Relación entre la degradación ambiental y zonas urbanizables desde el análisis del riesgo en la zona de ladera del cerro Fusacatán, municipio de Fusagasugá.

Leonardo Andrés Bernal Rozo
Valeria Russi Sabogal

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 20 de Noviembre de 2020

Relación entre la degradación ambiental y zonas urbanizables desde el análisis del riesgo en la zona de ladera del cerro Fusacatán, municipio de Fusagasugá.

Leonardo Andrés Bernal Rozo
Valeria Russi Sabogal

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Claudia Patricia Gómez Rendón

Línea de Investigación:
Sistemas territoriales – grupo de investigación Agua, Salud y Ambiente

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2020

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

Inicialmente, dedicamos este trabajo a Dios puesto que gracias a Él realizamos con éxito esta investigación.

A nuestros padres, por su paciencia y dedicación durante el proceso formativo.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios porque nos brindó la oportunidad de llegar hasta este punto en nuestra vida, cumpliendo nuestros objetivos y sacando adelante cada reto que se interpuso en nuestro camino. Porque nos brindó la oportunidad de realizar esta investigación bajo la mejor formación posible y parámetros de profesionalismo claros.

Agradecemos a nuestros padres por su paciencia, dedicación y apoyo durante toda nuestra vida y con ella, nuestro proceso formativo. Por todas las veces que estuvieron despiertos a altas horas de la noche al ver que nosotros también lo estábamos y por ofrecer su ayuda en todo este proceso.

Finalmente, agradecemos a la Universidad El Bosque y a sus docentes, administrativos y estudiantes porque sin ellos, no habríamos llegado hasta este punto. A nuestra directora quién con su constante atención y conocimiento apoyó y permitió que el desarrollo investigativo de este trabajo fuera llevado a cabo de la mejor forma posible, cumpliendo con los estándares de calidad establecidos por la universidad y por todo lo que compete nuestra profesión.

Contenido

1. Introducción 11
2. Planteamiento del problema 12
2.1. Pregunta de investigación 14
2.2. Subpreguntas de investigación 14
3. Objetivos general y específicos 15
3.1. Objetivo General 15
3.2. Objetivos específicos 15
4. Justificación 16
5. Marco de referencia 17
5.1. Antecedentes 17
5.2. Marco teórico 19
5.3. Marco conceptual 21
5.4. Marco geográfico 24
5.5. Marco normativo 26
5.6. Marco institucional 27
6. Marco metodológico 30
6.1. Enfoque 30
6.2. Alcance 30
6.3. Método 30
6.4. Técnica 30
6.5. Instrumento 31
6.6. Metodología objetivo 1 31
6.7. Metodología objetivo 2 34
6.8. Metodología objetivo 3 37
7. Plan de trabajo 38
7.1. Matriz metodológica 38
7.2. Cronograma de actividades 40
8. Resultados 43
8.1 Resultados del objetivo específico 1 43
8.2 Resultados del objetivo específico 2: 52
8.3 Resultados del objetivo específico 3 59
9. Análisis y discusión de resultados 61

10. Conclusiones 66
11. Recomendaciones.....67
Referencias.....68

Listado de tablas

Tabla 1. *Normatividad de importancia en el proyecto*.....26

Tabla 2. *Parámetros de calificación de la matriz de priorización*.....33

Tabla 3. *Formato base para la identificación de principales fuentes de peligro*.....34

Tabla 4. *Tabla base para la formulación de escenarios de riesgo* 35

Tabla 5. *Escala de evaluación de riesgo.*.....36

Tabla 6. *Matriz metodológica* 38

Tabla 7. *Cronograma de actividades*.....40

Tabla 8. *Matriz de priorización de factores amenazantes* 44

Tabla 9. *Variables priorizadas para la degradación ambiental*.....45

Tabla 10. *Imágenes satelitales en color verdadero.*.....46

Tabla 11. *Variable vegetación en las imágenes satelitales*.....47

Tabla 12. *Variable urbana en las imágenes satelitales*.....48

Tabla 13. *Digitalización de unidades urbanas en las fotografías para el año 2000 en la herramienta ArcMap*.....49

Tabla 14. *Digitalización de unidades urbanas en las fotografías para el año 2020 en la herramienta ArcMap*.....50

Tabla 15. *Matriz de priorización de factores amenazantes* 52

Tabla 16. *Tabla para la identificación de principales fuentes de peligro*.....53

Tabla 17. *Tabla para la formulación de factores amenazantes*.....54

Tabla 18. *Recopilación de datos espaciales respectivos a la degradación ambiental en el Cerro Fusacatán.*.....62

Tabla 19. *Recopilación de datos espaciales respectivos a la degradación ambiental en relación con el nivel de riesgo en zonas urbanizables sobre el Cerro Fusacatán*.....65

Listado de figuras

Figura 1. *Árbol de problemas* 13

Figura 3. *Componentes de un sistema de teledetección*.....23

Figura 4. *Ubicación de Fusagasugá en Cundinamarca*.....24

Figura 5. *Mapa de Fusagasugá y zona de estudio*.....25

Figura 6. *Comunas de Fusagasugá*.....26

Figura 7. *Organigrama del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*.....28

Figura 8. *Organigrama de la Unidad Administrativa Especial de Gestión del Riesgo de Desastres*.....28

Figura 9. *Ilustración de la herramienta de geoprocesamiento "diferencia geométrica"*.....33

Figura 12. *Degradación ambiental de la zona de estudio en retrospectiva para los periodos 2000 - 2020* 51

Figura 14. *Relación entre degradación ambiental y riesgo sobre zonas urbanizables*.....60

Figura 15. *Tabla de atributos del cambio en la degradación ambiental entre los años 2000 y 2020: área de zonas degradadas*.....62

Figura 16. *Tabla de atributos del nivel de riesgo en relación a la degradación ambiental: área de zonas en riesgo y degradadas en el tiempo*.....64

Resumen

La desactualización de los planes municipales de Fusagasugá da lugar a un crecimiento desordenado de la ciudad, especialmente en la zona de ladera del Cerro Fusacatán. La zona urbana de las partes más altas resulta afectada por los eventos de riesgo que han ocurrido a lo largo de los años gracias a esta expansión. Es por esto que el objetivo de la investigación fue encontrar la relación entre la degradación ambiental en retrospectiva con las zonas urbanizables desde un análisis de riesgo mediante métodos de fotointerpretación, sistemas de información geográfica (SIG) y metodologías de riesgo. Se realizó una lista de variables ambientales, donde se priorizaron vegetación junto con urbanización para analizar por combinaciones RGB aquellas variables en fotografías satelitales de los años 2000 y 2020, y usar herramientas de geoprocesamiento para encontrar la retrospectiva en términos de degradación ambiental. En el análisis de riesgo se priorizaron los fenómenos amenazantes de mayor importancia que se encuentran en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD), para calcular el nivel de riesgo y espacializarlo en un software de SIG, donde la avenida torrencial tiene un valor más alto, seguido de creciente súbita e inundación. Así, se encontraron los puntos de interconexión entre las dos variables y se entendió la relación de las mismas, confirmando que las presiones de la urbanización, son factores que pueden aumentar el riesgo en el municipio.

Palabras clave: expansión urbana, fotointerpretación, ordenamiento territorial, sistemas de información geográfica.

Abstract

The outdated municipal documents of Fusagasugá are leading to a disorderly growth of the city, especially on the hillside area of the Cerro Fusacatán. The urban area in the higher parts is affected by the risk events that have occurred over the years thanks to this expansion. Thus, the objective of the research was to find the relationship between environmental degradation in retrospective with the urban areas from a risk analysis using photo-interpretation methods, geographic information systems (GIS) and risk methodologies. A list of environmental variables was made, where vegetation was prioritized together with urbanization to analyze by RGB combinations those variables in satellite photographs of the years 2000 and 2020, and to use geoprocessing tools to find the retrospective in terms of environmental degradation. In the risk analysis, the most important threatening phenomena found in the Municipal Disaster Risk Management Plan were prioritized in order to calculate the risk level and spatialize it in GIS software, where torrential flooding has a higher value, followed by sudden increase and flooding. Therefore, the points of interconnection between the two variables were found and the relationship between them was understood, confirming that the pressures of urbanization are factors that can increase the risk in the municipality.

Keywords: geographic information systems, photointerpretation, territorial planning, urban development.

1. Introducción

Una de las grandes características geográficas de Fusagasugá, y en especial de su cabecera municipal, es la cercanía al Cerro Fusacatán que se puede observar fácilmente desde cualquier punto. La revisión del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Fusagasugá, se encuentra a la fecha, en fase de concertación por lo que el documento vigente es el Acuerdo No. 29 de 2001, por el cual "se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Fusagasugá". El artículo 144, establece una clasificación de riesgos y amenazas que afectan al municipio: amenazas naturales y riesgos antrópicos, donde son los desastres naturales los que presentan una mayor incidencia según el Plan Municipal de Gestión de Riesgos y Desastres (2019).

Al momento de evaluar los cambios ecosistémicos en una zona, es importante tener en cuenta la forma en que el territorio ha evolucionado en el tiempo. Durante los últimos años, la sociedad ha estado condicionada a mantenerse en constante cambio, por lo que se hace imposible creer que las urbanizaciones que tanta fuerza dan a la economía de las comunidades y a su forma de crecer en el tiempo, se quedarán estáticas en un momento determinado. Sin embargo, este desarrollo implica una serie de presiones que afectarán el comportamiento natural de los ecosistemas, presentando una modificación en las variables ambientales que involucran el ciclo natural. Desde presiones ecológicas naturales, como lo es la erosión hasta los cambios del uso del suelo, presentan una afectación en el estado de la vegetación, y con ello, las posibilidades de eventos de riesgo aumentan y amenazan de forma directa la calidad de vida de las comunidades que se abastecen y desarrollan en esta zona.

En conjunto a los anteriores problemas se une la degradación ambiental, que crece a medida que se van haciendo modificaciones de las condiciones naturales del territorio debido a la masiva llegada de personas que empiezan a habitar terrenos periféricos del municipio. Este es el caso del Cerro Fusacatán, que ha sido altamente urbanizado, degradando de forma gradual el terreno y causando una amplia preocupación en la población puesto que se está aumentando la susceptibilidad a desastres.

Frente a esta situación actual del territorio, la siguiente investigación se abordará desde una relación de dos variables: degradación ambiental y nivel del riesgo en un área que comprende conflicto de uso del suelo en la zona de ladera del Cerro Fusacatán por los cambios del desarrollo rural a sub-urbano. Se busca encontrar esta relación con el fin de conocer las nuevas zonas que están siendo urbanizadas sin ninguna actualización de ordenamiento territorial, y cómo esto puede llegar a afectar a la población futura en caso de desastres naturales.

2. Planteamiento del problema

La revisión del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Fusagasugá, se encuentra, a la fecha, en fase de concertación por lo que el documento vigente es el Acuerdo No. 29 de 2001, por el cual "se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Fusagasugá". Con respecto a esto, no existe una reglamentación oficial actualizada de ordenamiento sobre este tema a pesar de que se reconozca la falta de la misma; por ejemplo, el Acuerdo 11 de 2016 que rige el Plan de Desarrollo "Juntos sí podemos", menciona que se reconoce que el POT no está actualizado en normatividad con respecto a las viviendas, especialmente las de interés social que se ubican en estas zonas de riesgo, generando la llegada de personas a predios de bajo costo, que es un fenómeno que ha caracterizado la zona de ladera del Cerro Fusacatán durante los últimos años. Este territorio, se encuentra en constante cambio por diferentes eventos como las avenidas torrenciales, las cuales generan procesos de degradación ambiental gradual; no se evidencia que las transformaciones de infraestructura que se realizan tengan en cuenta la dinámica ecosistémica del medio (Rudas et al., 2007).

Este tipo de situaciones desencadenan un proceso de riesgo que ha de tener mucha fuerza en el ordenamiento territorial del municipio, de hecho, marcan un precedente que debe considerarse en el desarrollo urbano, pero no fue sino hasta 2019 cuando se inició el proceso de la formulación del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, por lo que es claro, que el POT actual vigente, 2001, no incluye con suficiente fuerza las áreas de riesgo actuales o elementos propios de la Gestión del Riesgo, generando un aumento de situaciones amenazantes y conflictos en el uso del suelo respecto a las categorías urbano, suburbano y rural.

Las zonas urbanizables deben cumplir con requisitos especiales para su levantamiento y entre ellas, como lo establecen los planes municipales de ordenamiento, está el tener un análisis detallado del riesgo que podría existir si se realizara un proyecto de infraestructura, de hecho, la zona de estudio puede alcanzar a clasificar como suelo de protección debido a los anteriores eventos ocurridos allí. Sin embargo, por la desactualización del POT del Fusagasugá, no se puede expresar cómo la degradación ambiental puede ser una variable determinante y potencializadora de eventos de riesgo en la zona de ladera del Cerro Fusacatán, permitiendo que la expansión urbana se lleve a cabo sin el adecuado análisis (Rudas et al., 2007), aumentando la susceptibilidad a desastres relacionados a esta serie de actividades y disminuyendo la calidad de vida de la comunidad (Banco Mundial Colombia, 2012).

Es evidente entonces que, de continuar estas situaciones, los conflictos de uso de suelo ya mencionados seguirán creciendo (López & López, 2004) y el ordenamiento territorial resultará inadecuado para el crecimiento al que se expone el municipio (Rudas et al., 2007). El deterioro del ecosistema debe ser considerado al momento de establecer situaciones de riesgo puesto que es ahí donde se puede trabajar el desarrollo urbano que puede afectar a la población que llegue a habitar esa zona. De forma general, estos elementos se ven conectados en la Figura 1.

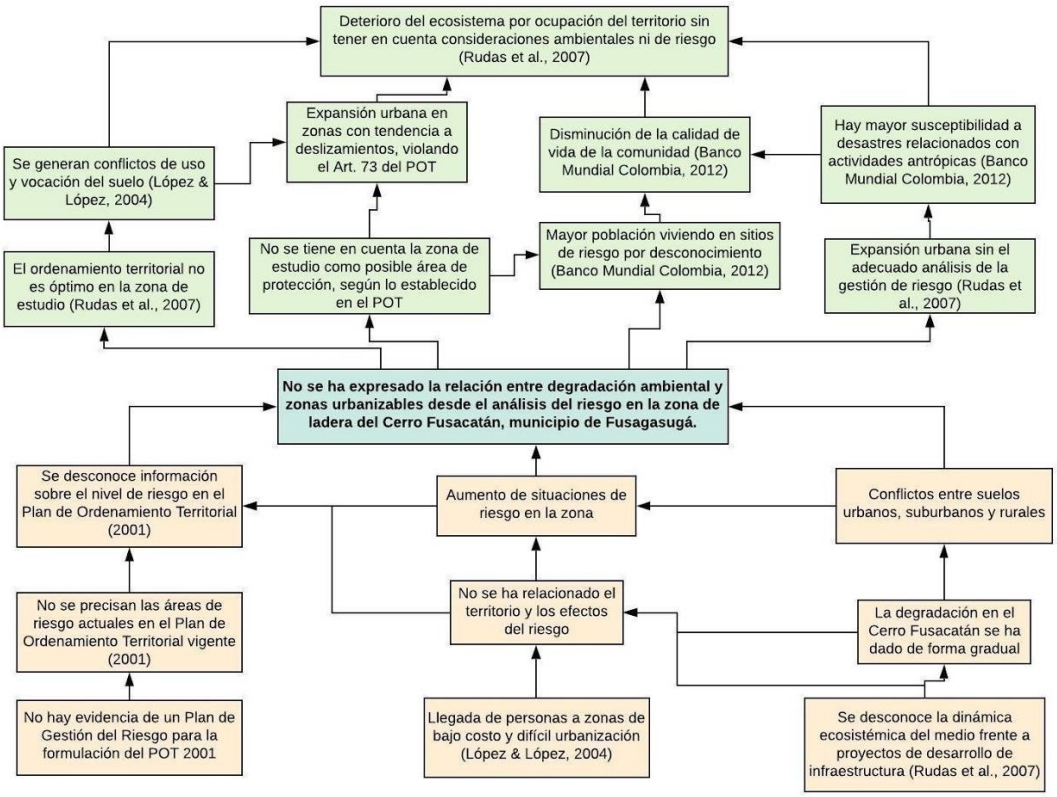


Figura 1. *Árbol de problemas*. Fuente: Autores, 2020.

2.1. Pregunta de investigación

¿Cuál es la relación entre la degradación ambiental y zonas urbanizables desde el análisis del riesgo en la zona de ladera del cerro Fusacatán en Fusagasugá?

2.2. Subpreguntas de investigación

Subpregunta de investigación del objetivo específico 1
¿Cómo ha sido la evolución del territorio urbanizado en la zona de ladera del cerro Fusacatán?

Subpregunta de investigación del objetivo específico 2
¿Cómo ha influido el desarrollo urbano en el nivel de riesgo en la zona de estudio?

Subpregunta de investigación del objetivo específico 3
¿Cómo se ha evidenciado la degradación ambiental con relación al proceso de desarrollo urbano en la zona de estudio?

3. Objetivos general y específicos

3.1. Objetivo General:

Expresar la relación entre la degradación ambiental y zonas urbanizables desde el análisis del riesgo en la zona de ladera del cerro Fusacatán en Fusagasugá.

3.2. Objetivos específicos:

1. Reconocer la retrospectiva ambiental del territorio enfocado en la degradación ambiental.

2. Establecer el nivel de riesgo asociado en las zonas urbanizables.

3. Interpretar los puntos de conexión entre degradación del ecosistema del Cerro Fusacatán y el desarrollo urbano.

4. Justificación

El crecimiento urbano y poblacional es un hecho alarmante que ha estado en diversas discusiones los últimos años, se ha dicho popularmente que es la raíz principal de lo que hoy se conoce como problemática ambiental. Sin embargo, lo que realmente marca un hito en este tema, resulta de la urbanización como elemento importante en la degradación ambiental, mientras se consideran eventos de riesgo previos en las zonas de estudio. La presión ecosistémica inmersa dentro de la degradación ambiental afecta de forma directa a una comunidad, cuando no existen acciones o documentos claros que permitan el entendimiento civil de lo que compete a nivel municipal.

