APLICACIÓN DE UN MODELO PREDICTIVO PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO GENERADO POR EL CAMBIO DE COBERTURA URBANA EN EL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA

GEORGE STEVENS SUÁREZ CAMARGO
LAURA MARCELA OLAYA VILLAMIL

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ D.C
2018

APLICACIÓN DE UN MODELO PREDICTIVO PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO GENERADO POR EL CAMBIO DE COBERTURA URBANA EN EL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA

Autores:
Laura Marcela Olaya Villamil
George Stevens Suárez Camargo

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Gerente de Recursos Naturales

Directora:
Ph.D (c) Luisa Fernanda González Ramírez

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ D.C
2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del Presidente del Jurado

_____

Firma Jurado

_____

Firma Jurado

Bogotá, Fecha

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestros padres y hermanos por su apoyo incondicional en cada paso que damos en la vida; a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, nuestra alma mater, por brindarnos la oportunidad de cursar esta especialización y crecer académica, profesional y personalmente; y finalmente, a los profesores, amigos y compañeros que nos acompañaron en este proceso y nos motivaron para seguir adelante.

DEDICATORIA

A mis papás, mi hermano y mi tía
los motores que me motivan siempre,
A mi abuelita Mercedes
mi mayor fuente de admiración y respeto,
A mi hijo de cuatro patas, mi amado Mailo,
por llegar a mi vida y hacerme tan feliz.
- Laura Marcela Olaya Villamil

A mis papas
que han sido la base para poder seguir construyendo
un camino de logros académicos
- George Suárez Stevens Camargo

