura 5. Porcentaje de vulnerabilidad a erosión. **Fuente:** elaboración propia.

Tabla 6. Áreas con vulnerabilidad física

Nivel	Calificación	Área (ha)
1	Nula	0,56
2	Leve	18,01
3	Moderada	157,32
4	Alta	175,30
5	Muy alta	4,79

Fuente: elaboración propia.

Las áreas de nivel 1 se representan en 0,56 hectáreas, lo que indica el 0,16% de la vereda. Son zonas que se caracterizan por tener pendientes planas, se presenta en pequeñas áreas y están alejadas a una distancia aproximada de entre 401 y 1500 metros de los elementos físicos que conforman la vereda.

El nivel 2 se presenta en 18,01 hectáreas del área de estudio, lo cual corresponde al 5,06%. Estas se encuentran alejadas de la infraestructura a una distancia aproximada de entre 301 y 400 metros, y se caracteriza por tener pendientes desde ligeramente inclinadas hasta ligeramente escarpadas.

El nivel 3, que señala la vulnerabilidad de tipo moderada, comprende el 44,19% de la vereda, lo que refleja un área aproximada de 157,32 hectáreas. Se presenta en zonas con pendientes desde fuertemente inclinadas hasta fuertemente escarpadas, a una distancia aproximada de entre 101 y 300 metros. Los tramos viales son la principal estructura afectada, sin embargo, en algunas zonas no se evidencia presencia de infraestructura física.

La vulnerabilidad alta (nivel 4) se evidencia en 175,30 hectáreas, lo cual equivale al 49,24% del área. Estas zonas se caracterizan por tener pendientes desde fuertemente inclinadas hasta pequeñas zonas moderadamente escarpadas. Allí se observan todas las infraestructuras físicas analizadas dentro del área de estudio que se encuentren a una distancia de entre 51 y 100 metros aproximadamente. Esta vulnerabilidad se ocasiona por la proximidad de las estructuras y las características topográficas del terreno.

El tipo de vulnerabilidad muy alta (nivel 5) corresponde a 4,79 hectáreas, lo cual representa el 1,35% de la zona. Tiene pendientes moderadamente escarpadas y se caracteriza por la presencia de infraestructuras cercanas con una distancia menor a 50 metros. Allí se encuentran en su mayoría las viviendas y los cultivos de girasol; sin embargo, algunos tramos de las líneas viales también pueden estar afectadas.

Con base en estos resultados se puede observar que la mayor parte de la zona de estudio se caracteriza por presentar zonas de vulnerabilidad física de tipo moderada. La principal característica de este comportamiento se debe a la cercanía de las infraestructuras físicas presentes en el área de estudio y la topografía de la zona.

3.3 Riesgo de erosión hídrica

La figura 6 presenta el plano de riesgo que se generó a partir de las figuras 2 y 4.

La zonificación de riesgo por erosión se clasifica en cinco niveles, los cuales van desde riesgo muy bajo hasta muy alto (tabla 7 y figura 7).

En el nivel de riesgo 1 se encuentran 217,77 hectáreas, lo que representa el 61,17% de la vereda. Estas zonas presentan precipitaciones intensas y pendientes que varían desde pequeñas áreas de tipo planas hasta fuertemente escarpadas. Se encuentran conformadas por unidades de suelo litosol y poseen los dos tipos de coberturas presentes en la vereda, como son el mosaico de cultivos y pastos, y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, ambos con la capacidad de captar una parte de la lluvia, lo cual disminuye la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre.