Fusagasugá ha sido un municipio que, por su cercanía a la ciudad de Bogotá y clima, se ha convertido en un lugar de residencia o de paso para los bogotanos. Es por esto que en la última década se ha visto un gran crecimiento poblacional y con esto, la masiva construcción de nuevos sitios de vivienda por constructoras. Sin embargo, existen zonas donde se han empezado a desarrollar proyectos de infraestructura que no son las más aptas debido a que se encuentran expuestas a riesgos como deslizamientos o inundaciones. Buscando una calidad de vida digna, se reconoce que, a nivel municipal, los desastres representan crisis sociales que tienen sus bases en debilidades institucionales, demostrando que estos eventos se vuelven elementos fundamentales en el desarrollo y que requieren un manejo capaz de reducir su frecuencia (Vargas, 2010).

Teniendo en cuenta lo anterior, se tiene que en la investigación se fundamenta en los siguientes aspectos:

- Social: Las condiciones de riesgo marcan de forma importante a la comunidad y afectan la calidad, estilo y forma de vida. Por eso, una relación entre cómo la población se asienta en ciertos lugares puede verse afectada por procesos de la mala ubicación de nuevas viviendas.

- Ecológico: La degradación ambiental va de la mano con la deforestación y urbanización que afecta el ecosistema en general por el asentamiento. Un ecosistema puede perder resiliencia y sus propiedades características, haciendo que el territorio asentado resulte más vulnerable.

- Económico: El asentamiento en zonas deforestadas puede presentar el riesgo de deslizamientos o movimientos de masa, esto implica que puede haber pérdidas económicas con respecto a la reparación, daño o pérdida de las viviendas.

- Legal: Los planes municipales como el POT, deben mantener una armonía con el territorio de forma que consigan que las dinámicas ecosistémicas no afecten la calidad de vida de las comunidades y su estabilidad económica.

Siendo así, se fundamenta su importancia en la forma en que la relación riesgo-ordenamiento territorial es valiosa en el entendimiento del comportamiento ecosistémico durante el trabajo de desarrollo urbano y su relación con el medio natural, puesto que, cuando se comprenden las diferentes interacciones existentes en un ecosistema, es posible diseñar propuestas de investigación, implementar planes, proyectos y actividades que sean capaces de aportar soluciones en el proceso de adaptación al cambio climático que mejoren la calidad de vida de las poblaciones y este trabajo, se puede considerar un insumo para alcanzar este objetivo, pues da el alcance del ingeniero ambiental de analizar de forma holística buscando esta interrelación del ser humano y su entorno.

5. Marco de referencia

5.1. Antecedentes

La urbanización en Colombia ha sido un tema difícil de manejar puesto que es un país con una topografía compleja gracias a las cadenas montañosas que lo atraviesan, junto con otras condiciones como el clima y la hidrología que complican las condiciones del terreno, haciéndolo propenso a fenómenos de erosión, deslizamientos o avalanchas (Quintero, Carvajal & Andulce, 2012).

Frente a las debilidades del Sistema Nacional para la Atención y Prevención de Desastres (SNPAD), la Ley 1523 de 2012 buscó fortalecer los instrumentos de coordinación territorial para que los derechos constitucionales de todos los posibles afectados por eventos de riesgo fueran protegidos. De la misma forma, empieza a ver el desastre como "riesgo no manejado" y como un resultado de los problemas no resueltos del desarrollo, dejando de lado la idea de que puede ser un evento impredecible e irresistible, definiendo entonces los fundamentos normativos importantes como lo es la reducción de riesgos, la transferencia de pérdidas y la recuperación de las comunidades afectadas. Así, el SNPAD se convierte en el que busca la reducción de la vulnerabilidad ante amenazas y desastres efectivos. Todo lo anterior, da paso entonces, a la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (Ley 1523 de 2012), que define la gestión de riesgo como:

> Un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. (p.1)

Adicionalmente, esta Ley establece que los Planes de Gestión de Riesgo de Desastres, son un instrumento de importancia en la planificación territorial y de desarrollo, por lo que cualquier proyecto de inversión debe incorporar un análisis de riesgo acorde con la complejidad y costo del proyecto en cuestión (Ley 1523, 2012). Con esta, fue tarea de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres elaborar el Plan Nacional de Gestión de Riesgo con los comités nacionales competentes y los respectivos consejos territoriales. Posteriormente, el Decreto 1974 de 2013 reglamentó la expedición y actualización del Plan Nacional de Gestión de Riesgo, dando las instrucciones por las que se deben regir este tipo de documentos. Sin embargo, fue el Decreto 1807 de 2014 el que reglamentó el artículo 189 del Decreto-Ley 019 de 2012 (que establece que el Gobierno Nacional debe reglamentar la delimitación y zonificación de áreas de amenaza y con condiciones de riesgo, además de las medidas específicas para su mitigación teniendo en cuenta los Planes de Ordenamiento) para la incorporación de la gestión de riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial.

Actualmente, el Plan diseñado para el período 2015-2025 relaciona de forma directa los efectos del cambio climático y a partir de su reconocimiento, contribuyen en la reducción del riesgo puesto que son estos, los que permiten una adecuada implementación de estrategias que den paso a la planificación del desarrollo (UNGRD, 2016).

De esta forma, y entendiendo el papel de la Gestión del Riesgo de Desastres en la planificación territorial, se tiene que, para el municipio de Fusagasugá, en el departamento de Cundinamarca, es el Acuerdo No. 29 de 2001 o también conocido como Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Fusagasugá, el que

debe analizar escenarios de riesgo y trabajar por su reducción. Siendo así, éste estableció algunas políticas a largo plazo que además de propender por el desarrollo municipal, buscó establecer una administración apropiada que respondiera a situaciones de riesgo, desastre antrópico y natural para con ello, evitar y/o reducir la pérdida de vidas y los efectos de cualquier tipo que puedan ocurrir y afectar a la comunidad.

Para esto, se establecieron algunos objetivos en diferentes componentes de interés en cuanto al desarrollo de infraestructura puesto que, al momento de llevar a cabo diferentes obras de desarrollo, se hace importante localizar las principales zonas de riesgo y así, crear un banco de información que apoye la prevención de eventos de este estilo. De la misma forma, cuando se considera el medio ambiente urbano, el POT planteó, como uno de sus objetivos, la mitigación de riesgos naturales siendo ejemplo de ello las inundaciones, los deslizamientos o los sismos, para lo cual, se establecen estrategias como lo es la realización de estudios que determinen las zonas de riesgo o amenaza que consiguieron implementar el Plan Maestro de Espacio Público. Adicionalmente, la administración indicó que existiría un nuevo patrón de crecimiento que permitiera una planificación ambiental orientada a un mejor desarrollo urbano, según el Acuerdo 29, 2001, expedido por el Concejo Municipal de Fusagasugá.

Por parte del Concejo Municipal, se adoptó el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres, documento que da soporte una serie estadística de las emergencias presentadas en el período 2016-2018 como se presenta a continuación en la Figura 2:

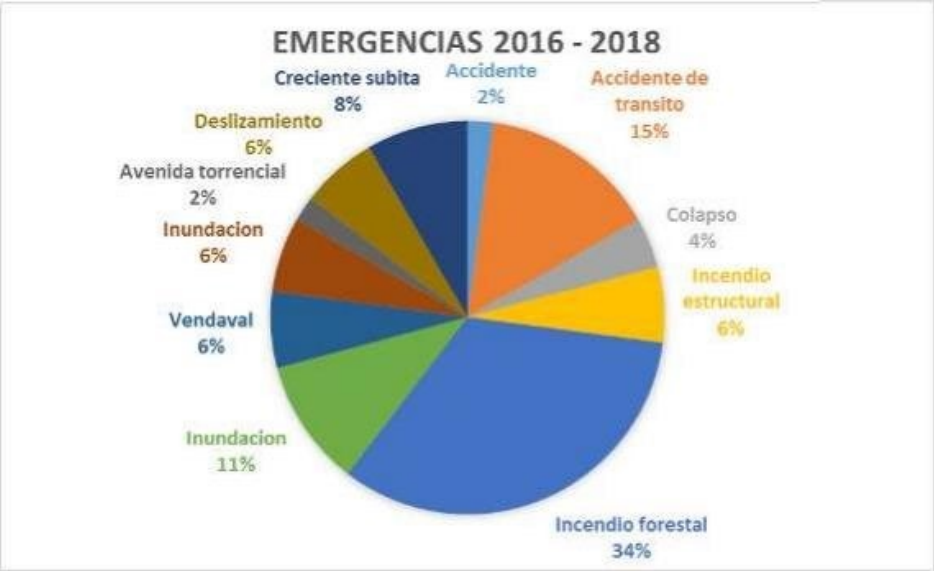


Figura 2. *Emergencias presentadas por el CMGRD para un período 2016-2018.* Fuente: CMGRD, 2019.

Teniendo esto en cuenta, las principales emergencias, han estado relacionadas con incendios forestales, accidentes de tránsito e inundaciones, sin embargo, el segundo no será tomado en cuenta para la investigación. El municipio se ha caracterizado por ser un escenario de distintos procesos naturales y antrópicos que provocan movimientos de remoción de masas; las edificaciones que cubren la superficie pueden ser causantes de incendios en cuanto a la desorganización y las zonas verdes quedan entre ellos propiciando la propagación. En el municipio, existen algunos procesos activos y han sido clasificados como: fenómenos de remoción en masa de distintos componentes (reptación, deslizamiento traslacional y rotacional, y caída y flujos de detritos), procesos de socavación lateral, inundaciones o

desbordamientos, entre otros. Emergencias como las mencionadas, se han aumentado debido al crecimiento poblacional que ha ejercido presión en los suelos, las construcciones urbanas descontroladas que además radican en daños ecosistémicos, la inadecuada gestión de los recursos hídricos, entre otros (CMGRD, 2019).

Conjunto al Plan Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres, existe el documento Estrategia de Respuesta Municipal que prioriza los riesgos existentes para establecer con qué protocolos se deben manejar. De esta forma, se tiene que aquellos riesgos o desastres que se presentan de forma súbita y por ello requieren la evacuación de un alto número de personas, como lo son las inundaciones, avenidas torrenciales y crecientes súbitas, obtienen el primer puesto. Los deslizamientos y eventos de remoción en masa, por su parte, caracterizados por ser causados por la saturación de agua en el suelo y subsuelo y procesos de deforestación, obtienen el segundo lugar en la lista. Los vendavales, producidos por vientos fuertes y excesivas lluvias que pueden causar cortocircuitos y apagones, ocupan el siguiente lugar. Los ya mencionados incendios forestales, causados de forma natural o antrópica, ocupan el cuarto lugar. Finalmente, los accidentes de tránsito ocupan el 5 y último lugar, pero este riesgo no será tomado en cuenta para el desarrollo de los objetivos de la investigación (Alcaldía de Fusagasugá, 2019).

5.2. Marco teórico

El ámbito de los riesgos naturales en zonas urbanas puede observarse desde las acciones que el ser humano ha impactado en el ambiente, transformando la naturaleza en los recursos de suelo, agua, flora, fauna, entre otros; para obtener como producto asentamientos humanos que varían en su tamaño y relaciones ecosistémicas, desde poblados hasta grandes ciudades y así, un nuevo ambiente que se conforma de componentes sociales que se enlazan a lo económico y ecológico, conectado a la vez con unidades físico-espaciales y eco-demográficas para formar espacios denominados ciudades (Lavell, 1996).

La **gestión del riesgo** se fundamenta sobre un principio de prevención-mitigación, donde las políticas se formulan a partir de su propósito de contribuir en la seguridad de las personas, para disminuir la intervención sobre desastres que ya han ocurrido en el pasado teniendo en cuenta las dinámicas sociales y del riesgo (Cardona, 2008). Para llegar a las soluciones que plantea la definición de gestión del riesgo, hay que tener en cuenta ciertas variables base como las intervenciones antrópicas y condiciones naturales del territorio como lo son la topografía, geología, suelo, el clima y la vegetación (Mergili, Marchant, & Moreiras, 2015), con el propósito de comprender la caracterización del ecosistema bajo estas disposiciones, y así tomar las medidas necesarias para garantizar la sostenibilidad con respecto a amenazas.

Según Lavell, (2001), la gestión del riesgo puede definirse también como **gestión de reducción del riesgo,** considerada como un importante componente dentro del desarrollo territorial y ambiental, que debe ser informado y diligenciado mediante el análisis y control sobre los factores de riesgo existentes que se deban contemplar en un territorio para el desarrollo del mismo, transformando los factores de riesgo en parámetros de planificación e instrumentación hacia la consideración de impactos ambientales en un territorio o proyecto. Este mismo autor expone que esta gestión no sólo se debe enfocar a la reducción del riesgo, sino también a la comprensión de aspectos sociales del territorio, aplicando herramientas de participación de diversos grupos de interés para la búsqueda de acuerdos para soportar la productividad o desarrollo del sector; es decir, que el aprovechamiento y uso de los recursos naturales se debe desarrollar bajo condiciones de seguridad y sostenibilidad aceptables. A nivel institucional, la

gestión del riesgo debe desarrollarse bajo sistemas o estructuras organizacionales que representen los ámbitos anteriormente expuestos mediante la representación social de los actores en temas de la reducción, comprensión, previsión y control del riesgo (Lavell & Argüello, 2003).

Pinto y Magpili (2016), sostienen que la gestión del riesgo efectiva usualmente se compromete a un diseño para procesos de desarrollo, y que de forma ordenada esta gestión debe seguir ciertos principios como:

- Analizar el riesgo precedido por un sistema de análisis, donde se deben reconocer metas y objetivos en un sistema para que sirvan de ayuda para determinar eventos no favorables o catastróficos. Así, entendiendo la secuencia de eventos se puede empezar a relacionar varios elementos en el sistema, un paso importante para la probabilidad de ocurrencia y consecuencias.
- El análisis del riesgo se rige por escenarios, pues sólo se puede analizar si se comprende los conceptos alrededor del riesgo. Es importante tener una visión amplia de qué puede pasar en caso de, o, en otras palabras, hay que tener ideas iniciales de un evento probable a ocurrir.
- Es importante tener en cuenta los eventos catastróficos, pues estos ayudan a fortalecer sistemas que sufrieron algún tipo de daño. Una ventaja de este tipo de eventos es que cuando pasan tienden a ser recordados con mayor detalle a comparación de situaciones comunes de cada día puesto que están asociados directamente a pérdidas.

El tema de la gestión del riesgo en Colombia está altamente relacionado con el crecimiento de las principales ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, y otras ciudades más pequeñas; así como lo muestra una misión del Banco Mundial a principios de la década de 1950 sobre las cuatro regiones o entidades económicas por su capacidad de disponer recursos agropecuarios y materia prima para la industria: centro-oriente, Antioquia, el Gran Cauca y la costa Atlántica, mostrando que los riesgos se conciben como fenómenos aleatorios y complejos desde la perspectiva ambiental, posicionándose desde las presiones del suelo, la velocidad de las transformaciones de zonas urbanas, rurales y de expansión, junto con las dificultades de un territorio (Coupé, 2011).

Este auge en los años 50 se expandió en Latinoamérica, siguiendo hasta la década de 1990, donde los procesos de urbanización empezaron a causar problemas de degradación ambiental junto con problemas sociales como la desigualdad, desempleo, brechas sociales, exposición a la violencia y la vulnerabilidad a los desastres, siendo esta última una estrecha interrelación entre peligros naturales, procesos sociales y la urbanización que finalmente, estos se manifiestan o acentúan por acción del cambio climático sobre periodos de lluvia y sequía asociados al fenómeno de La Niña o El Niño, aumento de temperatura, deslizamientos ocurridos por fenómenos geológicos y meteorológicos, entre otros (Watanabe, 2015).

La disminución de calidad del suelo, escasez de agua potable y la presión social se ven influenciados en el riesgo y conflicto desde los problemas ya mencionados, son implicaciones o efectos de cómo el cambio climático se puede manifestar (Raleigh & Urdal, 2007), como una consecuencia de la degradación ambiental que, a su vez, afecta a la población dejándola en condiciones de vulnerabilidad frente a distintos tipos de riesgo o desastre. Para esta década, en Latinoamérica la Gestión del Riesgo de Desastres toma un nuevo enfoque bajo el paradigma de que el riesgo es el problema central y los desastres son su producto; y así, se tiene en cuenta la relación riesgo/desastre y desarrollo/planificación bajo tres nuevos aspectos: los desastres no sólo son naturales, enfatizar la vulnerabilidad en la generación de riesgo y tomar nuevos contextos para la formación del riesgo (Watanabe, 2015).

Hablando entonces del desarrollo, es necesario comprender que los problemas asociados a él, están enfocados al progreso social, económico y al atraso. De hecho, fue la mayoría de problemas globales enfocados a estos temas los que llevaron al cuestionamiento acerca de las razones por las que algunos países obtenían ventajas o mejores niveles de bienestar a comparación de los demás. Con este análisis, fue a mitad del siglo XX que nació la "economía del desarrollo", un campo investigativo que tenía como objetivo establecer este tipo de problemas, entendiendo dos focos importantes: la desocupación rural, y la industrialización tardía. El primero, incluyó la acumulación de capital, mientras que el segundo buscaba involucrar de forma activa al Estado; sin embargo, con estas relaciones, se presenta a finales de los años 50 un problema basado en lo que es la utilización de dos conceptos: crecimiento y desarrollo. El segundo, entendido como un resultado hacia la planificación con activa participación industrial y de servicios, buscando el mejoramiento de indicadores no económicos, aunque no por esto, dejaba de ser un fenómeno económico puesto que tenía en cuenta el incremento del producto interno bruto (PIB) e ingreso nacional per cápita (Arcos-Palma, 2008).

Teniendo en cuenta lo anterior, es posible ver cómo ha ido cambiando la naturaleza de esta teoría, resultando en una constante del pensamiento humano referido al grado de evolución, o progreso de la sociedad. Desde el punto de vista económico, se trata de la evolución de indicadores económicos y sus repercusiones en la sociedad. Desde la ciencia, se entiende como el "desmembramiento" de las partes de los procesos, buscando simplificar la realidad. Desde la historia, se entiende como el estudio de categorías dentro de un espectro abstracto para un recorrido histórico. De esta forma, la teoría moderna del desarrollo se empieza a trabajar desde los años 50, como ya se había mencionado, y para comprender su evolución, es importante entender este tema desde las escuelas clásicas y neoclásicas (González-Arencibia, 2012).