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 14

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 16

1.1.1 Preguntas de Investigación 18

1.1.2 Delimitación del Problema 19

1.2 JUSTIFICACIÓN 20

1.3 OBJETIVOS 21

1.3.1 Objetivo General 21

1.3.2 Objetivos Específicos 22

2. MARCO REFERENCIAL 23

2.1 MARCO TEÓRICO 23

2.1.1 Cambio de Cobertura y Uso del Suelo (CCUS) 23

2.1.2 Impacto Ambiental 25

2.1.3 Teledetección 29

2.1.4 Programas de modelación de CCUS 30

2.2 MARCO CONTEXTUAL 34

2.2.1 Marco Geográfico del Municipio de Mosquera 34

2.3 MARCO LEGAL 37

3. MARCO METODOLÓGICO 41

3.1 ESTRUCTURA METODOLÓGICA PRINCIPAL 41

3.2 DESCRPCIÓN DE INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS 42

3.2.1 Adquisición y procesamiento digital de imágenes 42

3.2.2 Interpretación y Clasificación de Coberturas 44

3.2.3 Modelamiento de CCUS 45

3.2.4 Matriz de Interacción de Impactos 48

3.2.5 Método Experto 56

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 61

4.1 ANÁLISIS DEL PATRÓN DE EXPANSIÓN URBANA 61

4.1.1 Procesamiento Digital de imágenes 61

4.1.2 Interpretación y Clasificación de Coberturas 63

4.2 SIMULACIÓN DE LA EXPANSIÓN URBANA PARA EL AÑO 2025 67

4.2.1 Datos de entrada 67

4.2.2 Proyección de CCUS 72

4.3 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS 76

4.3.1 Cambio en la calidad paisajística 77

4.3.2 Dinamización de la economía local 78

4.3.3 Dimensión cultural 80

4.3.4 Cambio en las coberturas vegetales naturales 81

4.3.5 Modificación en la composición, estructura y distribución de la fauna silvestre 83

5. CONCLUSIONES 85

6. RECOMENDACIONES 88

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación General de las metodologías de EIA según Erazo (1998) ..28
Tabla 2. Legislación Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial.....38
Tabla 3. Metodología general para la implementación del PMA (Fase I).....41
Tabla 4. Características básicas de las imágenes. 43
Tabla 5. Clasificación de las coberturas del suelo en la zona de estudio. 45
Tabla 6. Valores de Calificación para la Naturaleza. 48
Tabla 7. Valores de Calificación para la Intensidad 49
Tabla 8. Valores de Calificación para la Extensión 49
Tabla 9. Valores de Calificación para el Momento. 50
Tabla 10. Valores de Calificación para la Persistencia. 51
Tabla 11. Valores de Calificación para la Reversibilidad. 52
Tabla 12. Valores de Calificación para la Sinergia. 52
Tabla 13. Valores de Calificación para la Acumulación. 53
Tabla 14. Valores de Calificación para el Efecto. 53
Tabla 15. Valores de Calificación para la Periodicidad. 54
Tabla 16. Valores de Calificación para la Recuperabilidad. 55
Tabla 17. Impactos de Naturaleza Negativa. 56
Tabla 18. Impactos de Naturaleza Positiva. 56
Tabla 19. Matriz de Interacciones. 58
Tabla 20. Relación de áreas de coberturas para el año 2000 64
Tabla 21. Relación de áreas de coberturas para el año 2008 65
Tabla 22. Relación de áreas de coberturas para el año 2016 66
Tabla 23. Cambios de área para cada cobertura entre el 2008 y el 2016. 69
Tabla 24. Matriz de transiciones. 70
Tabla 25. Relación de áreas de coberturas para el año 2025. 73
Tabla 26. Cambios de área para cada cobertura entre el año 2016 y la simulación para el 2025. 74

Tabla 27. Matriz de transiciones entre las coberturas del año 2016 y la simulación para el 2025. 74
Tabla 28. Incidencia del impacto de cambio en la calidad paisajística en las coberturas. 77
Tabla 29. Incidencia del impacto de dinamización de la economía local en las coberturas. 79
Tabla 30. Incidencia del impacto de dimensión cultural en las coberturas. 81
Tabla 31. Incidencia del impacto de cambio en las coberturas vegetales naturales en las coberturas. 82
Tabla 32. Incidencia del impacto de modificación en la composición, estructura y distribución de la fauna silvestre. 84

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de cambio que han de ser considerados al estudiar el cambio global actual o futuro 24
Figura 2. Variación del impacto en función del tiempo.....26
Figura 3. Municipio de Mosquera, Cundinamarca.....34
Figura 4. Interfaz EarthExplorer 43
Figura 5. Espacialización de los impactos. 60
Figura 6. De izquierda a derecha: bandas 1 a 5, imagen Landsat 7 ETM+ del año 2000.....61
Figura 7. Recorte y Composición de Bandas RGB (321), imagen Landsat 7 ETM+ del año 2000. 62
Figura 8. Modelo para composición, recorte y proyección de imágenes satelitales. 62
Figura 9. Mapa de cobertura de Mosquera, Cundinamarca para el año 2000 63
Figura 10. Mapa de cobertura de Mosquera, Cundinamarca para el año 2008 65
Figura 11. Mapa de cobertura de Mosquera, Cundinamarca para el año 2016 66
Figura 12. Mapa de distancia a vías. 68
Figura 13. Mapa de Cambios 2008 – 2016. 71
Figura 14. Curva de Red Neuronal de Aprendizaje. 72
Figura 15. Simulación para el año 2025. 73
Figura 16. Mapa de Cambios 2016 – 2025. 75
Figura 17. Impulsores de cambio del uso del suelo urbano. 76
Figura 18.Importancia del impacto sobre la calidad paisajística. 78
Figura 19. Importancia del impacto sobre la dinamización de la economía local. .80
Figura 20. Importancia del impacto sobre la dimensión cultural. 81
Figura 21. Importancia del impacto sobre la dimensión cultural. 82
Figura 22. Captura de pantalla Tremartos Colombia 3.0. 83
Figura 21. Importancia del impacto sobre la modificación en la composición, estructura y distribución de la fauna silvestre. 84

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Calificación de Impactos Ambientales.

RESUMEN

Los estudios multitemporales de cambios de cobertura y uso del suelo son ampliamente utilizados para entender las repercusiones que tienen las acciones antrópicas en los sistemas. Para esto, los modelos predictivos constituyen una gran herramienta de análisis que facilita la toma de decisiones para anticipar, prevenir y mitigar los efectos generados por dichos cambios. La necesidad de aplicar un modelo de simulación del cambio de cobertura urbana, como herramienta de planificación territorial del municipio de Mosquera, Cundinamarca, viene dada por la alta tasa de crecimiento que experimenta el eje occidente de la sabana de Bogotá y el impacto que, el establecimiento de las zonas francas, los servicios de ciudad dormitorio que presta el municipio a la ciudad y la creación de canteras, genera en el ambiente.