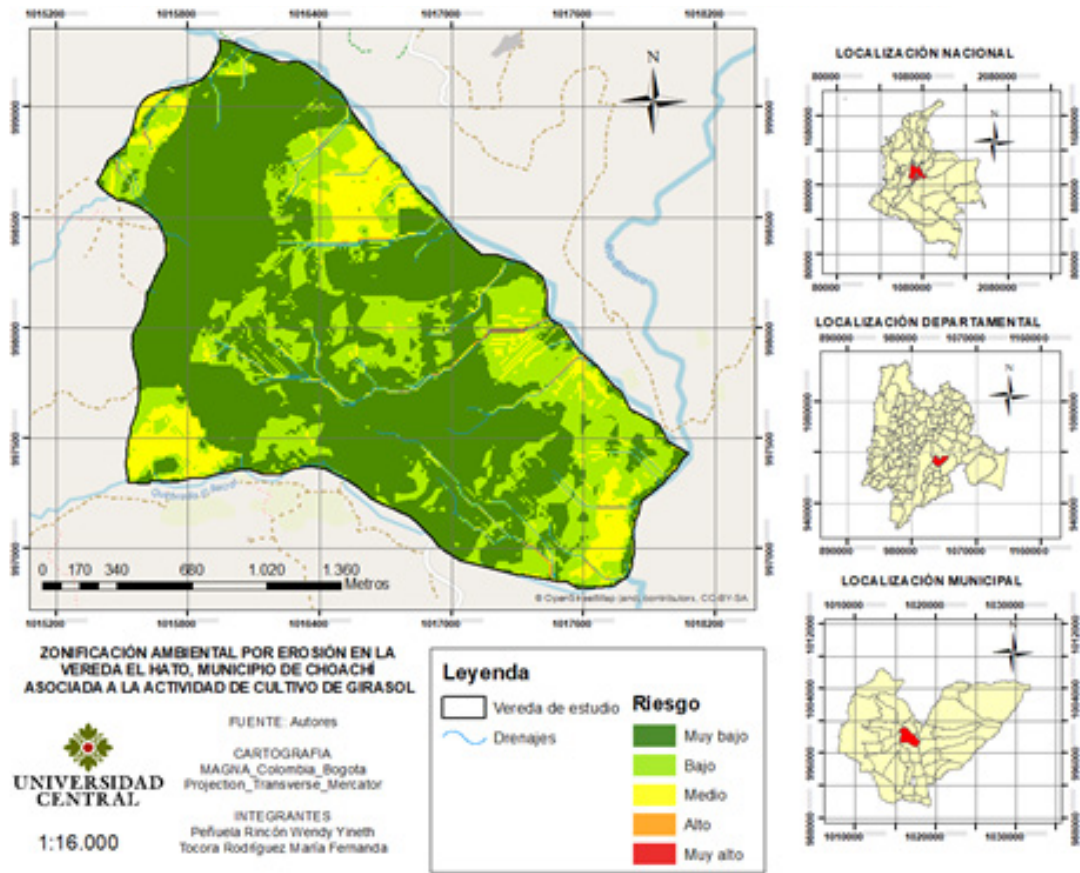


Figura 6. Riesgo de erosión hídrica en la vereda el Hato del municipio de Choachí.
 Fuente: elaboración propia con base cartográfica tomada de las figuras 2 y 4 y software ArcGis (Dangermond, 1969).

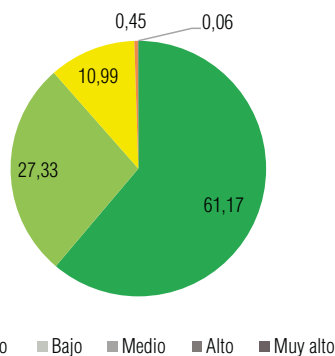


Figura 7. Porcentaje de riesgo de erosión.
 Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Áreas según riesgo de erosión

Nivel	Calificación	Área (ha)
1	Muy bajo	217,77
2	Bajo	97,29
3	Medio	39,13
4	Alto	1,59
5	Muy alto	0,21

Fuente: elaboración propia.

El nivel 2 se presenta en 97,29 hectáreas, que equivalen al 27,33%. Se caracteriza por precipitaciones moderadas y pendientes que varían desde fuertemente inclinadas hasta fuertemente escarpadas, con algunas zonas de pendientes planas. Se presenta en áreas con mosaico de cultivos y pastos, posee unidades de suelo de tipo litosol y pequeñas áreas con unidad de suelo de tipo cambisol húmico.

El nivel 3 se evidencia en 39,13 hectáreas, lo cual equivale al 10,99%. Se caracteriza por tener un suelo con coberturas de mosaico de cultivos y pastos, con unidades de suelo de tipo litosol y cambisol húmico. Estas se encuentran en pendientes desde ligeramente escarpadas hasta fuertemente escarpadas, dentro de las cuales se evidencian algunos cauces con características morfológicas de pendientes moderadas y mayor profundidad.

En el nivel 4 se clasifican 1,59 hectáreas de la vereda, lo cual equivale al 0,45%. El nivel 5 corresponde a 0,21 hectáreas con riesgo de tipo muy alto, que representa el 0,06%. Estos dos últimos niveles se presentan en las zonas con presencia de cauces y se caracterizan por una morfología de pendientes altas que varían de moderadamente escarpadas a fuertemente escarpadas. Los cauces anchos y poco profundos pueden llegar a tener un comportamiento torrencial con gran capacidad de erosión.