5.3. Marco conceptual

La gestión de riesgo es un tema bastante amplio, por lo que es necesario conocer algunos conceptos para un mejor entendimiento del tema. La relación ecosistema y sociedad, cuando no es la óptima, puede terminar en desastres naturales, por eso se habla de la gestión de riesgo, para mejorar la calidad de vida y bienestar de las personas para brindar mayor seguridad en los asentamientos humanos como ya se ha expuesto. Es importante conocer que esto está relacionado con diferentes factores y conceptos que se enlazan directamente a la teoría, como la degradación ambiental, desastres naturales, remoción de masa, deslizamiento, riesgo, amenaza, vulnerabilidad, entre otros.

Zurrita, Badii, Guillen, Lugo & Aguilar (2015), definen la **degradación ambiental** como el deterioro, cambio o alteración negativa del ambiente por la disminución en los recursos agua, aire, suelo, flora y/o fauna en un ecosistema por parte de la acción antrópica. Así mismo, describen ciertas variables sobre la degradación ambiental que deben tenerse en cuenta, tales como los componentes ambientales agua, aire y suelo; crecimiento poblacional, urbanización, deforestación, actividades económicas referentes a la agricultura y ganadería, transporte e industria. Estas son algunas variables causantes de la degradación ambiental, que consecuentemente va a afectar en la salud de la población, cambio climático, consumismo, mala ordenación territorial, pobreza, entre otros (Tyagi, Garg & Paudel, 2014).

Uno de los personajes más representativos en la degradación ambiental, relacionándolos con el riesgo es Lavell (1996), quien da uno de los conceptos sobre degradación ambiental, haciendo referencia a la

relación entre los servicios ecosistémicos de soporte como el agua y el suelo, con el ambiente construido por la sociedad con respecto a la reducción de su productividad o degradación. El mismo autor define **riesgo** como la probabilidad de que a una población le ocurra un acontecimiento dañoso o de pérdidas por medio de dos factores que son la **amenaza** (la probabilidad o el peligro de un evento que pueda ocurrir) y la **vulnerabilidad** (como una población es susceptible a sufrir daños). En conjunto, la relación entre degradación ambiental y riesgo se puede entender como una transformación en modos de producir y consumir bienes provenientes de los servicios ecosistémicos (Metzger, 1996).

Aristizabal y Hermelin (2011), comprenden que pueden existir confusiones entre los anteriores conceptos, por lo tanto aclara que: la vulnerabilidad o también susceptibilidad, se mide en función de alguna condición física como la geología del lugar; la amenaza es la probabilidad de ocurrencia en un terreno vulnerable o susceptible; y el riesgo se refiere a las condiciones de vulnerabilidad y amenaza sobre un territorio específico, recomendando el uso de mapas temáticos para mejor conocimiento del riesgo.

Como materialización del riesgo a consecuencia de la degradación ambiental, la amenaza y la vulnerabilidad, se entiende un **desastre** como la manifestación de ese riesgo, donde sus impactos superan la capacidad de recuperación del ecosistema o sistema ambiental afectado. Esto quiere decir, que no todos los riesgos son riesgos de desastres, pues existen eventos donde el daño no afecta de manera significativa al sistema (Vera & Albarracín, 2017).

Existen varias ideas sobre la definición de **desarrollo** que son de importancia para la comprensión de otros conceptos. Dubois (2002) lo define como la relación de la idea del futuro con las prioridades que cada sociedad tiene como meta colectiva, después de hacer un análisis del nacimiento, evolución y cambio del concepto a través del tiempo. A más profundidad, el **desarrollo local** se sitúa sobre el ser humano y los intereses colectivos, buscando solucionar problemas hacia la escala global desde la dimensión de territorialidad geográfica endógena (Alonso, 2013).

De manera global, la **urbanización** se define como el proceso que conlleva al crecimiento de las ciudades gracias a la industrialización, desarrollo económico y traslado de la población rural a la urbana, generando cambios de división y comportamiento de las personas, dando como resultado impactos sobre componentes ambientales como la atmósfera y clima, litósfera y recursos del suelo, cuerpos de agua e impactos sobre la biósfera (Uttara, Bhuvandas & Aggarwal, 2012). La urbanización debe entenderse desde un punto de vista complejo, pues marca una tendencia de modernidad conflictiva y cambiante caracterizada por la globalización como proceso, de la organización social y de la vida entre el medio construido y los recursos naturales (Bolay & Taboada, 2011).

Tanto los procesos de degradación ambiental como los de urbanización, se van desarrollando a través del tiempo. Álvarez (2013), realizó un artículo investigativo de revisión bibliográfica sobre la retrospectiva y reflexión de la degradación del medio ambiente, con el objetivo de describir lo escrito sobre temas medioambientales, su pasado, y procesos económicos, indicando que el concepto de **retrospectiva ambiental** se analiza mirando lo que ha sucedido en el pasado y cómo el ambiente se ha ido degradando por el paso del tiempo. En otras palabras, se entiende como el cambio histórico de un territorio sobre temas que abarcan los componentes ecológicos, económicos y/o sociales.

La observación de estos cambios multitemporales se puede desarrollar con ayuda de varias herramientas como las imágenes aéreas, satelitales y los sistemas de información geográfica. Es importante conocer el

concepto de **fotointerpretación**, pues es uno de los fundamentos base para comprender cómo se va a estudiar la degradación ambiental en el estudio. Cárdenas Pérez, Godoy Uribe & Figueroa Gutiérrez (2019) orientan la fotointerpretación hacia la examinación, análisis e interpretación de una imagen aérea para identificar los diferentes objetos, categorías, características naturales, límites y relaciones del entorno que se encuentran en ella por medio de deducciones interpretativas.

Un campo muy importante dentro del área de la fotointerpretación son los sensores remotos o la **teledetección**, definida como una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre mediante sensores que se encuentran en estaciones espaciales, por medio de la interacción energética entre La Tierra y el sensor por reflexión de la energía solar o un haz energético artificial, así detectando señales que son almacenadas por sistemas de recepción para su posterior interpretación (Chuvieco, 1996); es decir, los **sensores remotos** miden el flujo de radiación por unidad de área de la superficie de La Tierra para proveer la representación gráfica de este flujo, obtenida en imágenes satelitales (Lucas & Curran, 1999).

Según Chuvieco (2002), y como se observa en la Figura 3, la teledetección es un sistema que está compuesto por una fuente de energía (luz solar como fuente de radiación), cubierta terrestre (formada por la vegetación, suelo, agua, construcciones), sistema sensor o sensor remoto (capta la energía de las cubiertas terrestres, la transforma y envía), sistema de recepción (se recibe la información transmitida por el sensor remoto por medio de una imagen), el intérprete (convierte los datos en información temática) y el usuario final (analiza el documento de la interpretación).

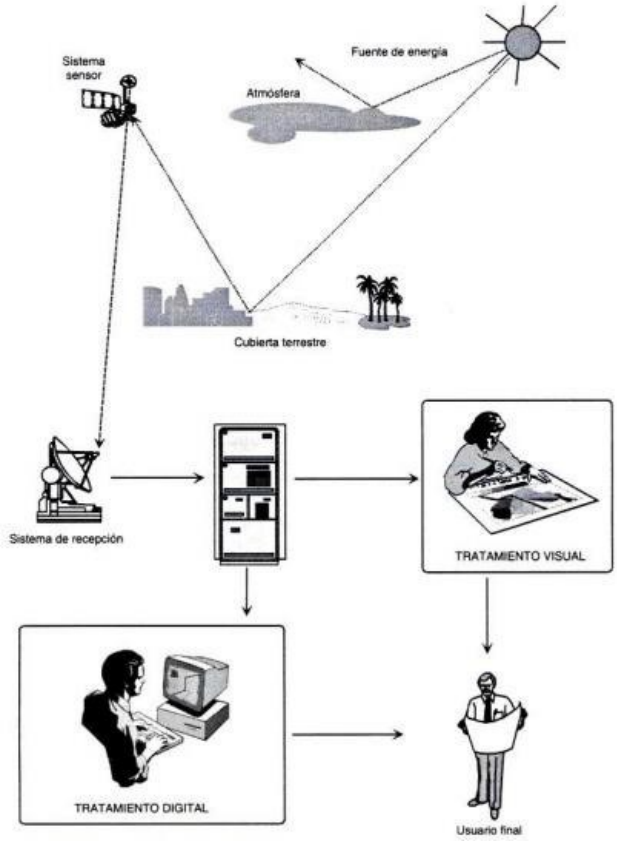


Figura 3. *Componentes de un sistema de teledetección.* Fuente: Chuvieco, 2002.

Existen varios tipos de imágenes satelitales o de teledetección, sin embargo, para el estudio es importante conocer el concepto de una **imagen multiespectral,** definida como aquella que "lleva asociados varios valores numéricos a cada píxel, tantos como bandas espectrales sea capaz de detectar el sensor" (Labrador, Évora & Arbelo, 2012, p. 21).

La importancia de la información proporcionada por sensores remotos es de gran relevancia por el impacto que brinda al describir la estructura de un territorio, patrones espaciales, caracterización estructural del paisaje, entre otros, por el comportamiento espectral determinado del atributo de la superficie terrestre (Paruelo, 2008). Acompañado de los Sistemas de Información Geográfica, se convierte en una herramienta para monitorear y gestionar los recursos naturales desde campos como la agricultura, manejo del recurso hídrico, vegetación boscosa, suelo y contaminantes bajo condiciones multitemporales, multiespectrales y multiespaciales (Kumar, Yamaç & Velmurugan, 2015).

5.4. Marco geográfico

El municipio de Fusagasugá se encuentra en el Departamento de Cundinamarca (Figura 4) en Colombia a 59 kilómetros de la ciudad de Bogotá D.C., ubicado en el Valle de los Sutagaos rodeado de los cerros Quininí en el occidente y Fusacatán en el oriente. Se encuentra a una altura entre 550 y 3.050 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), con altura promedio de 1.765 m.s.n.m en el casco urbano, limitando al norte con los municipios de Silvania y Sibaté; al sur con Arbeláez e Icononzo; al oriente con Pasca y Sibaté; y al occidente con Tibacuy y Silvania, como se puede observar en la Figura 5. Así mismo, el área urbana cuenta con 13,85 km^2 que se distribuye en las siguientes comunas: norte, oriental, centro, sur - oriental, occidental y sur - oriental (Alcaldía de Fusagasugá, 2016).

Figura 4. *Ubicación de Fusagasugá en Cundinamarca.* Fuente: Autores, 2020.

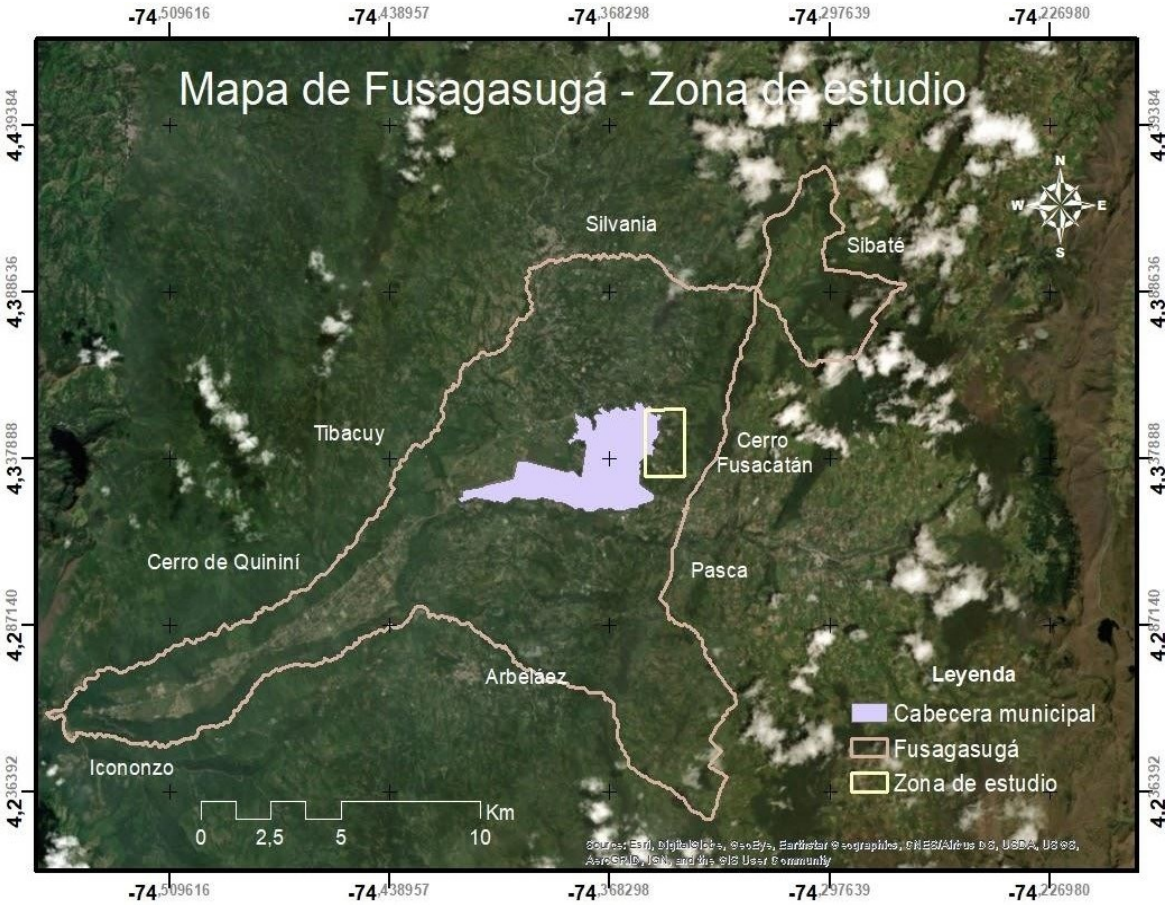


Figura 5. *Mapa de Fusagasugá y zona de estudio.* Fuente: Autores, 2020.

La zona de estudio se centra principalmente sobre la comuna oriental de la zona urbana de Fusagasugá (Figura 6), puesto que con respecto a zonas urbanizadas es la que se encuentra con mayor cercanía a la zona de influencia del Cerro Fusacatán. En el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres expedido por la Alcaldía Municipal de Fusagasugá (2019), se expone una lista de barrios que se encuentran por comuna; sin embargo, debido a la expansión urbana del municipio no se encuentran listados todos los barrios y se definen como "todos aquellos desarrollos que en el futuro se adelanten dentro del territorio delimitado para esta Comuna" (p. 10), indicando que ésta se ha ido extendiendo por la ladera del cerro.

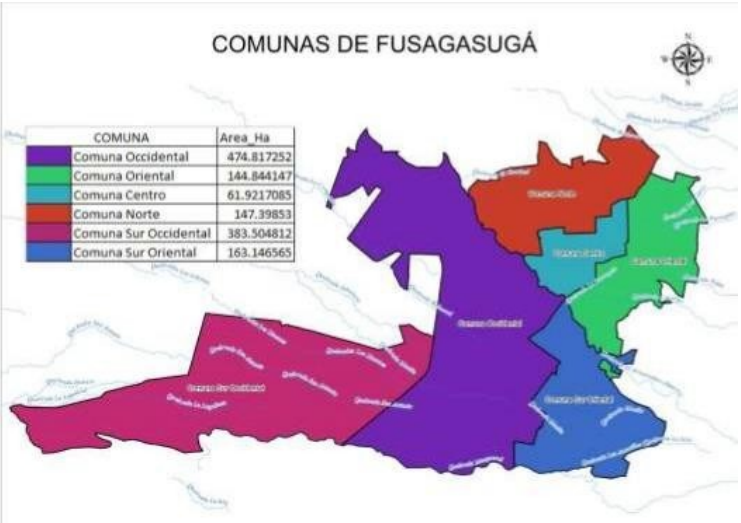


Figura 6. *Comunas de Fusagasugá.* Fuente: Alcaldía de Fusagasugá.

5.5. Marco normativo

En este proyecto se tienen en cuenta disposiciones normativas que se encuentran dentro a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1. *Normatividad de importancia en el proyecto.*

Entidad	Número de la norma	Título	Art.	Contenido
Congreso de la República de Colombia	Ley 1523 de 2012	Política Nacional de Gestión de Riesgos y Desastres	1, 32	1 - De la gestión de riesgo de desastres: 32 - Planes de gestión del riesgo
Congreso de la República de Colombia	Ley 1931 de 1029	Se establecen directrices para la Gestión del Cambio Climático	4	Establece que la coordinación regional del SISCLIMA estará a cargo de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
Congreso de la República de Colombia	Ley 388 de 1997	Se modifican la Ley 9ª de 1989 y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones	8	Es acción urbanística "determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para la localización de asentamientos humanos, por amenazas naturales, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda".

Congreso de la República de Colombia	Ley 1454 de 2011	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial	2	Concepto y finalidad del ordenamiento territorial.
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Desarrollo	Decreto 1077 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.	2.2.2.1.3.1.3	Establece la determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.
Alcaldía de Fusagasugá	Decreto 239 de 2019	Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres	Todo el Decreto	Documento base para conocer todos los componentes del riesgo en el municipio.
Concejo Municipal de Fusagasugá	Acuerdo 100 de 2016	Plan de desarrollo de Fusagasugá "Juntos sí podemos"	Todo el Acuerdo	Da las disposiciones necesarias sobre el marco geográfico y estudios referentes al riesgo en el municipio
Concejo Municipal de Fusagasugá	Acuerdo 29 de 2001	Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Fusagasugá	Todo el Acuerdo	Disposiciones necesarias sobre uso del suelo, áreas expuestas a amenazas y riesgos.

Fuente: Autores, 2020.

5.6. Marco institucional

La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) (2020) crea el Sistema de Gestión del Riesgo de Desastres, adoptado a partir de la Ley 1523 de 2012, Artículo 5, definiéndose como:

> El conjunto de entidades nacionales del orden público, privado y comunitario que, articuladas con las políticas, normas y recursos, tiene como objetivo llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en todo el territorio nacional en busca de mejorar la calidad de vida, la seguridad y el bienestar de todas las comunidades colombianas.