El presente proyecto tiene como objetivo principal aplicar un modelo simulación, a través del uso de herramientas Sistemas de Información Geográfica - SIG, para representar el escenario de expansión urbana futuro en el Municipio de Mosquera, Cundinamarca, en el 2025 y, a partir de esta simulación, identificar y describir los impactos ambientales que esta expansión produce; obteniendo como resultado que las coberturas naturales presentan un índica de importancia ambiental del impacto crítico, siendo este el mayor impacto generado.

ABSTRAC

Multitemporal studies of changes in land cover and use are widely used to understand the impact of anthropogenic actions on systems. For this, predictive models are a great tool for analysis that facilitates decision making to anticipate, prevent and mitigate the effects generated by such changes. The need to apply a simulation model of the change in urban coverage as a tool for territorial planning in the municipality of Mosquera, Cundinamarca, is due to the high growth rate of the western part of the Bogotá savannah and the impact that the establishment of the free zones, the services of the dormitory city provided by the municipality to the city and the creation of quarries generate on the environment.

The main objective of this project is to apply a simulation model, through the use of Geographic Information Systems - GIS tools, to represent the scenario of future urban expansion in the Municipality of Mosquera, Cundinamarca, in 2025 and, based on this simulation, to identify and describe the environmental impacts that this expansion produces; obtaining as a result that the natural coverages present an indicator of environmental importance of the critical impact, being this the greatest impact generated.

1. INTRODUCCIÓN

El Ordenamiento Territorial es un proceso de especial relevancia para Colombia, dado su papel como instrumento de control sobre el territorio y orientador del modelo de desarrollo. Debe concebirse como una herramienta para mejorar la calidad de vida de la población y, en ese orden de ideas, alcanzar un “orden deseado”, tomando como base las características ecológicas del territorio. A pesar de ello, en Colombia la planificación ha tenido un enfoque eminentemente económico y “el territorio no se ha concebido de manera integral … teniendo como consecuencia la existencia de zonas cuya riqueza natural no se maneja de manera armónica desde una perspectiva sustentable”; existen intereses diversos entre quienes defienden la conservación de los recursos naturales y los que solo esperan una mayor productividad económica sobre sus territorios sin importar las implicaciones ambientales de su explotación. Por otra parte, son evidentes las dificultades técnicas y políticas que impiden la consecución de ese "orden deseado", resultando en un orden que nace de la voluntad de unos pocos (Hernández Peña, 2010).

El acelerado proceso de crecimiento de la población urbana, que ha experimentado el país en las últimas décadas, está asociado con fuertes cambios en la oferta y calidad de los recursos naturales; esto equivale a una presión sobre dichos recursos en las zonas densamente pobladas. La huella ecológica es el ejemplo más claro del impacto que genera la ciudad en su área de influencia, su dinámica genera cambios importantes en el uso de los suelos vecinos y el uso del agua (Márquez, 2004).

Bogotá, con más de 8 millones de habitantes y su concentración de actividades, generan externalidades negativas sobre los municipios cercanos, que no pueden asumir de manera individual dichos procesos de desarrollo y frente a los cuales no existe una visión regional de desarrollo, ya que el tema ambiental trasciende los límites municipales en la mayoría de los casos (Hernández Peña, 2010).

Para fortalecer la base científica en la toma de decisiones de las políticas ambientales que se están desarrollando, la aplicación de modelos de simulación

que permitan predecir los cambios de cobertura y uso del suelo futuros, constituye una herramienta de gran utilidad tanto en el contexto de la planificación territorial como en la evaluación de impactos ambientales, para lograr anticipar los efectos que las actividades antrópicas generan en los ecosistemas. La pérdida de suelos con destinación agrícola y la alteración de las coberturas naturales, son las evidencias más significativas de los procesos de crecimiento urbano no planificado y, por tanto, justifican la necesidad de implementar herramientas que permitan tomar decisiones para mitigar las dinámicas insostenibles de algunas ciudades de rápido crecimiento (Henríquez y Azócar, 2007).