3.3 Riesgo de erosión hídrica en los cultivos de girasol

La figura 8 muestra el plano de riesgo que se generó a partir de las figuras 2 y 4, y la información sobre la presencia de cultivos de girasol.

La zonificación de riesgo refleja el nivel de afectación en las áreas dedicadas al cultivo de girasol de la vereda El Hato (tabla 8 y figura 9).

Del área total de la vereda, aproximadamente 8,83 hectáreas son usadas para cultivo de girasol, lo que equivale al 2,5% de la zona. Del total de las áreas cultivadas, aproximadamente 7,3 hectáreas se encuentran ubicadas en zonas de nivel de riesgo 1, lo que representa el 82,37%. Estas presentan pendientes desde planas hasta ligeramente inclinadas, y la mayoría de la zona corresponde a vocación de tipo agroforestal, lo que permite sistemas productivos que integran árboles y pastos.

En el nivel 2 se encuentran aproximadamente 1,51 hectáreas de cultivo, lo que representa el 17,11% de la actividad agrícola. Estas se caracterizan por tener áreas con pendientes moderadamente inclinadas y zonas con vocación agrícola, las cuales permiten la producción de un cultivo determinado.

El nivel 3 se presenta únicamente en 0,045 hectáreas dedicadas al cultivo de girasol, lo cual equivale al 0,50%. Allí la pendiente es fuertemente inclinada y el suelo sigue manteniendo su vocación agrícola.

El nivel 4 y 5 no se evidencia en las hectáreas dedicadas al cultivo de girasol. Estas áreas presentan pendientes moderada y fuertemente escarpadas, lo cual indica que las tierras tienen limitaciones severas y restringen la presencia de cultivos.