Este Sistema de Gestión del Riesgo de Desastres está dirigido desde el Presidente de la República, seguido del Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo, así descentralizándose en los niveles nacionales, departamentales y municipales, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. *Organigrama del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.* Fuente: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2020.

A nivel departamental, Cundinamarca cuenta con la Unidad Administrativa Especial de Gestión del Riesgo de Desastres, encargada de orientar la gestión y coordinar distintas entidades relacionadas, con el fin de articular acciones que permitan mitigar y prevenir eventos de riesgo. De esta forma, la entidad cuenta con una estructura orgánica conformada por el Despacho del director UAEGRD, la Subdirección de Conocimiento, la Subdirección de Reducción del Riesgo y la Subdirección de Manejo de Desastres. Siendo así, el organigrama se presenta de la siguiente forma:

Figura 8. *Organigrama de la Unidad Administrativa Especial de Gestión del Riesgo de Desastres*. Fuente: Gobernación de Cundinamarca, 2020.

A nivel municipal dentro de este sistema, se encuentra como encargado el alcalde del municipio y el Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo con Comités para Conocimiento, Reducción y Manejo (Figura 8), que son instancias de coordinación, asesoría, planeación y seguimiento que garantizan la efectividad de los procesos de gestión del riesgo en la entidad territorial, en este caso, en el municipio de Fusagasugá (UNGRD, 2020).

Finalmente, se tiene la Universidad El Bosque, desde el programa de Ingeniería Ambiental y el grupo de investigación "Agua, salud y ambiente", se trabaja de la mano con instituciones localizadas en el municipio de Fusagasugá para llevar a cabo el proyecto que está ligado directamente al Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Por eso, dentro de las instituciones relacionadas con el proyecto se encuentra la Alcaldía y Concejo Municipal de Fusagasugá en conjunto con la Secretaría u Oficina de Planeación en temas de ordenamiento territorial.

6. Marco metodológico

6.1. Enfoque:

Según Hernández-Sampieri (2018), se establecen 3 enfoques investigativos: cualitativo, cuantitativo y mixto. Para la investigación en cuestión, se tiene el enfoque mixto considerando la investigación, de tipo longitudinal no experimental, ya que utiliza la interpretación de la literatura para descubrir cuál pregunta de investigación es la más importante para después darle respuesta por medio de análisis cuantitativos con ayuda de software. La indagación tiende a ser dinámica, relaciona los hechos y su interpretación de forma circular pero no secuencial puesto que cada estudio es diferente.

De esta forma, se tienen en cuenta los eventos registrados en el tiempo en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Fusagasugá y las variables ambientales relacionadas, para evaluar cuáles tienen mayor probabilidad de ocurrencia o incidencia, respectivamente, en el territorio cumpliendo así con el parámetro cualitativo del estudio. Por otro lado, el lado cuantitativo responde a la creación de mapas con su respectivo análisis de área y la solución de ecuaciones de riesgo que responden activamente a los objetivos formulados para la investigación.

6.2. Alcance

El mismo autor, Hernández-Sampieri (2018), establece que se tienen 4 alcances: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo. Esta investigación es de tipo correlacional, ya que se busca identificar aquellos elementos existentes en los documentos oficiales actuales con la finalidad de evaluar un contexto particular en la zona de estudio establecida. De esta forma, aquellas variables que afecten de forma positiva o negativa en el estudio tendrán la capacidad de aplicarse de forma adecuada en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos.

6.3. Método

En este campo se tienen 6 métodos: inductivo, deductivo, analítico, comparativo, dialéctico y sintético. Para la presente investigación, se considera un método sintético, encargado de tomar todas las partes de un tema particular, para analizarlo como un “todo”. De esta forma, se analizarán las variables de interés para posteriormente, establecer la relación en un sistema urbano en el municipio de estudio, y que son capaces de desarrollar un importante evento de riesgo.

6.4. Técnica

En la investigación cualitativa, las técnicas de recolección de datos se fundamentan en la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusiones, evaluación de experiencias, entre otros que buscan una flexibilidad capaz de moverse entre respuestas y teorías. De esta forma, la revisión de documentos será la técnica fundamental que dará lugar a los elementos claves de la investigación apreciando todos los componentes sin necesidad de separarlo por partes, entendiendo las razones detrás del comportamiento que ha llevado a la gente a asentarse en zonas de alto riesgo y

variables ambientales que se relacionan con eventos de riesgo. Para este caso, se trabajará bajo la observación del cambio físico en la zona de ladera del cerro Fusacatán con el uso de fotografías aéreas, imágenes satelitales, matrices de priorización de variables, evaluación del riesgo, entre otros, que permiten la comprensión de la evolución del terreno con todos los cambios que haya tenido el territorio construido de cualquier tipo o naturaleza.

6.5. Instrumento

Siguiendo con la información anterior, el instrumento de registro digital se basa en la documentación constante, subrayado de textos y evaluación de autores, organizados en una matriz de artículos de importancia (que hace parte del proceso llevado a cabo para la obtención de información requerida para los resultados), capaces de proveer el estudio de diferentes perspectivas en un mismo campo. Adicionalmente, se hará uso de software SIG como ArcMap 10.8, fotografías aéreas y mapas digitales.

6.6. Metodología objetivo 1

Para conseguir el cumplimiento del objetivo específico 1, se consideró de forma general que el desarrollo metodológico responde al término analítico puesto que aquellos elementos presentes en el territorio, caracterizan de forma específica el espacio. Teniendo en cuenta los conceptos y factores de la degradación ambiental, se realiza una síntesis de variables ambientales que se priorizan según su aplicabilidad en el estudio, y caracterizadas por fotointerpretación, a saber:

- Uso de suelo y vegetación
- Cuerpos hídricos
- Erosión
- Drenajes
- Infraestructura
- Distribución poblacional

Una vez seleccionadas las variables a caracterizar, se trabajó con un conjunto de fotografías aéreas y satelitales, bajo criterios propios de la fotointerpretación complementados con información adicional obtenida de bases de datos, de forma que el análisis de imágenes en distintos momentos del tiempo permita la obtención del comportamiento de la zona de estudio con respecto al desarrollo de infraestructuras y la degradación ecosistémica.

Para poder realizar una fotointerpretación adecuada, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2015) establece que se debe trabajar en primer lugar una fotolectura y fotoidentificación, que consiste en la identificación, valga la redundacia, de todos los elementos del paisaje entendidos como cursos de agua, canales de drenaje, cultivos, viviendas, bosques, entre otros, para comprender sus características particulares; es decir, consiste en el conocimiento elemental de la fotografía. Enseguida, se trabaja un fotoanálisis, siendo este cuando se analizan los elementos del terreno que son de interés (es decir, las variables previamente establecidas). Es en esta fase cuando se trabaja más a detalle para comprender las interrelaciones del ecosistema. Es luego de las fases mencionadas cuando se puede realizar la

fotointerpretación de forma específica, de manera que integre los elementos reconocidos previamente y tenga un resultado que contenga todos los elementos importantes del paisaje.

Para la fase del fotoanálisis, se deben considerar algunas propiedades de las fotografías. En primer lugar, se tienen en cuenta los colores como las tonalidades de gris entendiendo que los tonos son el reflejo del color del objeto y que con ellos se pueden comprender los distintos elementos propios del territorio. Los patrones, se refieren a la agrupación de elementos con características especiales, por lo que con ellos se pueden identificar drenajes, cultivos o vegetación. La textura es un elemento más complejo pues es altamente dependiente de la escala de la fotografía; cuando se trabaja a gran escala, algunos elementos vegetales son más fáciles de identificar que cuando se tiene una escala menor, aunque cuando ese es el caso, son las agrupaciones las que permiten saber qué elementos son visibles. De esta forma, cuando la textura es suave, se consideran zonas desprovistas de vegetación mientras que los casos contrarios, usualmente representan cubiertas arbóreas. Junto con la textura, está la distribución, ya que muchos elementos del paisaje como lo son las construcciones, son determinadas por la forma en que están organizadas en el espacio. Las sombras, tienden a ocultar elementos cuando resultan demasiado pronunciadas, sin embargo, en ocasiones, consiguen proyectar objetos facilitando ubicaciones. Finalmente, la forma o silueta de algunos objetos es lo que permite su identificación cuando son vistos desde arriba, sin embargo, es más adecuado acompañar este componente con las características anteriores (IGAC, 2015).

Las fotografías satelitales se obtuvieron del software "Earth Observing System", también conocido como EOS, que cuenta con una funcionalidad Land Viewer que permite observar y descargar imágenes satelitales con un rango de tiempo específico. De esta forma, se analizaron 2 tiempos para completar con una retrospectiva de 20 años en el territorio: 2000 y 2020, entendiendo que, por el lanzamiento del satélite LANDSAT 8 en el año 2013, el primer tiempo fue analizado con imágenes satelitales tomadas por LANDSAT 7 que opera desde 1999, mientras que el último fue con Sentinel 2, por su accesibilidad en el software EOS. De esta forma, en el aplicativo se establecen los límites del área de estudio y se determina el tiempo en el que se quiere analizar la imagen, las características de la misma (nubosidad y salida de sol) y se analizan las distintas bandas. De esta forma, y con las herramientas propias de la fotointerpretación y teledetección, se analizaron los elementos visibles y se compararon los momentos temporales.

Se ubicó la zona de estudio dentro de la imagen satelital para efectuar el recorte que se trabajó para los siguientes análisis. Para reconocer las variables de la degradación ambiental como el cambio de vegetación y las zonas urbanizables, se realizó un tratamiento a la imagen por medio de la combinación de diferentes bandas de la fotografía satelital para poder identificar qué porciones del territorio han sido degradadas. Este proceso se realizó con las dos imágenes satelitales con el propósito de finalmente reconocer en retrospectiva la degradación ambiental del territorio y sus características principales.

La degradación ambiental cuenta, además, con una serie de variables generales que deben ser caracterizadas según su importancia y utilidad en el cumplimiento del objetivo. De esta forma, se priorizaron aquellas variables que tienen impacto en el proyecto por medio de una matriz de priorización, una técnica usada para evaluar opciones con una puntuación respecto a criterios de interés; siendo así, en primer lugar, se elaboró una lista con las opciones de evaluación para que los criterios respondan adecuadamente al problema en cuestión; luego, se realizó la matriz señalando los elementos previos y evaluando las opciones otorgándoles un valor para calificarles. Finalmente, se valoraron todos y se analizaron los resultados (AEC, 2019).

De esta forma, se tomaron las variables de degradación y se calificaron según los eventos de riesgo presentados por el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Fusagasugá del año 2019, estableciendo una escala de probabilidad de poco probable, probable, muy probable o no aplica (Tabla 2), junto con una de rangos de prioridad, donde las variables de mayor importancia son las que obtuvieron puntajes mayores a 10, y son las que se interpretaron con el apoyo de imágenes satelitales mediante la combinación de bandas RGB; aquellas entre 5 y 10 se consideraron como variables de apoyo a las priorizadas, y se vieron reflejadas en el análisis e interpretación de las imágenes; y aquellas con puntuación menor a 5, no se tuvieron en cuenta.

Tabla 2. *Parámetros de calificación de la matriz de priorización.*

Probabilidad	Puntaje
No aplica	0
Poco probable	1
Probable	2
Muy probable	3

Fuente: Autores, 2020.

Finalmente, los resultados de la degradación ambiental en el territorio se espacializaron y se realizó un mapa con el apoyo del ArcMap 10.8. Para esto, se georreferenciaron las dos imágenes de satélite del año 2000 y 2020 respectivamente, para adecuarlas a la zona de estudio y reclasificando los atributos en dos: las zonas urbanizables y las zonas con vegetación. A continuación, se pasaron de ráster a polígono para aplicar la herramienta de geoprocesamiento "diferencia geométrica", que retira los atributos en unión de ambas capas como se observa en la Figura 9; entre las capas espacializadas del año 2000 con la del 2020, es decir, esta herramienta permite que las entidades entre sí no se superpongan y se generen en la capa de salida (Esri, 2020). De esta forma, se obtuvo como producto el mapa de degradación ambiental en retrospectiva para el periodo de tiempo entre el 2000 y 2020 en la zona de ladera del Cerro Fusacatán, Fusagasugá.

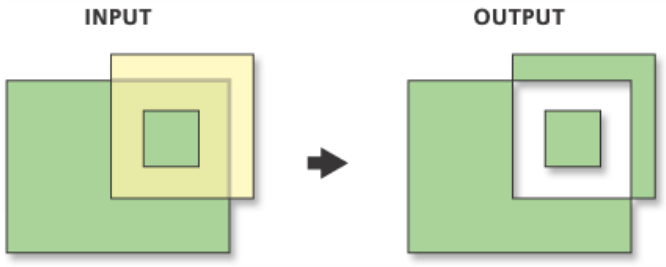


Figura 9. *Ilustración de la herramienta de geoprocesamiento "diferencia geométrica".* Fuente: Esri, 2020.

6.7. Metodología objetivo 2

Para cumplir con el objetivo específico 2, se partió desde un enfoque que sintetiza los elementos que deben ser contemplados en un análisis de riesgo en un entorno con ciertas características ambientales descritas como variables, como los cambios antrópicos que han ido surgiendo en la zona de estudio que se presentan en la retrospectiva con respecto a la degradación ambiental en el territorio y sus variables de análisis; también, desde una revisión de documentos para tener como base la idea de cómo evaluar el riesgo frente a sus condiciones ambientales.

Para llegar al análisis de riesgo, se partió desde un análisis de amenazas o impactos, y vulnerabilidades que se encuentran en el territorio bajo un concepto de priorización. Esto, fue considerado en la matriz anterior por lo que, con el mismo insumo, se realizó una priorización de los eventos de riesgo ya ocurridos en el municipio respecto a las variables de degradación, consiguiendo una sumatoria de las columnas para identificar la importancia de cada uno para la realización del proyecto. La escala de evaluación se presenta en la tabla 2.

Para esto, se siguió la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales del Ministerio de Ambiente, Viceministerio de Gestión Ambiental y la Dirección General de la Calidad Ambiental de Perú (2010) y la Metodología de Evaluación de Riesgos Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (2016), y se adaptaron para el cumplimiento del objetivo propuesto.

Para esto, se tuvieron en cuenta los lineamientos establecidos en la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales, y se tomaron los lineamientos para identificar las fuentes de peligro y suceso iniciador, junto con la formulación de escenarios de riesgo para cada una de las fuentes de peligro identificadas.

Como primer paso de la identificación de fuentes de peligro, se recopiló la información que competa con las características ambientales de la zona de estudio, desde las variables ambientales identificadas para el objetivo 1. Se utilizó información secundaria para esta recopilación de datos, para luego priorizar las principales fuentes de peligro y sintetizar la información en la Tabla 3 que contenga sus causas desde los entornos ecológico y socioeconómico para cada fuente; a partir de esto, se identificaron también los posibles eventos iniciadores para cada uno de los entornos mencionados.

Tabla 3. *Formato base para la identificación de principales fuentes de peligro.*

Causas		Evento iniciador
Ecológico	Socioeconómico	
Descripción del entorno ecológico	*Descripción del entorno socioeconómico*	*Descripción del evento iniciador para cada entorno*

Fuente: Autores, 2020.

Con los peligros ya identificados y caracterizados, se formularon los escenarios de riesgo para cada peligro encontrado con el propósito de estimar las consecuencias asociadas al peligro, evento o suceso iniciador, escenario de riesgo y las causas, referente a su tipología del peligro, para organizar la

información en la Tabla 4, y así, tener los elementos necesarios para comprender el porqué del cálculo de riesgo.

Tabla 4. *Tabla base para la formulación de escenarios de riesgo.*

Tipología del peligro			Evento o suceso iniciador	Escenario de riesgo	Causas	Consecuencias
Ubicación de la zona	Natural	Antrópico				

Fuente: Ministerio de Ambiente, Viceministerio de Gestión Ambiental y la Dirección General de la Calidad Ambiental de Perú, 2010.

La metodología propuesta por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (2016) propone partir desde escenarios de riesgo o riesgos ambientales genéricos, por lo que fue necesario primero identificar las fuentes de peligro para formular los escenarios de riesgo. Esta metodología establece que el riesgo es entendido como:

$$Riesgo = Probabilidad * Impacto \quad (1)$$

Siendo así, se tiene que:

$$Probabilidad = (0{,}5 * antecedentes) + [0{,}5 * \frac{NCP\ identificadas}{NCP\ definidas} * 5] \quad (2)$$

Donde:
NCP, corresponde al número de condiciones que pueden incrementar las probabilidades de riesgo. Para la aplicación en este proyecto, los NCP hace referencia a las fuentes de peligro identificadas y definidas.

Hay que tener en cuenta que la forma en que la fórmula se evalúa, busca establecer un valor único donde el 50% corresponde a antecedentes y el otro por las condiciones físicas del área y que pueden incrementar la probabilidad de riesgo. Adicionalmente, el valor NCP se multiplica por 5, al ser este el valor máximo de calificación para la probabilidad. De esta forma, se tienen los siguientes niveles:

Valor de la Probabilidad	Nivel de Probabilidad	Descripción	Frecuencia (Antecedentes)
1	Raro	El evento puede ocurrir solo en circunstancias excepcionales	No se ha presentado en los últimos 5 años
2	Improbable	El evento puede ocurrir en algún momento	Al menos 1 vez en los últimos 5 años
3	Posible	El evento podría ocurrir en algún momento	Al menos 1 vez en los últimos 2 años
4	Probable	El evento probablemente ocurrirá en la mayoría de las circunstancias	Al menos 1 vez en el último año
5	Casi Seguro	Se espera que el evento ocurra en la mayoría de las circunstancias	Más de 1 vez al año

Figura 10. *Niveles de probabilidad*. Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2016.

Posteriormente, se tiene el impacto, cuya ecuación responde a:

$$Impacto = (0{,}5 * impacto\ potencial) + [0{,}5 * (\frac{NCI\ identificadas}{NCI\ definidas} * 20)] \quad (3)$$

Donde,
NCI, corresponde al número de condiciones que pueden incrementar el impacto de los riesgos. Para esto, y considerando que la priorización de variables fue analizada dependiendo de la forma en que esta potencialice los eventos, se tendrán las variables que fueron calificadas con 2 y 3.