En tal sentido, el presente documento se orientó hacia dos temas que guardan una relación estrecha: los cambios de cobertura y uso del suelo en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, y, la identificación de los impactos que dichos cambios producen en el territorio.

Con esa intención, en el primer capítulo se realiza la descripción proyecto, el problema, alcance, justificación y los objetivos que se busca alcanzar. En el capítulo siguiente se establece el marco referencial que contiene el marco teórico donde se abordan los temas eje para el desarrollo del proyecto: cambio de cobertura y uso del suelo, impacto ambiental, teledetección y, los programas de simulación de cambios de cobertura y uso; el marco conceptual, en el que se describen las principales características del municipio de Mosquera; y, el marco legal, que avala el presente trabajo de grado. En el capítulo tres se enmarca la metodología con que se desarrolla el proyecto para dar cumplimiento a los objetivos planteados. En el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos de la clasificación de las coberturas interpretadas con imágenes satelitales, la simulación del cambio de coberturas obtenida con herramientas SIG y la identificación y descripción de los impactos más relevantes en las zonas afectadas por la expansión urbana. Posteriormente, en los capítulos cinco y seis, se presentan las conclusiones y recomendaciones respectivamente según los resultados obtenidos. Finalmente, se presenta la bibliografía consultada.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Se estima que la población mundial aumentará entre el 50 y el 100% durante el próximo siglo; lo que se traduce en un incremento de las presiones para transformar los ecosistemas naturales y suplir las necesidades humanas, así como para capturar una mayor parte de la productividad primaria neta global. Estos procesos antropogénicos afectan los sistemas terrestres, la biodiversidad y la sostenibilidad del territorio (Mustard, Defries, Fisher y Moran, 2004).

Un estudio de Naciones Unidas (United Nations, 2015), señala que alrededor de la mitad de la población mundial vive en las ciudades y sus proyecciones indican un aumento, siendo Latinoamérica una de las regiones que para el año 2030 alcanzaría más del 80% de su población viviendo en áreas urbanas. Entonces, vale la pena analizar los efectos de la expansión urbana como fuente destacada de modificaciones en esta materia.

Según Mattos en 2001, la expansión urbana es la principal característica de la reactivación de las ciudades en la economía de mercado actual. La expansión urbana o metropolización expandida, tiene como rasgo principal “la incontrolable acentuación de la tendencia al derrame territorial de la mancha urbana”, fenómeno asociado a los procesos de suburbanización y/o periurbanización. Este proceso y modo de expansión urbana provoca un abandono por la protección de las tierras agrícolas, silvoagropecuarias o destinadas a la conservación de la naturaleza, bosques y áreas naturales (Romero y Vásquez, 2005).

En las últimas décadas se han desarrollado modelos de cambio de cobertura y uso del suelo (en adelante CCUS), para entender las necesidades de manejo del territorio y evaluar el rol que cumplen estos cambios en el futuro (Veldkamp & Lambin, 2001). Estos estudios han logrado avances significativos en la profundización de la comprensión de los factores socioeconómicos de los CCUS y, los impactos generados en los sistemas naturales y humanos (Mustard et al., 2004).

El uso de modelos predictivos para la generación de escenarios futuros de cambios de cobertura y usos del suelo empleando Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, en particular los modelos de crecimiento urbano, tanto en el contexto de la planificación territorial como en la evaluación del impacto ambiental que producen estos cambios en el territorio, constituye un método de anticipar, prevenir y mitigar dinámicas insostenibles de la actual forma de expansión de algunas ciudades (Henríquez y Azócar, 2007).

Para el caso de Colombia, desde la época precolombina, la modificación de los ecosistemas, ha originado paisajes que revelan la constante interacción del hombre con los recursos naturales; “esta relación ha generado una dependencia por espacio, por uso y por aprovechamiento de recursos de manera insostenible” (Moncada-Rasmussen, 2010 en (Gil-Leguizamón y Morales-Puentes, 2016)).