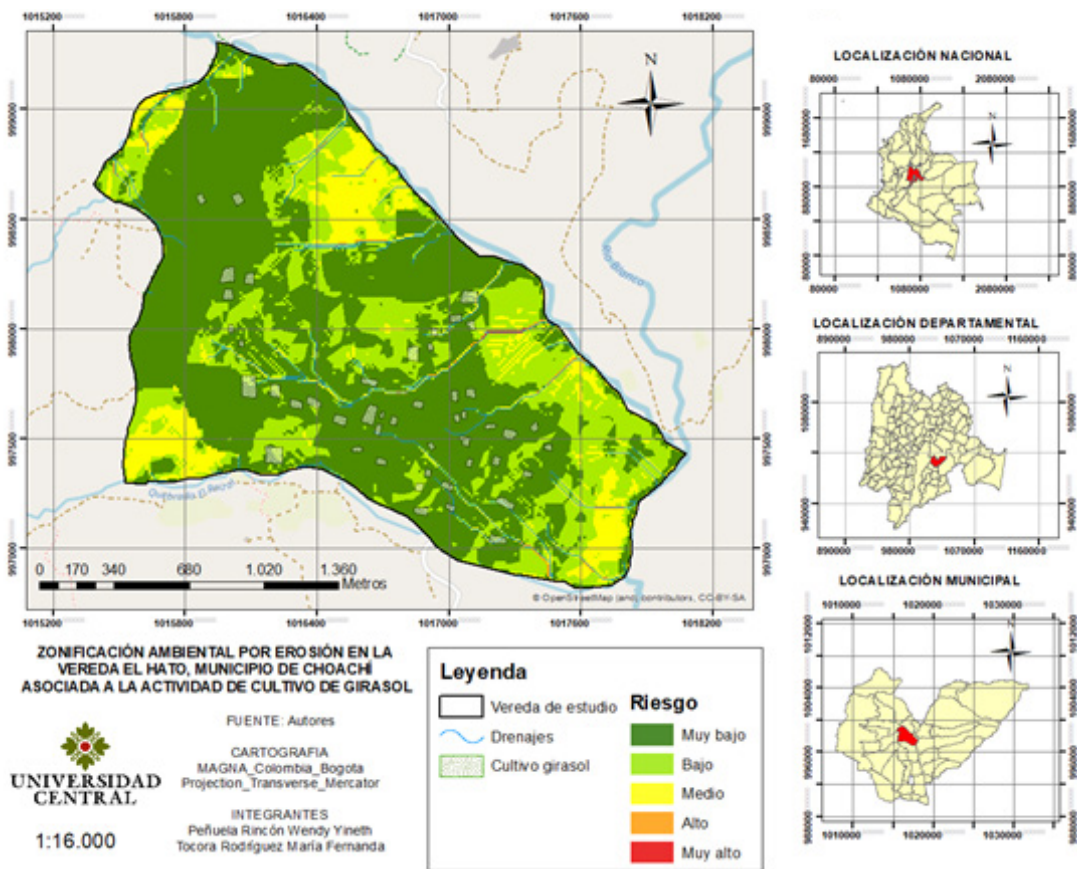


Figura 8. Riesgo de erosión hídrica en el cultivo de girasol de la vereda el Hato del municipio de Choachí. Fuente: elaboración propia con base cartográfica de la figura 6 y software ArcGis (Dangermond, 1969).

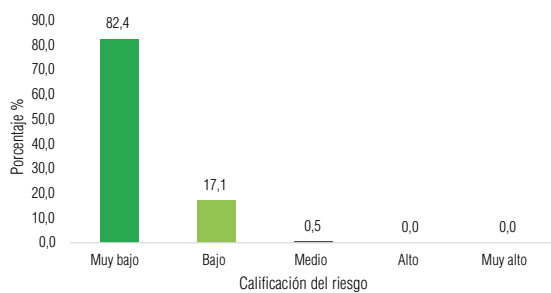


Figura 9. Porcentaje de áreas de cultivo en riesgo de erosión. Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Áreas de cultivo con riesgo de erosión

Nivel	Calificación	Área (ha)
1	Muy bajo	7,27
2	Bajo	1,51
3	Medio	0,045
4	Alto	0
5	Muy alto	0

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusión

La erosión es un proceso complejo que resulta de la interacción, presencia o ausencia del medio abiótico, biótico y socioeconómico. En este trabajo se evaluó este fenómeno a partir del factor de amenaza, que permitió identificar que 175,5 hectáreas (49,3% del territorio) corresponden a la categoría 1, la cual señala que no hay pérdida de suelo a causa de la erosión. Sin embargo, 2,5 t/ha * año (0,7%) tienen amenaza por pérdida de suelo con erosión severa de categoría 5. Este comportamiento se debe a las condiciones climatológicas y geográficas, como la precipitación, la topografía, la composición del suelo y la cobertura vegetal propias de la región.

Con respecto a las infraestructuras y al cultivo de girasol, la mayor parte de la vereda tiene una vulnerabilidad alta, que representa un área de 175,3 hectáreas (49,2% del territorio), las cuales se caracterizan por su predisposición a sufrir grandes pérdidas o daños físicos, económicos e institucionales. Las áreas menos vulnerables a la erosión corresponden a 0,56 hectáreas (0,16%); esta fragilidad física se debe a la ubicación de los equipamientos y los cultivos con respecto a la pendiente.

En la vereda El Hato se identifica un riesgo de erosión hídrica muy bajo, que representa un área aproximada de 217,8 hectáreas, lo que equivale al 61,2% del área total. La actividad económica predominante es el cultivo de girasol, con una extensión aproximada de 8,8 hectáreas, que en su mayoría corresponde a riesgo de erosión muy bajo (7,3 hectáreas de cultivo), lo cual indica que esta actividad presenta baja pérdida de la capa del suelo y por ende el potencial de producción de cultivos no se ve afectado. La mayor parte de la vereda no muestra pérdida de suelo a causa de la erosión a pesar de sus características topográficas y climatológicas. Esto se debe al tipo de suelo que posee, en el cual se encuentra vocación agroforestal y forestal, además de factores dinámicos como la cobertura vegetal (mosaico de cultivos y pastos, y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales), la cual se relaciona de manera directa con la protección y la estabilidad del suelo, pues permite el aporte de materia orgánica y la captación de una proporción de lluvia.

El 1,70% de la zona tiene riesgo alto y muy alto, lo cual se debe a las altas pendientes y a los cuerpos de agua, que pueden tener una morfología de cauces anchos y poco profundos, lo que genera un comportamiento torrencial con gran capacidad de erosión.

Los resultados obtenidos de la zonificación ambiental permiten aportar desde el ámbito local y regional información del estado actual del territorio frente al riesgo de erosión hídrica asociada a los cultivos de girasol. De esta manera, la Secretaría Agrícola y la Alcaldía del Municipio de Choachí podrán gestionar acciones, evaluar alternativas y actualizar el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad física y reducir al mínimo la pérdida de suelo. Estas acciones brindarán a los agricultores herramientas enfocadas en la conservación del suelo y prácticas de cultivo orientadas a la conservación de su productividad.