Como en el caso anterior, se debe considerar que la multiplicación por 0,5 tiene la misma funcionalidad porcentual que en la probabilidad, respondiendo a un 50% definido por un valor de impacto potencial y el otro por las condiciones físicas del área de interés que pueden aumentar el mismo impacto. El 20, por su parte, es el valor máximo que puede tomar esta variable como se observa en la Figura 11:

Nivel de impacto	Descriptor
1	Insignificante
2	Menor
5	Moderado
10	Mayor
20	Catastrófico

Figura 11. *Nivel de impacto.* Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2016.

Finalmente, cuando se realice la ecuación de riesgo (1), se podrá calificar de acuerdo la Tabla 5, que muestra los rangos con los siguientes descriptores: extremo, alto, moderado y bajo, donde cada uno presenta un rango de valor. Esta valoración del riesgo se debe realizar para cada escenario encontrado. De esta forma, se establece la siguiente escala:

Tabla 5. *Escala de evaluación de riesgo.*

Calificación	Descriptor
10-14	Bajo
15-19	Moderado
20-24	Alto
25-30	Extremo

Fuente: Autores, 2020.

Posteriormente, se ubicaron geográficamente en la zona de estudio usando el software ArcMap 10.8 para espacializar por completo los niveles de riesgo con respecto a las zonas urbanizables de la zona de estudio, junto con la descripción que cada nivel representa. Esta ubicación fue posible gracias a la información que brinda el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres del municipio de Fusagasugá, pues para cada escenario menciona qué parte de Fusagasugá resultó afectada, filtrándose las situaciones que sólo aplicaron para la zona de estudio.

6.8. Metodología objetivo 3

Para cumplir con el objetivo 3, que de manera conjunta conlleva al cumplimiento del objetivo general de la presente investigación, se consideró un método analítico que permite el entendimiento de los elementos desarrollados en el objetivo 1 y 2 con la finalidad de relacionar el nivel de riesgo con la degradación ambiental, o el comportamiento identificado del ecosistema en el área de estudio. Los resultados del reconocimiento de la degradación ambiental en retrospectiva y el nivel de riesgo deben estar correctamente espacializados como capas de característica vectorial para obtener sus puntos de interconexión. Este proceso se llevó a cabo con el software ArcMap 10.8, y para obtener esta relación, se usó el conjunto de herramientas superposición, específicamente la herramienta intersecar, pues calcula la intersección geométrica entre las entidades de entrada, dando como salida las partes de entidades que se superponen (entidades de entrada) (Esri, 2020). Esta nueva salida es el resultado de la relación entre la degradación ambiental y zonas urbanizables desde el análisis del riesgo en la zona de ladera del cerro Fusacatán en Fusagasugá.

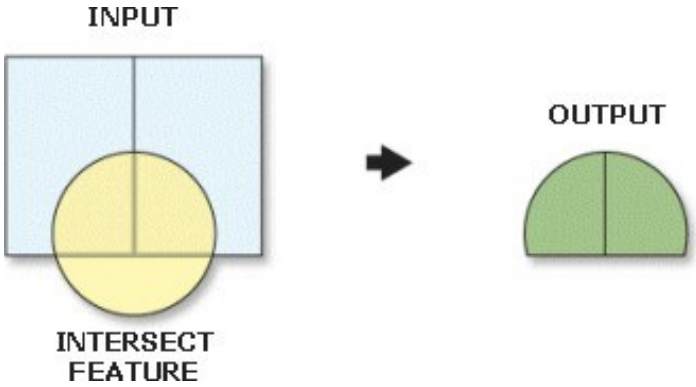


Figura 12. *Ilustración de la herramienta de geoprocesamiento "intersecar".* Fuente: Esri, 2020.

7. Plan de trabajo

7.1. Matriz metodológica

Tabla 6. *Matriz metodológica*

Objetivo General	Objetivos específicos	Método	Técnica	Instrumento	Actividad	Resultado
Expresar la relación entre la degradación ambiental y zonas urbanizables desde el análisis del riesgo en la zona de ladera del cerro Fusacatán en Fusagasugá.	Reconocer la retrospectiva ambiental del territorio enfocado en la degradación ambiental.	Analítico: se busca comprender, desde la fotointerpretación, los elementos presentes en el territorio para caracterizar un espacio actual.	Fotointerpretación, revisión de documentos/bibliográfica, teledetección, combinación de bandas.	Bases de datos (software en línea LandViewer), imágenes satélitales multiespectral, software ArcMap 10.8	• Seleccionar aquellas variables de importancia en la degradación ambiental. • Revisar las variables ambientales del territorio en retrospectiva. • Caracterizar y analizar las variables escogidas con técnicas de fotointerpretación (fotolectura y fotoidentificación, fotoanálisis y fotointerpretación).	Análisis de la caracterización ambiental del territorio en retrospectiva que dan paso a la degradación ambiental del territorio.

	Establecer el nivel de riesgo asociado a las zonas urbanizables.	Sintético: Busca analizar los elementos de un sistema para llevarlo de forma directa a un "todo", en este caso, los elementos que involucran el riesgo y sus variables de estudio.	Revisión de documentos y archivos.	Consignación de información en documentos, matriz de evaluación del riesgo.	• Determinar la amenaza y vulnerabilidad de la zona con respecto a las condiciones ambientales de las zonas urbanizadas. • Diseñar la matriz de evaluación del riesgo y escala de evaluación. • Diligenciar la matriz para encontrar el nivel de riesgo en la zona. • Espacializar la relación entre evaluación del riesgo y las zonas de urbanización en un mapa.	Análisis espacial de la zona de estudio (áreas urbanizadas) y evaluación del riesgo.
	Interpretar los puntos de conexión entre degradación del ecosistema del Cerro Fusacatán y el desarrollo	Analítico: teniendo las dos variables de interés relacionadas, se espera comprender el grado de riesgo.	Revisión y análisis de resultados con ayuda de Sistemas de Información Geográfica	Software ArcMap 10.8	• Búsqueda de los puntos de intersección • Espacializar y analizar los puntos de interconexión.	Análisis espacial e interpretativo de los puntos de interconexión de la caracterización ambiental del territorio en retrospectiva y el nivel de riesgo encontrado.

Fuente: Autores, 2020.

7.2. Cronograma de actividades.

Tabla 7. *Cronograma de actividades*

Cronograma de trabajo para el periodo 2019-II																
Actividades	**Septiembre**				**Octubre**				**Noviembre**				**Diciembre**			
	S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**
Revisión bibliográfica																
Elección tema de investigación																
Construcción marco referencial																
Construcción marco metodológico																
Tutoría con docente																
Asistencia a semillero geosuelos																
Visita a la zona de estudio																
Visita al IGAC																
Presentación con expertos																
Entrega de monografía																

Cronograma de trabajo para el periodo 2020-I																								
Actividades	**Enero**				**Febrero**				**Marzo**				**Abril**				**Mayo**				**Junio**			
	S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**
Revisión bibliográfica																								
Enfocar el tema de investigación																								
Ajustar marco referencial																								
Ajustar marco metodológico																								
Definición de actividades por objetivos																								
Construcción de matriz metodológica																								
Tutorías																								
Obtención de software																								
Búsqueda de mapas, fotografías aéreas																								
Construcción del resultado objetivo 1																								
Selección variables de importancia para la degradación ambiental																								
Revisar variables en retrospectiva																								
Fotointerpretación de imágenes satelitales/análisis RGB por bandas																								
Espacialización de los resultados obtenidos por fotointerpretación																								
Construcción del resultado objetivo 2																								
Priorización de variables y factores amenazantes																								
Identificar fuentes de peligro y factores amenazantes																								
Revisión de situaciones de riesgo descritas en el PMGRD de Fusagasugá																								

Cronograma de trabajo para el periodo 2020-II																		
Actividades	**Julio**				**Agosto**				**Septiembre**				**Octubre**				**Noviembre**	
	S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**
Construcción del resultado objetivo 2																		
Determinación de la vulnerabilidad																		
Determinación del impacto (amenaza)																		
Determinación y espacialización del nivel del riesgo																		
Construcción del resultado objetivo 3																		
Búsqueda de los puntos de interconexión																		
Espacialización y análisis de la unión de las dos variables																		
Discusión y análisis de resultados																		
Conclusiones y recomendaciones																		
Construcción de resumen, abstract e introducción																		
Revisión total del documento																		
Corrección del documento																		

Fuente: Autores, 2020.

8. Resultados

8.1 Resultados del objetivo específico 1
Reconocer la retrospectiva ambiental del territorio enfocado en la degradación ambiental.

A continuación, se muestran los resultados de la revisión bibliográfica contemplada en el marco conceptual con respecto a la selección de las variables de importancia en la degradación ambiental de forma general, según las expone Zurrita et al. (2015):

- Uso del suelo
- Vegetación
- Cuerpos hídricos (drenajes)
- Infraestructura y urbanización
- Distribución y crecimiento poblacional
- Transporte
- Erosión
- Ganadería
- Agricultura
- Deforestación
- Pobreza
- Contaminación atmosférica

Todas las variables anteriores se encuentran relacionadas con el territorio ubicado en el área de estudio, pues son zonas donde existe presencia de alta vegetación por estar cercana al cerro, y que, por eso, se derivan otras variables como la deforestación y la erosión. También, la infraestructura y urbanización están ligadas a la llegada de personas a estas zonas que buscan un asentamiento, afectando la vocación y uso del suelo en el territorio, junto con una expansión de distribución, crecimiento poblacional y actividades económicas tales como la agricultura y la ganadería.

El Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Fusagasugá (2019), presenta varios eventos de riesgo que, en el transcurso del tiempo, se han registrado en el municipio, sin embargo, a continuación, sólo se listan aquellos que impactan al proyecto. Estos son:

- Incendio estructural
- Colapso estructural
- Incendio forestal
- Inundación
- Avenida torrencial
- Deslizamiento
- Creciente súbita
- Vendaval

Para priorizar las variables de la degradación ambiental que se van a usar para alcanzar el resultado del objetivo 1, se realizó una matriz de priorización con respecto a los eventos de riesgo que se presentan en el municipio. Esta matriz se calificó con respecto a los parámetros establecidos en la tabla 2, según la relevancia y magnitud que aplica en la zona de estudio.

A continuación, se muestra el resultado de la matriz. Las variables con mayor relevancia son vegetación junto con infraestructura y urbanización, que fueron aquellas con una puntuación mayor a 10, indicando que son las variables más importantes para evaluar en retrospectiva la degradación ambiental en la zona de estudio. Los cuerpos hídricos, la erosión y la deforestación son variables que pueden derivarse de aquellas priorizadas, por lo que son valiosas para el análisis y la interpretación de las imágenes satelitales.

Tabla 8. *Matriz de priorización de factores amenazantes.*

	Eventos de riesgo ocurridos en el municipio								
Variables de la degradación ambiental	**Incendio Estructural**	**Colapso estructural**	**Incendio forestal**	**Inundación**	**Avenida Torrencial**	**Deslizamiento**	**Creciente Súbita**	**Vendaval**	**Total**
Uso del suelo	0	1	1	2	2	3	1	0	10
Vegetación	1	0	3	1	2	2	2	0	11
Cuerpos hídricos	0	1	0	3	1	1	3	0	9
Infraestructura y urbanización	2	2	0	2	2	3	1	0	12
Distribución y crecimiento poblacional	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transporte	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erosión	0	2	0	2	2	3	1	0	10
Ganadería	0	0	0	0	0	2	0	0	2
Agricultura	0	0	1	1	1	1	0	0	4
Deforestación	0	0	2	1	1	3	1	2	10
Pobreza	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Contaminación atmosférica	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores, 2020.

Así, se resumieron los resultados de la matriz de priorización con respecto a las variables ambientales y a los eventos de riesgo que se encuentran en el municipio. Esta matriz sirvió también como insumo para llegar al resultado del objetivo 2.

Tabla 9. *Variables priorizadas para la degradación ambiental.*

Variables generales de la degradación ambiental	Variables aplicadas al proyecto	Variables priorizadas
Uso del suelo	Uso del suelo	Vegetación
Vegetación	Vegetación	Infraestructura y urbanización
Cuerpos hídricos (drenajes)	Cuerpos hídricos	
Infraestructura y urbanización	Infraestructura y urbanización	
Distribución y crecimiento poblacional	Erosión	
Transporte	Deforestación	
Erosión		
Ganadería		
Agricultura		
Deforestación		
Pobreza		
Contaminación atmosférica		

Fuente: Autores, 2020.

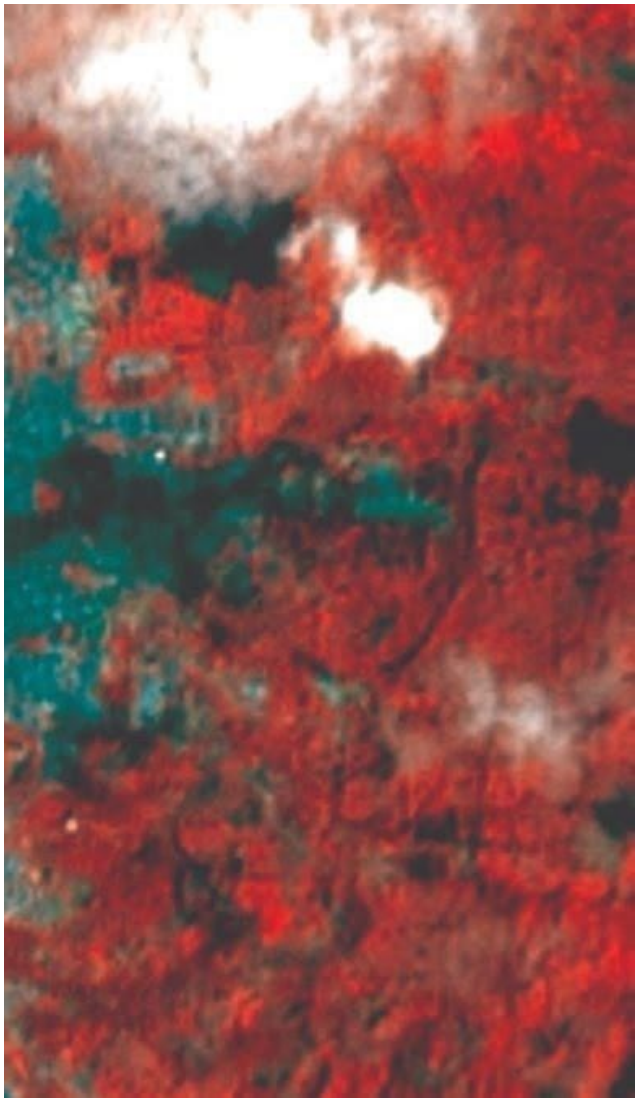
A partir de los resultados obtenidos en la matriz de priorización, se obtuvieron 2 imágenes satelitales por periodo de tiempo correspondiente a los años 2000 (obtenida por el satélite Landsat 7) y 2020 (obtenida por el satélite Sentinel 2), descargadas del software en línea LandViewer y recortadas para adaptarlas a la dimensión de la zona de estudio como se observa en la Tabla 10. Posterior al procesamiento de las imágenes satelitales en color verdadero, se aplicaron los principios de teledetección, es decir, se usan diferentes combinaciones de bandas para identificar las variables de importancia y así, los cambios en la vegetación de la zona y urbanización; esta información se encuentra expresada en la Tabla 11 y 12.

Tabla 10. *Imágenes satelitales base.*

LANDSAT 7 - 2000	**SENTINEL 2 - 2020**

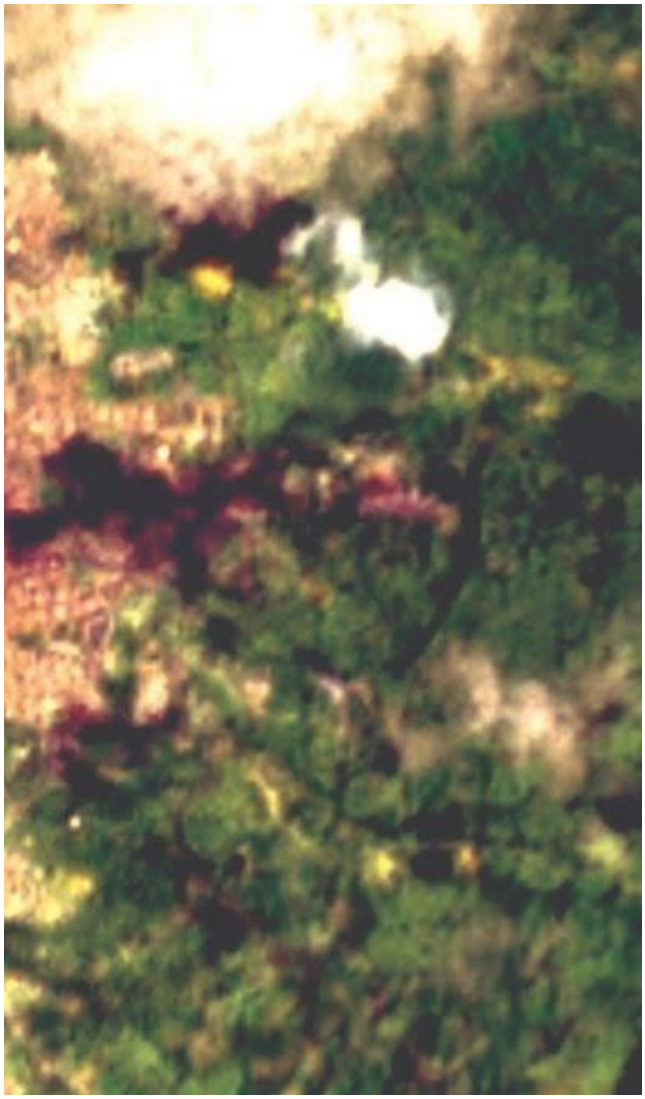
Nota: A la izquierda banda 321 y a la derecha bandas 4-3-2. Fuente: Autores, 2020.

Tabla 11. *Variable vegetación en las imágenes satelitales.*

LANDSAT 7 - 2000	**SENTINEL 2 - 2020**
	

Nota: A la izquierda banda 4 3 2 y a la derecha bandas 8-4-2. Fuente: Autores, 2020.