El crecimiento urbano es una realidad de la mayoría de los municipios del país. Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), aunque este aumento no es similar a las tasas de urbanización presentadas en décadas previas, “hoy es una expresión de los procesos de redistribución de la población, producto de distintas dinámicas en los territorios” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). Por esto, los análisis multitemporales de CCUS son elementales porque permiten reconocer los cambios que ocurren en un espacio geográfico durante un periodo de tiempo, lo que permite suponer la evolución que ha sufrido el medio natural y las consecuencias de la actividad humana sobre este medio (Chuvieco, 1996).

La relación Cundinamarca – Bogotá, se ha caracteriza por una falta de planificación e insuficiencia de programas integrales que benefician tanto a la ciudad como a los municipios del departamento. Los procesos de urbanización e industrialización en Bogotá impactan las zonas limítrofes y generan un desequilibrio en el ordenamiento territorial de los municipios de la Sabana, convirtiéndolos en su gran mayoría en ciudades dormitorio, por cuanto sus habitantes laboran en la capital. “El problema

central está en la carencia de acciones y políticas concertadas y coordinadas de acción en torno al territorio cundinamarqués, especialmente a los municipios de influencia, frente a la polarización que ejerce Bogotá" (Municipio de Mosquera, 2000).

El municipio de Mosquera presenta un gran potencial ambiental por ser considerado un municipio industrial; esto trae consigo diversas problemáticas ambientales asociadas a "la contaminación de aire, suelo, recurso hídrico, generación de residuos industriales, residuos peligrosos, emisiones atmosféricas, vertimientos, pérdida de capacidad fotosintética, degradación del paisaje y por tanto de la calidad de vida, entre otros" (Jimenez, Ramirez, Reinoso, Rodriguez y Torres, 2011). Es un municipio que ha evidenciado un acelerado crecimiento significativo en los últimos años debido a su ubicación cercana a la ciudad de Bogotá y a su aumento poblacional según los últimos censos y las proyecciones para los siguientes años realizadas por el DANE (Secretaría Distrital de Planeación, 2016); por consiguiente, este municipio resulta ser adecuado para la aplicación del modelo predictivo y la evaluación de los impactos que se generarían por el fenómeno de expansión urbana que viene experimentando.

1.1.1 Preguntas de Investigación

- ¿Cómo ha sido el proceso de expansión urbana en el Municipio de Mosquera Cundinamarca?
- ¿El modelo predictivo generado con el plugin MOLUSCE de QGIS es una herramienta adecuada para predecir el cambio de cobertura urbana en el Municipio de Mosquera Cundinamarca?
- ¿Cómo estimar el posible impacto ambiental generando por la expansión urbana y CCUS, en el medio ambiente?

1.1.2 Delimitación del Problema

Partiendo del hecho de que la tierra es finita, debemos suponer entonces que nuestros recursos naturales son igual manera limitados. Por otro lado, la humanidad cada vez tiene un crecimiento más acelerado requiriendo así más alimento, agua, luz, gas, tierra para asentarse; esto nos lleva a un problema el cual podría, de alguna manera, mitigarse o reducirse en la medida que se tomen decisiones correctas con planeación suficiente y ayuda de la mayor y mejor cantidad de instrumentos posibles. Es a causa de estos avances en la tecnología que se pueden llevar acabo modelos predicción y aproximación a estas externalidades que pasan a causa de la evolución humana y, para este caso, nos centramos en analizar los posibles impactos ambientales más relevantes que puedan presentarse en la expansión urbana, usando un software de modelamiento predictivo de expansión urbana.

Mosquera es uno de los 116 municipios del departamento de Cundinamarca, Colombia. Se encuentra ubicado en la Provincia de Sabana Occidente, a 10 km de Bogotá, con una temperatura promedio entre 12 y 14ºC. Mosquera limita con los municipios de Madrid, Funza, Bojacá y Soacha. Su cabecera municipal se encuentra a una altitud de 2516 m s. n. m. una de las razones por la cual fue elegido este municipio para realizar la proyección es su cercanía con la capital y así facilitar la verificación de coberturas en campo, de igual manera se elige ya que es uno de los municipios en los que se ha incremento la tasa de crecimiento poblacional del país por lo que se espera se tengan resultados significativos en los cuales se puedan realizar el análisis esperado.