5. Recomendaciones

Aunque la vereda no presente condiciones de riesgo significativas, es importante tomar medidas para conservar el cultivo de girasol, reducir al mínimo las pérdidas de suelo y evaluar alternativas que contribuyan en la planificación del uso de la tierra y el desarrollo agrícola sostenible.

En las zonas con riesgo muy bajo, los sistemas productivos deben estar sujetos a las buenas prácticas de cultivo orientadas a conservar su productividad, como rotación de cultivos, fertilización balanceada y equipos de cosecha.

En las zonas con riesgo bajo, los cultivos deben estar sujetos a buenas prácticas de cultivo y medidas de conservación del suelo. La vocación del suelo permite la producción de un cultivo determinado, de modo que se pueden implementar cultivos intercalados que mejoran la fertilidad del suelo, lo protegen de la erosión y ayudan a controlar malezas.

Las zonas con riesgo medio deben implementar prácticas de conservación para poder controlar la pérdida de suelo y disminuir los niveles de erosión hídrica, para lo cual se deben implementar obras de conservación de suelo según la pendiente, como barreras vivas, zanjas a desnivel y barreras muertas de piedra.

Agradecimientos

Agradecemos a la ingeniera Laura Mahecha por su colaboración durante el desarrollo del proyecto, a la Alcaldía Municipal de Choachí por brindarnos la información con la que cuenta actualmente el municipio y, finalmente, a nuestras familias por todo su apoyo.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Choachí, Cundinamarca. (2000). Acuerdo 005 de 2000. <http://www.choachi-cundinamarca.gov.co/normatividad/acuerdo-005--de-2000>
- Ayala, C.V., & Lozano, Á. L. (2016). *Estudio del riesgo generado por la erosión hídrica de suelo en la microcuenca quebrada mancilla del municipio de Facatativá, Cundinamarca, mediante la ecuación universal de pérdida de suelo* [tesis de pregrado, Universidad de Cundinamarca]. Repositorio Institucional Universidad de Cundinamarca. <https://bit.ly/3bJDTd1>
- Castro Quintero, A. F., Lince Salazar, L. A., & Riaño Melo, O. (2017). Determinación del riesgo a la erosión potencial de la zona cafetera del Quindío, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 17-26. <https://doi.org/10.22490/21456453.1828>
- Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo [SNGRD]. (2017). Terminología sobre gestión del riesgo de desastres y fenómenos amenazantes. <https://bit.ly/3wsRdKq>

- Corpochivor. (2017). Actualización POMCA río Garagoa, plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica. <https://bit.ly/3yuEWqT>
- Dangermond, J. (1969). ArcGis (versión 10.3) [software]. <https://www.esri.com/es-es/home>
- Gaitán, J., Navarro, M., Pizarro, M., Vuegen, L., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Ediciones Inta. <https://bit.ly/3wvvH8d>
- Gutiérrez, V. L., & Pinzón, P. L. (2017). *Evaluación de la erosión hídrica y escorrentía en tres sistemas productivos para un manejo sostenible del suelo en la vereda Santa Marta, Cabrera, Cundinamarca* [tesis de pregrado, Universidad Minuto de Dios]. Repositorio Institucional Uniminuto. <https://bit.ly/3ysKPop>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2014). Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. En *Levantamiento de suelos*. <https://bit.ly/34crda5>
- Instituto Nacional de Vías [Invías]. (2014). Plan vías C-C. Vías compatibles con el clima. En *Plan de adaptación de la red vial de Colombia*. <https://bit.ly/3f8UAAF>
- Keyhole, I. (2001) Google Earth (versión 7.3.0.3827) [software]. <https://www.google.com/intl/es/earth/versions/#earth-for-web>
- Loaiza, S., & Da Silva, M. (2018). Evaluación del potencial de mitigación de las estrategias de adaptación implementadas en los Territorios Sostenibles Adaptados al Clima. <https://bit.ly/3f70IsY>
- Ospina, P. E. (2015). *Determinación de zonas aptas para la construcción de colegios distritales en la localidad de Suba, partiendo de métodos de análisis multicriterio y herramientas SIG* [Trabajo de especialización, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá]. Repository Unimilitar. <https://bit.ly/3hJNNyV>
- Rodríguez, A., & García, M. (2015). *Diagnóstico ambiental del turismo de naturaleza en Choachí, Cundinamarca* [Trabajo de grado de tecnólogo, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3ywnVMP>