Tabla 12. *Variable urbana en las imágenes satelitales*

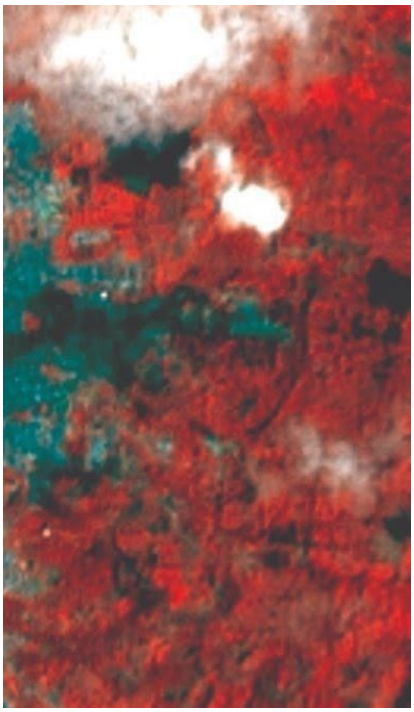
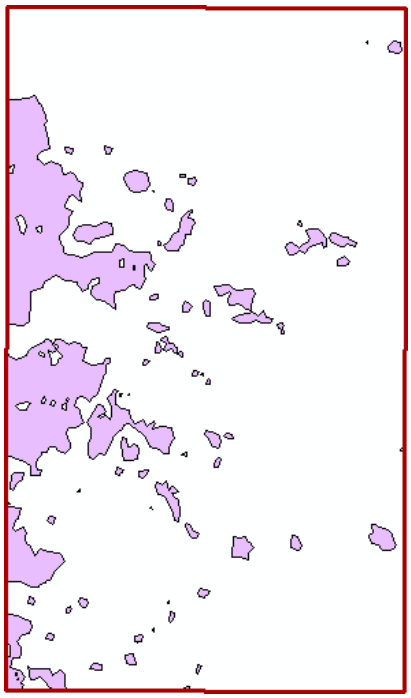
LANDSAT 7 - 2000	SENTINEL 2 - 2020
	

Nota: A la izquierda banda 573 y a la derecha bandas 12-11-04. Fuente: Autores, 2020.

A partir de las imágenes satelitales con las combinaciones de bandas que permiten ver de forma precisa las variables priorizadas vegetación y urbanización, se montaron en el software ArcMap 10.8 para completar el análisis espacial sobre la retrospectiva de la degradación ambiental en la zona de estudio.

Para ambas imágenes del año 2000 y 2020, se pasó del formato ráster al formato vector para obtener datos cuantitativos sobre el porcentaje de territorio modificado y su visualización. En la Tabla 13 y 14, se presenta una comparación entre las imágenes satelitales con la poligonización de las zonas urbanizadas para ambos periodos de tiempo:

Tabla 13. *Digitalización de unidades urbanas en las fotografías para el año 2000 en la herramienta ArcMap.*

LANDSAT 7 - 2000: Variable urbana	**LANDSAT 7 - 2000: Variable vegetación**	**Variables urbano y vegetación en formato vector**
		

Fuente: Imágenes LANDSAT tomadas de LandViewer, y Autores, 2020.

Tabla 14. *Digitalización de unidades urbanas en las fotografías para el año 2020 en la herramienta ArcMap.*

SENTINEL 2 - 2020: Variable urbana	SENTINEL 2 - 2020: Variable vegetación	Variables urbano y vegetación en formato vector

Fuente: Imágenes SENTINEL tomadas de LandViewer, y Autores, 2020.

Teniendo las dos capas vector con las zonas urbanizables que han modificado el territorio en modo de polígono, se procedió a hacer uso de una de las herramientas de geoprocesamiento que incluye ArcMap 10.8 que es la diferencia geométrica. A continuación, se presenta el resultado de la degradación ambiental con respecto a las variables vegetación y urbano entre los años 2000 y 2020 en la zona de estudio, como se puede ver en la Figura 12:

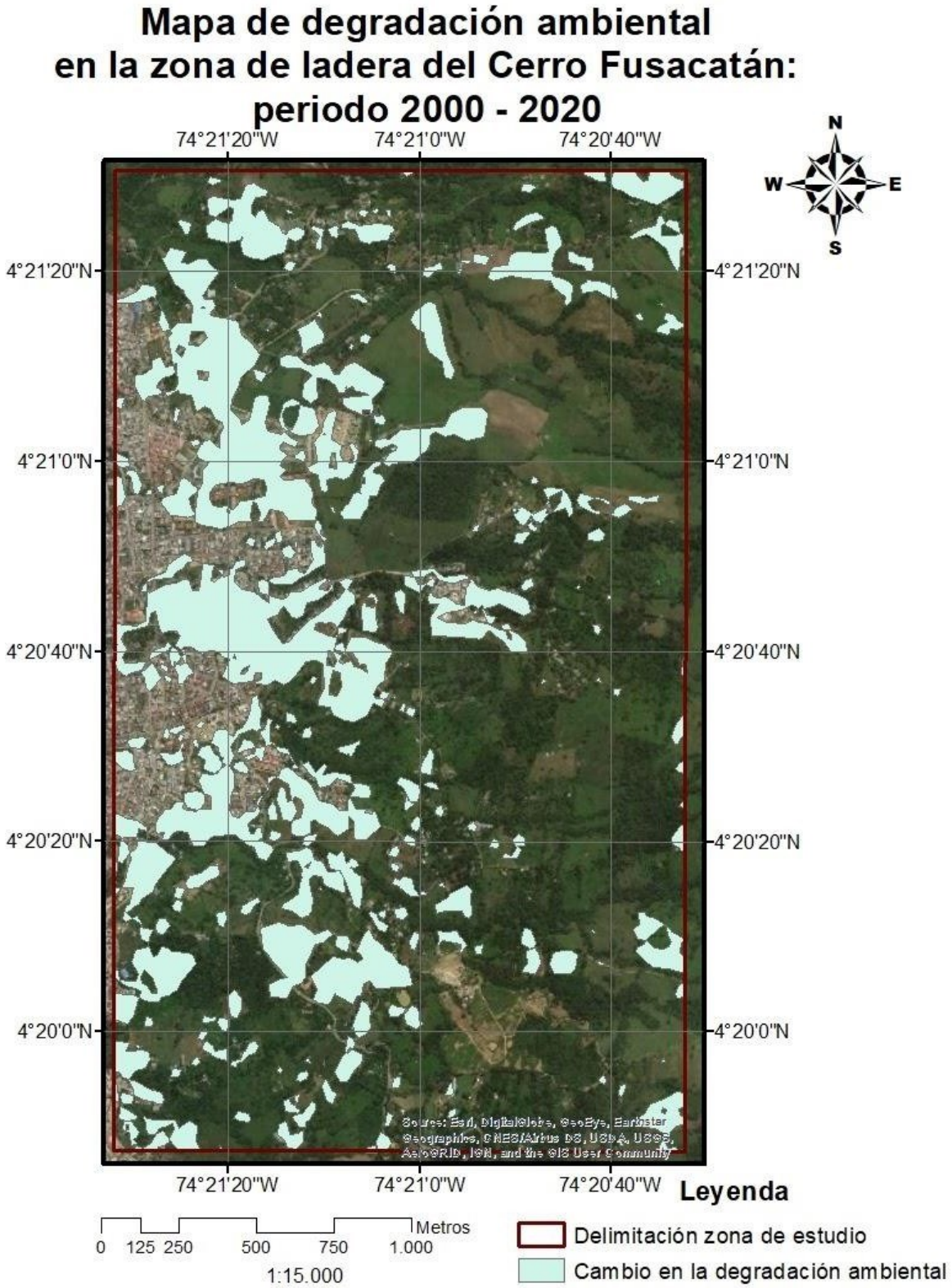


Figura 12. *Degradación ambiental de la zona de estudio en retrospectiva para los periodos 2000 - 2020.* Fuente: Autores, 2020.

8.2 Resultados del objetivo específico 2:
Establecer el nivel de riesgo asociado en las zonas urbanizables.

Para identificar los factores amenazantes de importancia para el proyecto, se tiene la Tabla 15, que muestra la priorización de estos evaluados según las variables consideradas. Se califica según la tabla 2.

Tabla 15. *Matriz de priorización de factores amenazantes.*

	Factores amenazantes en el municipio							
Variables de la degradación ambiental	Incendio Estructural	Colapso estructural	Incendio forestal	Inundación	Avenida Torrencial	Deslizamiento	Creciente Súbita	Vendaval
Uso del suelo	0	1	1	2	2	3	1	0
Vegetación	1	0	3	1	2	2	2	0
Cuerpos hídricos	0	1	0	3	1	1	3	0
Infraestructura y urbanización	2	2	0	2	2	3	1	0
Distribución y crecimiento poblacional	0	0	0	0	0	0	0	0
Transporte	0	0	0	0	0	0	0	0
Erosión	0	2	0	2	2	3	1	0
Ganadería	0	0	0	0	0	2	0	0
Agricultura	0	0	1	1	1	1	0	0
Deforestación	0	0	2	1	1	3	1	2
Pobreza	0	0	0	0	0	0	0	0
Contaminación atmosférica	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3	6	7	12	11	18	9	2

Fuente: Autores, 2020.

A partir de la Tabla 15, se tiene que los factores amenazantes de prioridad en la zona de estudio ubicada en la zona de ladera del Cerro Fusacatán son: deslizamiento, inundación y avenida torrencial. Considerando los elementos analizados del entorno ecológico y socioeconómico con base en las imágenes satelitales de las Tablas 13 y 14, se identificó el evento iniciador que fue fundamento de la evaluación del riesgo posterior desde un análisis cualitativo como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16. *Tabla para la identificación de principales fuentes de peligro.*

Causas		**Evento iniciador**
Ecológico	**Socioeconómico**	
Descripción del entorno ecológico	***Descripción del entorno socioeconómico***	***Descripción del evento iniciador para cada entorno***
Con la expansión del área urbana, se ha observado un decaimiento en el estado de la vegetación. Para un análisis de imágenes infrarrojas como la que se presentó con anterioridad, y teniendo en cuenta lo aprendido en las clases de la universidad, se tiene que entre más fuerte sea el rojo, la cobertura vegetal tendrá un estado más saludable.	El municipio ha crecido de forma importante de modo que las actividades que dan fuerza al desarrollo socioeconómico aumentan en número y en productividad. Este tipo de actividades hacen que el municipio invierta en infraestructura y servicios que favorecen la calidad de vida de la comunidad cumpliendo con las necesidades que se presenten en el tiempo.	Con la presión del crecimiento urbano, el evento con mayor probabilidad de ocurrencia es de deslizamientos, esto teniendo en cuenta la matriz de priorización realizada con anterioridad. La construcción en lugares degradados se enlaza con los factores amenazantes presentados en el municipio.

Fuente: Autores, 2020.

Teniendo en cuenta la información anterior, se evalúa el evento iniciador y cómo éste da lugar a los diferentes factores amenazantes previamente priorizados, caracterizándoles desde la tipología de peligro que presentan, sus causas y consecuencias, como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. *Tabla para la formulación de factores amenazantes.*

Tipología del peligro			Evento o suceso iniciador	Factor amenazante	Causas	Consecuencias
Ubicación de la zona	**Natural**	**Antrópico**				
		X	Degradación ambiental del territorio (presión)	Deslizamiento	Modificación de la topografía, cobertura natural	Cambios en las características fisicoquímicas del suelo: Mayor infiltración, inestabilidad de taludes y erodabilidad.
Zona de ladera del Cerro Fusacatán, municipio de Fusagasugá Cundina – marca	X	X		Inundación	Aumento de precipitación, falta de capacidad hidráulica del sistema de alcantarillado, fuertes pendientes de microcuencas.	Aumento de caudal, desbordamiento de quebradas, flujo de agua en zonas de influencia
	X	X		Avenida torrencial	Condiciones topográficas altas, precipitaciones elevación considerable de los afluentes hídricos, deforestación generalizada.	Colmatación de agua, flujos concentrados de sedimentos y agua, afectación de viviendas

Fuente: Ministerio de Ambiente, Viceministerio de Gestión Ambiental y la Dirección General de la Calidad Ambiental de Perú, 2010; CMGRD, 2019; Autores, 2020.

Con las fuentes identificadas y los factores amenazantes evaluados, se aplicó la ecuación (2) para cada factor amenazante registrado en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Las situaciones expuestas permitieron el análisis de los antecedentes de cada evento registrado y las NCP fueron consideradas como las variables evaluadas puesto que el cambio de las mismas incrementa las posibilidades de peligro. Siendo así, se tiene que los eventos que se registran dentro del área de estudio son crecientes súbitas, avenidas torrenciales e inundaciones. Vale la pena mencionar que los deslizamientos, aunque son de gran importancia en el análisis de riesgo, el PMGRD no registra este tipo de evento en la zona de estudio por lo que no existen antecedentes que permitan el cálculo; de esta forma, el evento relacionado y encontrado en el área de interés, es creciente súbita, por lo que se realizan los cálculos con este evento.

- Inundaciones:

Gracias a la información obtenida en el PMGRD de Fusagasugá, y los valores presentados en la Figura 10, se tiene para este evento los antecedentes responden a un nivel improbable puesto que ocurrió un evento en los últimos 5 años, por lo que la variable tiene un valor de 2. Con la matriz de priorización, se observa que, de las 12 variables evaluadas, 7 aplican.

$$Probabilidad = (0{,}5 * 2) + [0{,}5 * \frac{7}{12} * 5]$$

Probabilidad = 2.46

El resultado se aproxima al valor más alto posible (3) por lo que se considera de carácter "posible" entendiendo que podría ocurrir en algún momento.

- Avenida Torrencial:

En el caso de este evento, la situación se registró en el 2014, haciendo que cumpla el criterio de probabilidad rara y dándole un valor de 1. Por parte de las variables o NCP, se observan 7 aplicadas.

$$Probabilidad = (0{,}5 * 1) + [0{,}5 * \frac{7}{12} * 5]$$

Probabilidad = 1.96

El nivel de probabilidad de este evento, responde al carácter "improbable" (2), lo que significa que puede ocurrir en algún momento, pero no se considera de alta probabilidad.

- Creciente súbita:

En este evento, se tienen dos situaciones en el área de estudio, una en 2008 y una en 2017. Por los criterios de probabilidad, se tiene que el valor de la frecuencia responde a una vez en los últimos 5 años, es decir, improbable. Las NCP por su parte, son 6.

$$Probabilidad = (0{,}5 * 2) + [0{,}5 * \frac{6}{12} * 5]$$

Probabilidad = 2.25

Las crecientes, responden a un mismo nivel que las avenidas torrenciales, es decir de carácter "improbable", entendiendo que podrían ocurrir en algún momento.

Con estos valores, se procede a calcular el impacto con la ecuación 3, considerando que cada situación implica una serie de consecuencias importantes que determinarán lo que la ecuación denomina impacto potencial, de esta forma, se tiene que:

- Inundaciones:

En este caso, la Figura 11, que establece descriptores de impacto, permite interpretar cómo sería que estos eventos ocurrieran. Para las inundaciones, el que ocurran resulta de un impacto mayor (10) puesto que afecta de forma directa la calidad de vida de los habitantes, sus actividades económicas y el entorno natural contaminando el espacio con residuos de construcción. Las NCI, por su parte, son 4 puesto que calificaron 2 y 3.

$$Impacto = (0{,}5 * 10) + [0{,}5 * \frac{4}{12} * 20]$$

Impacto = 8.333

- Avenida Torrencial:

Este evento, es de carácter catastrófico (20) puesto que afecta de forma amplia a los habitantes de la zona, desde su calidad de vida hasta construcciones de alta importancia como lo son escuelas o vías principales o secundarias; afecta las actividades económicas de la población y usualmente requiere atención de todos los cuerpos de emergencia. Para las NCI, por su parte, se tienen 4.

$$Impacto = (0{,}5 * 20) + [0{,}5 * \frac{4}{12} * 20]$$

Impacto = 13.333

- Creciente súbita:

La ocurrencia de este evento representa un impacto mayor (10) puesto que afecta la calidad de vida de los habitantes de la zona, afectando vías, viviendas y contaminando la zona con residuos de construcción. Las NCI del evento dan un total de 2.

$$Impacto = (0{,}5 * 10) + [0{,}5 * \frac{2}{12} * 20]$$

Impacto = 6.67

De esta forma, se tiene la ecuación 1, y para cada evento el riesgo responde a:

- Inundaciones:

$$Riesgo = 2.458 * 8.333$$
$$Riesgo = 20.48$$

- Avenida torrencial:

$Riesgo = 1.958 * 13.333$
$Riesgo = 26.11$

- Creciente súbita:

$Riesgo = 2.25 * 6.667$
$Riesgo = 15.00$

El resultado de la espacialización de los niveles de riesgo con su respectiva descripción, se encuentra plasmado en la Figura 13. Para realizar este mapa, se partió de la ubicación geográfica que el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Fusagasugá proporciona para cada situación de riesgo (avenida torrencial, creciente súbita e inundación), además de la información sobre población y barrios afectados.