Adicionalmente, considerando que el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, del municipio de Mosquera, data del año 2000 con una modificación posterior en el año 2013 y, teniendo en cuenta que la vigencia de los Planes de Ordenamiento son 12 años, dicha modificación estaría vigente hasta el año 2025, se decide hacer la proyección de la expansión urbana hasta ese año para corroborar si la tendencia

actual mantendría lo estipulado en la norma o no, y así demostrar la utilidad de esta herramienta en la toma de decisiones en cuanto a la planeación territorial.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El gran interés que despierta el estudio de CCUS, está dado por diversos motivos. Dentro de la literatura se encuentran razones que aluden a que constituyen la expresión espacial más evidente de las actividades humanas sobre los sistemas de soporte (Turner y Meyer, 1991). De la misma forma, son considerados como una de las causas de la degradación ambiental y pérdida de funciones y servicios ambientales en los territorios donde ocurren estos procesos (Bocco, Méndoza y Masera, 2001). Debido a ello, Bocco et al (2001) plantean que los estudios sobre CCUS son una información necesaria para la planificación del territorio, debido a su capacidad de reflejar patrones espaciales y temporales como emplazamiento, distribución, estructura y dirección.

Según varios autores (Pontius y Malanson, 2005) (Henríquez y Azócar, 2007), los modelos de simulación de CCUS se han vuelto cada vez una herramienta más ocupada y útil en el análisis espacial de sus patrones y sus potenciales efectos negativos sobre el territorio. No obstante, los segundos señalan la falta de aplicaciones de estos modelos de simulación a ciudades latinoamericanas.

Frente a esta situación, se hace necesario implementar una herramienta que permita determinar el impacto real causado por las decisiones tomadas en cuanto al ordenamiento del territorio, sin medidas de manejo ambiental y con medidas de manejo ambiental y, se pueda establecer la viabilidad o no viabilidad de las mismas proyecto, generando confiabilidad en la toma de decisiones que eviten el deterioro del ambiente y garanticen el desarrollo sostenible para el país.

Este proyecto pretende servir como objeto de investigación en la aplicación del plugin MOLUSCE de QGIS, software libre, para la proyección en el tiempo del crecimiento urbano y como esto puede llegar afectar a los recursos naturales que nos rodean nuestro en el territorio, se piensa este tipo el trabajo ya que nuestra formación nos permite manejar softwares especializados para el manejo de información tanto relacional como espacial, logrando llegar a análisis completos más detallado y especializados en el tema ambiental y la tierra.

La mayoría de la afectación será causada por las externalidades del crecimiento urbano a el medio ambiente, en el cual serán evaluados los impactos más relevantes en este aspecto. Con esta proyección y este análisis se podrán realizar con tiempo y planeación las medidas de manejo o conservación o mitigación que deban ser pertinentes en pro de un bienestar común.

Siendo que el resultado sea satisfactorio el software se podría empezar a implementar como instrumento en estudios que necesiten tener en cuenta la afectación de una inserción de cobertura antrópica a la cobertura natural próxima al sitio del estudio en un periodo de tiempo determinado y evaluando las posibles externalidades tanto como positivas como negativas que esto conllevaría

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Aplicar un modelo simulación generado con el plugin MOLUSCE para QGIS, para representar el escenario de expansión urbana futuro en el Municipio de Mosquera, Cundinamarca, para el año 2025 y analizar el impacto ambiental producido por el mismo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la expansión urbana del Municipio de Mosquera para establecer un patrón de crecimiento de la zona.
- Simular con el plugin MOLUSCE para QGIS el escenario de expansión urbana en el municipio de Mosquera para el año 2025 a través de imágenes satelitales.
- Identificar y describir los impactos ambientales más relevantes generados por el escenario simulado a través de herramientas SIG.

2. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se presenta el marco referencial del proyecto denominado "*Aplicación de un modelo predictivo para el análisis del impacto generado por el cambio de cobertura urbana en el Municipio de Mosquera, Cundinamarca",* dicho marco se desarrollará bajos los siguientes aspectos:

- Marco Teórico
- Marco Contextual
- Marco Legal

2.1 MARCO TEÓRICO

El presente Proyecto titulado "*Aplicación de un modelo predictivo para el análisis del impacto generado por el cambio de cobertura urbana en el Municipio de Mosquera, Cundinamarca"* se enmarca en las temáticas de cambios cobertura y uso del suelo, ésta a su vez está relacionada con la ecología del paisaje y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas de análisis de impacto ambiental. Por este motivo, es necesaria una introducción conceptual a estos contenidos previa al desarrollo del proyecto.