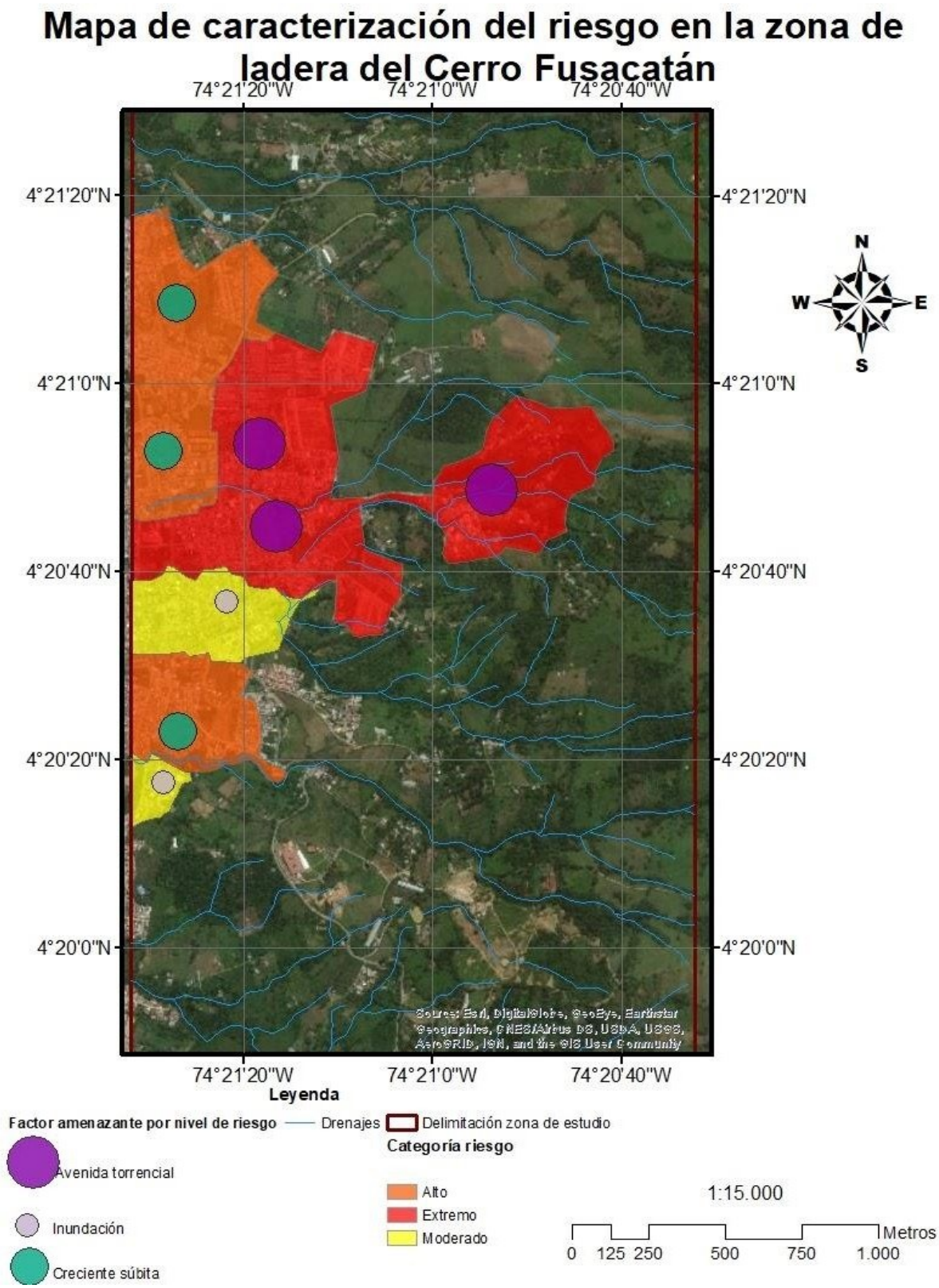


Figura 13. *Caracterización del riesgo por factores amenazantes sobre áreas urbanizadas en la zona de ladera del Cerro Fusacatán.* Fuente: Autores, 2020.

8.3 Resultados del objetivo específico 3

Interpretar los puntos de conexión entre degradación del ecosistema del Cerro Fusacatán y el desarrollo urbano.

A partir del estudio de la degradación ambiental en la zona de ladera del Cerro Fusacatán en Fusagasugá, el análisis de variables de imágenes satelitales en un periodo de tiempo de 20 años, y el análisis de riesgo enmarcado hacia eventos que han ocurrido en el pasado, se analizó por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente con la herramienta de geoprocesamiento "intersecar", los puntos de interconexión entre estos elementos, dan como resultado la representación gráfica de aquellas zonas urbanizables que por efectos de degradación ambiental y fenómenos de riesgo plasmados en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, que aplican a la zona de estudio, como se ve en la Figura 14.

Existen varios puntos de interconexión que no sólo hacen referencia a responder el objetivo general de la investigación, sobre la relación entre la degradación ambiental con las zonas urbanizables enmarcado en un análisis de riesgo; sino también de algunas otras variables como la conexión que la zona tiene con el paso de varios drenajes o, si se compara con el Plan de Ordenamiento Territorial de Fusagasugá vigente del año 2001, se puede observar que puede haber una desigualdad social con respecto a otras personas que residan en zonas más seguras en el municipio, siendo así una evidencia de que el desarrollo que se viene dando en la zona, está ligada a indebidas prácticas de uso del suelo y de la pérdida de espacio rural por vacíos que se encuentran en el POT.

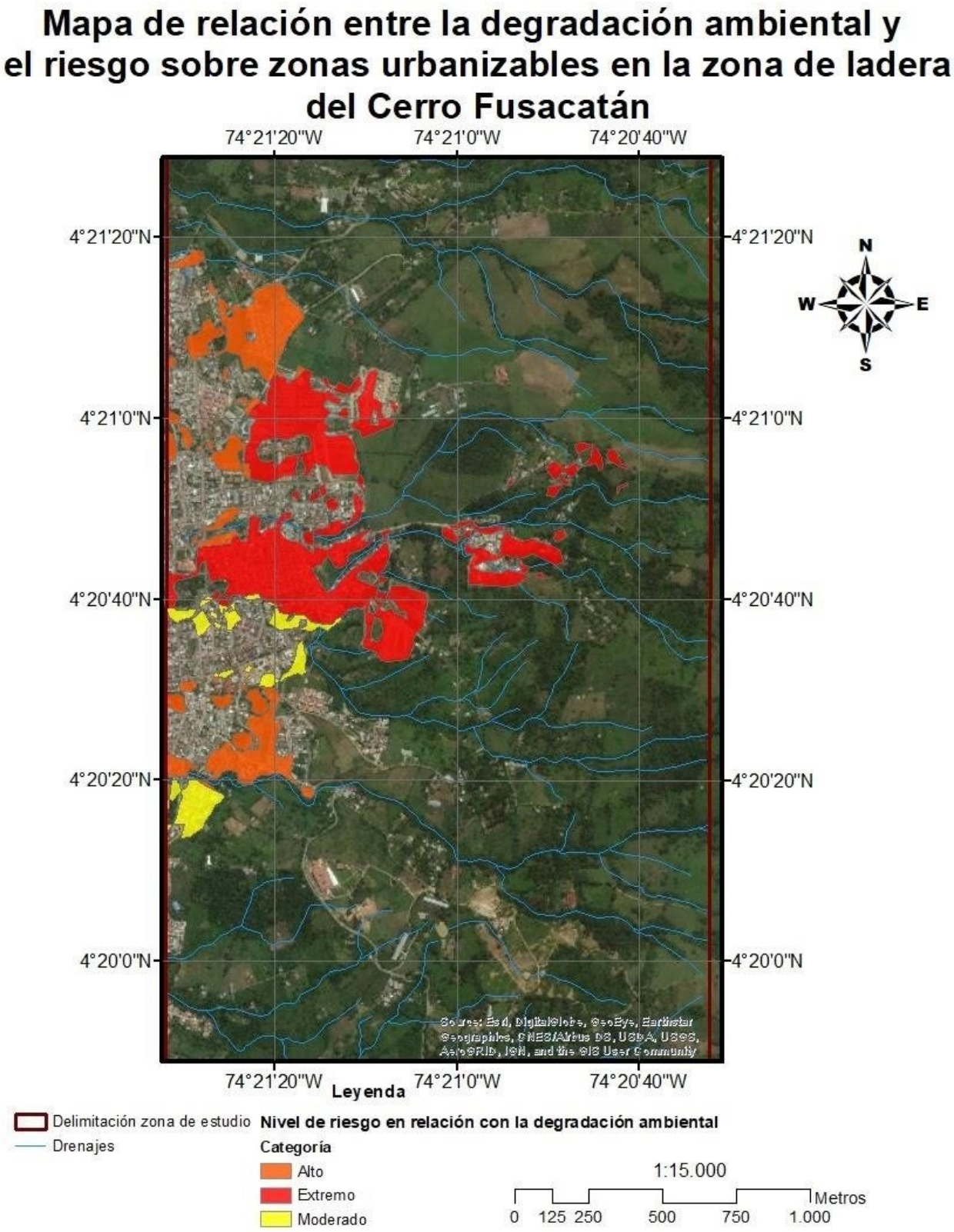


Figura 14. *Relación entre degradación ambiental y riesgo sobre zonas urbanizables.* Fuente: Autores, 2020.

9. Análisis y discusión de resultados

La relación entre elementos requiere de por lo menos dos variables, en este caso son la degradación ambiental en retrospectiva sobre el periodo de tiempo entre el año 2000 y 2020, junto con las zonas urbanizables desde un análisis de riesgo que incluye una clasificación por nivel y una atribución de categoría. Partiendo de esta premisa, es necesario analizar primero cómo ha sido la degradación ambiental en 20 años sobre la zona de ladera del Cerro Fusacatán, ubicado en Fusagasugá, Cundinamarca.

Como lo expresa Zurrita et al., 2015, la degradación ambiental puede darse por múltiples factores, y es por eso que desde la revisión bibliográfica que se llevó a cabo en el marco de referencia, algunos de éstos son los cambios de uso del suelo, vegetación, deforestación, erosión, entre otros; de esta forma, la priorización toma fuerza en los dos primeros objetivos del proyecto; por ejemplo, un componente natural como el tipo de vegetación se puede ver afectado por una presión humana respecto al uso de suelo que se dé en el territorio, presentando cambios de gran importancia.

Teniendo en cuenta las situaciones de riesgo que han sido registradas en el PMGRD del municipio de Fusagasugá en los últimos años, se utilizaron las diferentes variables mencionadas para evaluar la zona de estudio, logrando una priorización de aquellas de mayor importancia en relación a los eventos de desastre ocurridos en el municipio. Así, se obtienen resultados frente a las variables "vegetación" y "urbanización" junto con infraestructura, demostrando con esta información que la afectación en la vegetación y las presiones causadas por el desarrollo urbano, son los mayores causantes de degradación en el municipio.

Siendo así, las imágenes presentadas en las tablas 13 y 14, que son producto de un análisis de imágenes satelitales por metodología de bandas RGB, demuestran la forma en que la zona urbana del municipio se ha expandido a través de los años, llegando a las zonas de ladera del Cerro Fusacatán. A partir de esto, es posible observar también que los colores de la foto del año 2000 bajo un espectro infrarrojo son mucho más fuertes que las tomadas en el siguiente periodo, lo que prueba que la urbanización que se extendió, generó una afectación directa en el estado del ecosistema de ladera. Adicionalmente, esto se relaciona con otras variables como erosión y uso de suelo, puesto que, con los colores de las imágenes, es posible identificar que la vegetación ha perdido densidad o está menos desarrollada gracias a la textura suave que se visualiza en la fotografía y los colores en un marco infrarojo. La variable urbana, por su parte, demuestra de forma clara cómo el casco urbano se extiende conforme el tiempo pasa, aun viéndose rodeada por extensiones de vegetación propias del cerro Fusacatán. Lo anterior, se observa también en el mapa resultante del trabajo en ArcMap, donde se presentan los principales cambios que ha tenido la zona de estudio en el tiempo establecido, con respecto a una degradación ambiental.

Desde un enfoque más cuantitativo, ArcMap permite visualizar las estadísticas respectivas a los atributos que contenga la capa. Aprovechando que se trabaja sobre un sistema de coordenadas proyectado (Magna Sirgas - Bogotá), se pueden realizar diferentes cálculos geométricos sobre los polígonos de la capa "Cambio en la degradación ambiental", que representa en retrospectiva estos cambios sobre los años 2000 y 2020, por ejemplo, área y longitud (Figura 15). De esta forma, se puede conocer el área que representa cada polígono y el área total respectiva a degradación ambiental, que corresponde a aproximadamente 232,57 hectáreas, comparándolo con el área total de la zona de estudio.

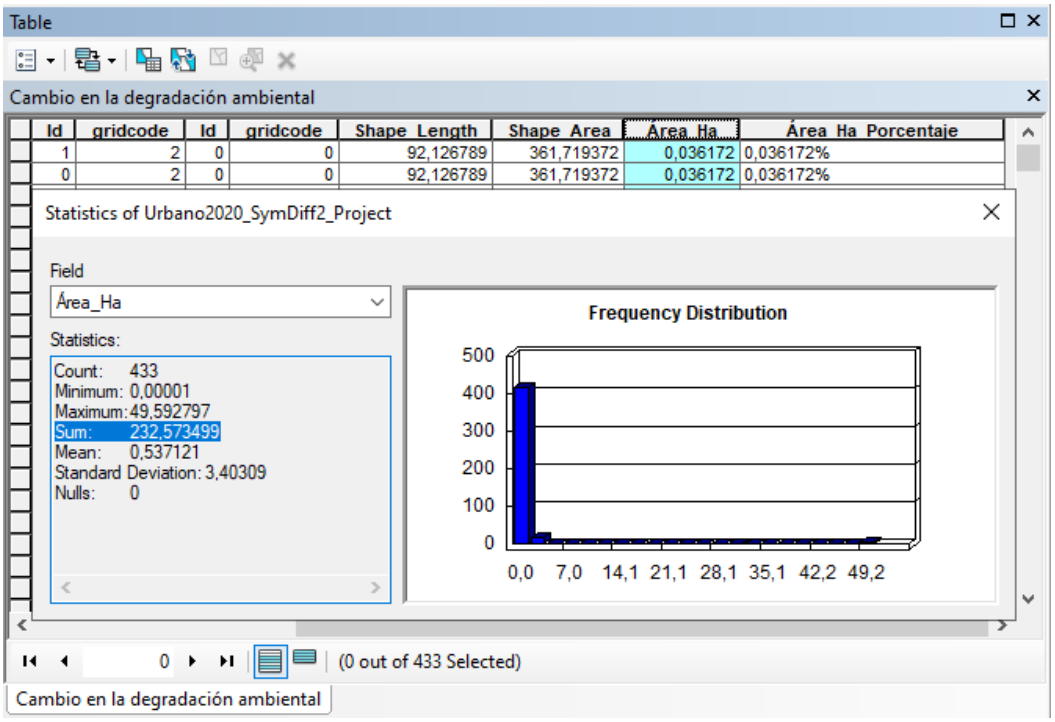


Figura 15. *Tabla de atributos del cambio en la degradación ambiental entre los años 2000 y 2020: área de zonas degradadas.* Fuente: Autores, 2020.

Esto quiere decir que, los datos cuantitativos más allá de un análisis espacial indican que menos de la mitad de la zona de ladera del Cerro Fusacatán se ve afectado por la pérdida de vegetación y alta urbanización que conllevan a degradar el ecosistema y a generar con mayor probabilidad catástrofes naturales que se ven potenciadas por el componente antrópico, información que se demuestra en la Tabla 18.

Tabla 18. *Recopilación de datos espaciales respectivos a la degradación ambiental en el Cerro Fusacatán.*

Nombre de la capa	Área en hectáreas	Porcentaje que representa
Delimitación zona de estudio	583,699	100%
Cambio en la degradación ambiental	232,573	39,844%

Fuente: Autores, 2020.

Este tipo de investigaciones que incluyen la fotointerpretación con los sistemas de información geográfica son comunes en temas de ingeniería y el ordenamiento del territorio. Por ejemplo, Giacoia (2018) demuestra que, gracias a la teledetección y el uso de fotografías satelitales, se obtienen indicadores de vegetación y temperatura que son una herramienta para analizar la calidad ambiental en una ciudad. De esta forma, su estudio se realizó en la ciudad de Cali en Colombia y demostró que en barrios con un mayor índice de calidad ambiental (ICA) encontrado desde un análisis multivariado provenientes de imágenes satelitales Landsat ETM+, el área construida se mantenía en menores proporciones, deduciendo así el incremento de la urbanización en la ciudad.

A nivel internacional, Monteiro & Tabares (2015), usan estas herramientas para encontrar la influencia de un marco de planeación con trayectorias del uso del suelo. Si bien las variables a usar son diferentes (en la actual investigación se usan las variables vegetación y urbano), el método es el mismo. Como resultado del primer objetivo se encuentra que gracias a los métodos de fotointerpretación y la acción de espacialización de la información, se obtiene de forma visual el cambio de la degradación ambiental a lo largo del tiempo; y de forma similar sucede entre la relación de un marco de planeación con el uso del suelo en el resultado de Monteiro & Tabares, donde en la cartografía referente a los últimos años, los suelos arables y cultivos iban disminuyendo al mismo tiempo que las industrias, unidades comerciales y carreteras aumentaban en pequeñas y medianas ciudades.

Existen muchas aplicaciones en el área de la ingeniería para el uso de imágenes satelitales y muchas variables que se pueden manejar. Tal como se evidenció en las anteriores investigaciones por diferentes autores, el uso de imágenes satelitales, la teledetección y una combinación de variables, siempre da como resultado investigativo una relación que puede tratarse a nivel ambiental como insumo a la creación de propuestas a nivel territorial.

A partir de un análisis multitemporal sobre la degradación ambiental en el Cerro Fusacatán, se pueden usar las mismas variables establecidas anteriormente, que permiten identificar qué eventos tienen mayor posibilidad de ocurrencia cuando éstas se modifican, lo que afecta de forma directa el resultado final de riesgo según el evento analizado, situación que se observa en las figuras 14 y 15. En este caso, se tiene que los deslizamientos, inundaciones y avenidas torrenciales, son los eventos de mayor posibilidad de ocurrencia cuando se manipulan variables como el uso del suelo o los mismos procesos erosivos.

Teniendo en cuenta lo anterior, estas modificaciones, responden de forma activa al desarrollo municipal que, buscando satisfacer las necesidades de una comunidad en crecimiento, se extiende generando presiones en el terreno que pueden afectar el comportamiento natural del ecosistema. Así mismo lo concluye Silva Rodríguez (2019), quien menciona que la pérdida del territorio rural se ve afectado por la urbanización desmedida, arrasada por la vulneración y transformación del entorno natural desde una irreversible y amenazante disminución de los recursos naturales y ecosistemas, especialmente en la modificación de cauces y laderas.

Sin embargo, en ocasiones son las mismas necesidades humanas las que implican una expansión no planeada que puede considerarse sub-urbana, especialmente en los terrenos del cerro, causando presiones en el suelo y en los drenajes que bajan del sistema montañoso, aumentando la posibilidad de que el mal manejo de las aguas, sature el terreno y desencadene eventos de riesgo importantes, en los que el impacto de los mismos tendrán una mayor fuerza en el cálculo final. Considerando lo anterior, es posible identificar las situaciones en el PMGRD de Fusagasugá que se han dado en el área de estudio, para identificar sus niveles de riesgo tal y como se muestra en el apartado anterior.

Teniendo en cuenta los datos y análisis de la degradación ambiental y el nivel de riesgo en zonas urbanas, se pueden confrontar ambas variables para estudiar qué tanta relación conlleva a partir de todos sus puntos de interconexión. Como se observa en la figura 13, gran parte del territorio urbano de la zona de ladera del Cerro Fusacatán se encuentra bajo un nivel de riesgo considerable, pero al analizar el mapa final (figura 14), se observa que muchas zonas que han sido degradadas a lo largo del tiempo, se conectan

e intersecan con zonas que son de alto riesgo con respecto a fenómenos naturales como las crecientes súbitas, inundaciones y avenidas torrenciales.

Para obtener un análisis cuantitativo similar al realizado para la degradación ambiental, se efectúa la misma herramienta que ArcMap permite usar para calcular la geometría de los atributos que presenta la capa "Nivel de riesgo en relación con la degradación ambiental" (Figura 16). Para este caso, la suma total es de 53,46 hectáreas que guardan la relación degradación ambiental - riesgo que es objeto de la investigación, donde gran parte de estas zonas se encuentran en riesgo alto y extremo, a comparación de las zonas con riesgo moderado.

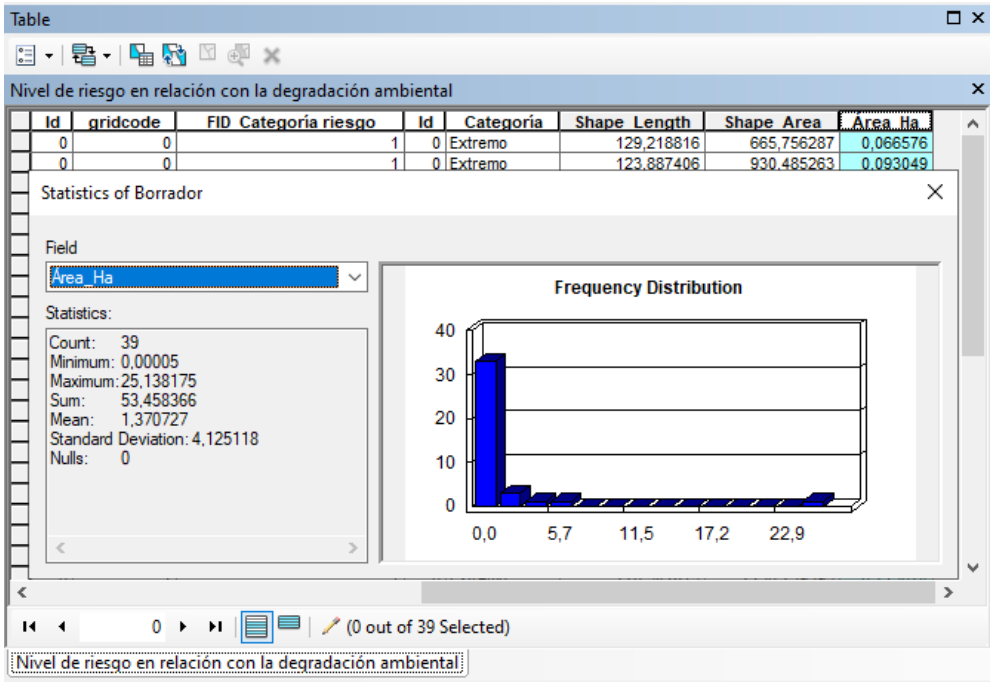


Figura 16. *Tabla de atributos del nivel de riesgo en relación a la degradación ambiental: área de zonas en riesgo y degradadas en el tiempo.* Fuente: Autores, 2020.

A pesar de que, como se muestra en la Tabla 19, el porcentaje de la relación es muy bajo (9,158%) con respecto a la zona de estudio completa, hay que tener en cuenta que este producto final aplica para las zonas urbanizables que se ubican sobre la zona de ladera, cobrando así mayor relevancia e importancia hacia la población vulnerable en términos sociales y económicos que habita en la zona, con respecto a los factores amenazantes que se analizaron previamente, pues la zona urbana corresponde a una proporción menor que la parte rural. Esto quiere decir que, la población que ocupa las 53,46 hectáreas que se encuentran en riesgo y que además provienen de consecuencias ambientales relacionadas a la degradación del ecosistema en un periodo de 20 años, se toma como una porción importante de la zona urbana donde hay que tomar las medidas correspondientes para minimizar las afectaciones.

Tabla 19. *Recopilación de datos espaciales respectivos a la degradación ambiental en relación con el nivel de riesgo en zonas urbanizables sobre el Cerro Fusacatán.*

Nombre de la capa	Área en hectáreas	Porcentaje (respecto a la zona de estudio)
Delimitación zona de estudio	583,699	100%
Nivel de riesgo en relación con la degradación ambiental	53,458	9,158%
Niveles de riesgo		
Extremo	32,445	5,558%
Alto	15,987	2,739%
Moderado	5,026	0,861%

Fuente: Autores, 2020.

Tal como se menciona en el marco de referencia, existen muchos estudios referentes desde el nivel local/municipal, hasta de magnitud internacional, mencionando que los resultados encontrados entre eventos de riesgo pueden tratarse como material para la creación de Planes de Ordenamiento Territorial. La fortaleza de este trabajo con respecto a los estudios municipales que se encuentran plasmados en el PMGRD de Fusagasugá, es que se contempla el componente ambiental desde la perspectiva de la degradación ambiental para la parte ecológica; y desde la perspectiva ingenieril del riesgo abarca un componente cuantitativo relacionado con el componente social desde una geografía humana y las zonas donde se ubican, que por temas de vulnerabilidad y amenaza pueden verse afectadas en el componente económico.

10. Conclusiones

La forma en que el casco urbano se ha extendido, ha generado una afectación directa en el ecosistema de ladera del Cerro Fusacatán que ha involucrado procesos de degradación ambiental especialmente presentes en la vegetación de la zona; con esta afectación ecosistémica, es también claro que los riesgos ambientales son de mayor probabilidad puesto que las presiones generadas por la comunidad afectan la cobertura vegetal, modifican los usos del suelo, y los drenajes tienen mayor posibilidad de desbordamiento por los proyectos de infraestructura que empiezan a tomarse el lugar. Estas situaciones, y especialmente aquellas que han sido registradas como lo suficientemente peligrosas, involucran componentes de cuidado que deben analizarse para no poner en riesgo la calidad de vida de los habitantes del municipio.

Fusagasugá se ha caracterizado por crecer en el tiempo de forma importante para conseguir la satisfacción de las necesidades de sus habitantes, pero la evaluación del riesgo en conjunto con los existentes planes normativos, demuestran que la gestión de riesgo debe estar arraigada a sus instrumentos de planificación con más fuerza, para evitar que la satisfacción de necesidades se convierta en un espacio sub-urbano con las condiciones adecuadas para afectar el desarrollo de las comunidades. La metodología propuesta permite evaluar por partes los elementos del sistema entendiendo cómo ha funcionado en el tiempo y cómo los eventos ocurridos en el pasado tienen la posibilidad de ser referentes para nuevas situaciones que deben evaluarse, puesto que los resultados demuestran que mientras más se acercan al cerro, el riesgo es mucho más fuerte. Sin embargo, la información debe ser complementada con los diferentes estudios de riesgo que acompañan cada proyecto de infraestructura, puesto que estos contienen información importante del terreno de intervención y que pueden modificar las variables de las ecuaciones de impacto y probabilidad, afectando el nivel de riesgo reportado.

Esta investigación puede considerarse un aporte al actual PMGRD de Fusagasugá y fortalecer el entendimiento de lo que las obras de infraestructura sub-urbanas pueden causar en un ecosistema. La finalidad de la gestión del riesgo, como complemento al ordenamiento territorial, es específicamente evaluar las diferentes variables resultantes de un desastre, y prevenir el mismo de forma que las comunidades no se vean afectadas de forma irreparable, es por esto que conocer el comportamiento del territorio es fundamental y requiere insumos más fuertes que los registros de situaciones o eventos pasados.

11. Recomendaciones

Este tipo de investigaciones que tienen como lugar base un municipio tienen la gran ventaja que se puede trabajar en las debilidades u oportunidades de mejora que posea el lugar de estudio. Sin embargo, una desventaja es que la información base o el estado del arte que se requiere para empezar y comprender los inicios de la investigación, son los documentos municipales como planes de ordenamiento y planes de desarrollo, y para la presente investigación, el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres; que en muchos casos se encuentran desactualizados. De esta forma, se recomiendan las siguientes disposiciones:

- Este tipo de situaciones representan un reto para encontrar una oportunidad de trabajo para el ingeniero ambiental, y ayuda a fortalecer la creatividad del profesional para crear soluciones. En la presente investigación, se partió desde el conocimiento y la curiosidad del por qué han ocurrido las diferentes situaciones de riesgo en el municipio de Fusagasugá, donde a partir de las ciencias básicas de ingeniería como la fotointerpretación y los sistemas de información geográfica, se realiza un análisis desde los componentes ecológico, económico, legal y social que el ingeniero ambiental debe percibir en cualquier ámbito. En este caso, el componente ecológico se analiza desde la perspectiva de fotointerpretación junto con el análisis de riesgo, que compete en lo social y económico al afectarlos en dado caso que su integridad quede afectada. Sin embargo, tener en cuenta elementos propios de visitas de campo respecto a sistemas ambientales o aspectos propios de la ecología, análisis de laboratorio, entre otros, harían de la investigación un insumo más rigoroso para propuestas ingenieriles.
- Debido a las limitaciones causadas por la pandemia por COVID-19, es de alta importancia para futuras investigaciones, que los resultados que se obtengan por sistemas de información geográfica y revisión bibliográfica, puedan ser verificados en campo mediante visitas técnicas a las autoridades competentes y comunidades, especialmente cuando los documentos públicos se encuentran en proceso de actualización o desactualizados.

Es por esto, que la tarea del ingeniero ambiental radica en apoyar aquellos instrumentos de planificación como el Plan de Ordenamiento Territorial para fomentar la calidad de vida de los ciudadanos en la zona de estudio, brindando una herramienta más para la planificación ambiental de la zona de ladera. De esta forma, se facilita el análisis holístico respecto a las oportunidades de investigación que permitan la consideración de elementos adicionales que aumenten los niveles de calidad ecosistémica y de vida.

Referencias.

Acuerdo No. 100-02.01 - 11 de 2016 [Concejo Municipal de Fusagasugá, Cundinamarca] Por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo económico, social, ambiental y de obras públicas "Juntos sí Podemos" Fusagasugá 2016-2019. 7 de junio de 2016.

AEC (2019) Matriz de Priorización. [online] Recuperado de: https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/matriz-de-priorizacion

Alcaldía de Fusagasugá. (2019). Estrategia de respuesta municipal. Recuperado de: http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Documents/EMRE%20-FUSA%202019.pdf

Alonso, G. J. (2013). Revisión del concepto de desarrollo local desde una perspectiva territorial. Líder: revista labor interdisciplinaria de desarrollo regional, (23), 9-28.

Álvarez, N. (2013), Retrospectiva y reflexiones aproximadas acerca de la degradación del medio ambiente. *Revista dimensión Empresarial, 11(2*), 26-35.

Arcos Palma, O. (2008) *Teorías y Enfoques del Desarrollo*. Bogotá D.C.: Escuela Superior de Administración Pública

Aristizabal, E., & Hermelin, M. (2011). Propuesta de zonificación del suelo para la gestión del riesgo enfocada al ordenamiento territorial. *Gestión y Ambiente, 14(2)*, 7-16. Recuperado de: http://ezproxy.unbosque.edu.co:2048/login?url=https://search-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co/docview/1677587352?accountid=41311

Banco Mundial Colombia (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas.* (Pag. 37-40) Washington D.C: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial Región de América Latina y El Caribe

Bolay, J. C., & Taboada, V. (2011). Urbanización, medio ambiente y sociedad. Plural editores Cides-UMSA, Ciudades en Transformacion: Modos de Vida y Territorialidades (La Paz: Plural Editores, 2011).

Cárdenas-Pérez, R. E., Godoy-Uribe, G. M., & Figueroa-Gutiérrez, E. E. (2019). Imagen aérea como representación pictórica de la fotointerpretación topográfica de la provincia de Bíobío. *Pensamiento palabra y obra, (21)*, 124-141.

Cardona, O. (2008). Medición de la gestión del riesgo en América Latina. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*. (3), 5-6.

Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial (No. 526.982 C564 1996). Ediciones Rialp.

Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio, España, Ariel Ciencia.

CMGRD - Integrantes Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, (2019). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.* Municipio de Fusagasugá (Cundinamarca): Alcaldía de Fusagasugá.

Concejo Municipal de Fusagasugá. (21 de junio de 2001). Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Fusagasugá. [Acuerdo 29 de 2001].

Coupé, F. (2011). La gestión del riesgo en el Valle de Aburrá. una larga historia. *Gestión y Ambiente, 14(2),* 17-44.

Decreto No. 120 de 2007 – Revisión y ajustes al Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Fusagasugá. Fusagasugá.

Decreto No. 1807 de 2014 – Incorporación de la Gestión de Riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial. Colombia.

Dubois, A. (2002). Un concepto de desarrollo para el siglo XXI. *Revista Asuntos económicos y administrativos, (8).*

ESRI (2020). Información general sobre el conjunto de herramientas Superposición. Recuperado de: https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/an-overview-of-the-overlay-toolset.htm

Giacoia, G. (2018). La utilización de imágenes satelitales como herramienta para evaluar la relación entre la calidad ambiental y el arbolado público lineal. *ACTAS-Jornadas de Investigación*, 2418-2430.

Gobernación de Cundinamarca (2020) Estructura orgánica, Unidad Administrativa Especial para la Gestión del Riesgo de Desastres. Bogotá: Gobernación de Cundinamarca. Recuperado de: http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/UnidadAdminEspGestion/UnIAdmEsplaGesRiesdeDesDespli/asquienessomos_contenidos/cuniaegrd_estructur

González Arencibia, M. (2012) *Teorías del desarrollo, de la teoría del crecimiento económico al desarrollo humano sostenible.* Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.
Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2015) Guía: Interpretación de Fotografías Aéreas con fines de levantamiento de suelos. IGAC: Grupo Interno de Trabajo de Interpretación

Hernández Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Ciudad de México: Mc Graw Hill Education

Kumar, N., Yamaç, S. S., & Velmurugan, A. (2015). Applications of remote sensing and GIS in natural resource management. *Andaman Science Association, 20(1)*, 1-6

Labrador-García, M., J.A. Évora-Brondo & Arbelo-Pérez (2012) *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio.* La Laguna, España: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias.

Lavell, A (1996). "Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación." Ciudades en riesgo.

Lavell, A. (2001). Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS, 4, 1-22.

Lavell, A., & Argüello Rodríguez, M. (2003). *Gestión de riesgo: un enfoque prospectivo*. PNUD.

Ley No. 1523. Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Bogotá D.C., Colombia, 24 de abril de 2012.

López, J. J., & López, C. A. (2004). El urbanismo de ladera: un reto ambiental, tecnológico y del ordenamiento territorial. *Revista Bitácora Urbano Territorial, 1(8),* 94-102.

Lucas, N. S., & Curran, P. J. (1999). Forest ecosystem simulation modelling: the role of remote sensing. *Progress in Physical Geography, 23(3),* 391-423.

Mergili, M., Marchant, C., & Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, *24*(2), 113-131.

Metzger, P. (1996). Medio ambiente urbano y riesgos: elementos de reflexión. *Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres.*

Ministerio de Ambiente, Viceministerio de Gestión Ambiental y la Dirección General de la Calidad Ambiental de Perú (2010). *Guía de evaluación de riesgos ambientales (p. 20-25).* Lima, Perú.

Monteiro, M., & Tavares, A. O. (2015). What is the influence of the planning framework on the land use change trajectories? Photointerpretation analysis in the 1958–2011 period for a medium/small sized city. *Sustainability*, *7*(9), 11727-11755.

Paruelo, J. M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. Revista Ecosistemas, 17(3).

Pinto, C. A., & Magpili, L. M. (2016). Risk management. Engineering Management Handbook (2nd edition ed.). Huntsville: Recuperado de: http://ezproxy.unbosque.edu.co:2048/login?url=https://search-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co/docview/2173844168?accountid=41311

Quintero-Angel, M., Carvajal-Escobar, Y., & Aldunce, P. (2012). Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo. *Revista Luna Azul*, *(34),* 257-271.

Raleigh, C., & Urdal, H. (2007). Climate change, environmental degradation and armed conflict. Political geography, 26(6), 674-694.

Rudas, G., Marcelo, D., Armenteras, D., Rodríguez, N., Morales, M., Delgado, L. C., & Sarmiento, A. (2007). Biodiversidad y actividad Humana: Relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia. Bogotá D. C: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Silva Rodríguez, F. (2019). *Territorio periurbano y los impactos socioambientales en las áreas de expansión urbana* (Tesis de maestría). Universidad Viña del Mar, Chile.

Tyagi, S., Garg, N., & Paudel, R. (2014). Environmental degradation: Causes and consequences. *European Researcher, 81(8-2),* 1491.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2020). Estructura del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado 29 septiembre, 2019, de http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Estructura.aspx

Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres (2016) *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Una estrategia de desarrollo 2015 - 2025.* Bogotá. Recuperado de: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/756/PNGRD-2016.pdf?sequence=27&isAllowed=y

Universidad Nacional de Colombia (2016). Metodología de evaluación de riesgos ambientales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Recuperado de: http://oga.bogota.unal.edu.co/wp-content/uploads/2016/08/Metodolog%C3%ADa-de-evaluaci%C3%B3n-de-riesgos-ambientales.pdf

Uttara, S., Bhuvandas, N., & Aggarwal, V. (2012). Impacts of urbanization on environment. *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences, 2(2),* 1637-1645.

Vargas, R.A. (2010) Guía Municipal para la Gestión del Riesgo: Bogotá D.C. Recuperado de: http://www.gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/archivos/GMGRColombia.pdf

Vera, J. M., & Albarracín, A. P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 27(2),* 109-136.

Watanabe, M. (2015). Gestión de Riesgos de desastres en ciudades de América Latina. *Apuntes de Investigación, (4),* 17.

Zurrita, A., Badii, M., Guillen, A., Lugo, O., & Aguilar, J. (2015). Factores Causantes de Degradación Ambiental (Factors Causing Environmental Degradation). *Daena: International Journal of Good Conscience, 10(3),* 1-9.