2.1.1 Cambio de Cobertura y Uso del Suelo (CCUS)

Las coberturas terrestres son el centro de un gran número de procesos biofísicos elementales para el funcionamiento de los sistemas globales (Peña, 2007). El CCUS revela las transformaciones de la superficie terrestre, causadas por actividad humana o perturbaciones a través del tiempo. (Espinoza-Mendoza, 2016).

Entre un tercio y la mitad de la superficie terrestre ha sido transformada por el hombre; ningún ecosistema de la tierra está libre de la influencia dominante de la humanidad, el uso de la tierra para producir bienes y servicios representa la mayor alteración de la humanidad sobre los sistemas terrestres, sus cambios determinan la vulnerabilidad de los lugares y personas a las perturbaciones (Vitousek, Mooney, Lubchenco y Melillo, 1997).

El cambio, visto como proceso de transformación en las condiciones ambientales y en la composición, estructura y funcionamiento de las comunidades siempre ha existido en la historia de la naturaleza, ver Figura 1 (Peña, 2007).

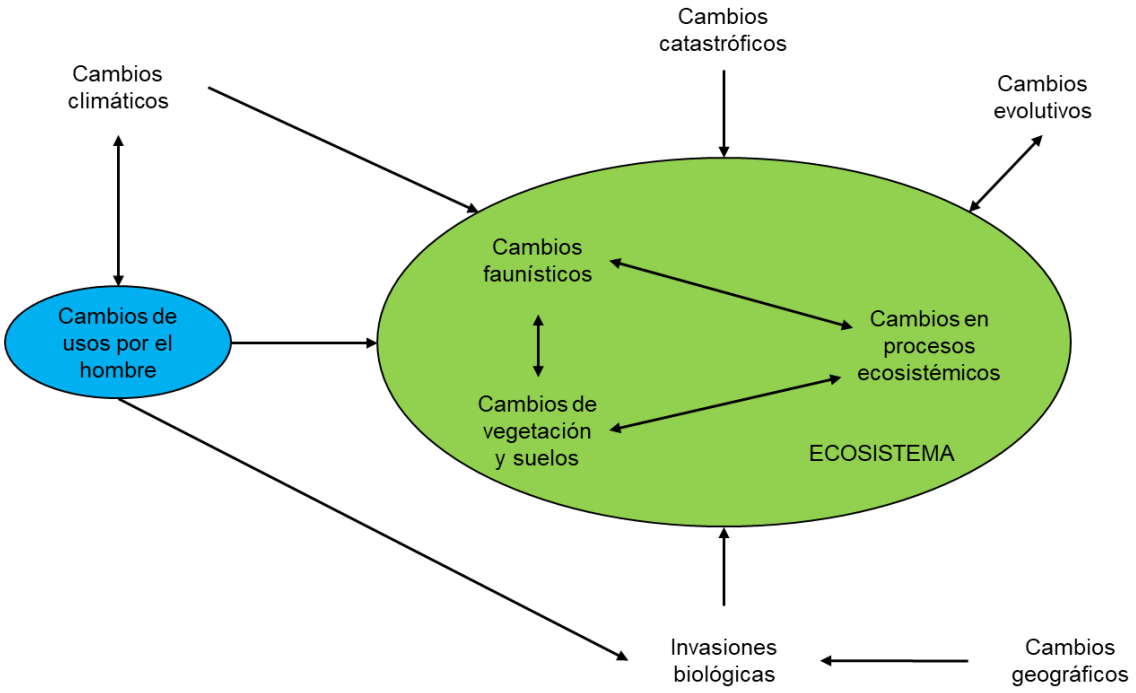


Figura 1. Procesos de cambio que han de ser considerados al estudiar el cambio global actual o futuro
Fuente: Peña, 2007.

Debido a que los cambios en uso y cobertura se pueden dar rápidamente con el tiempo, constituyen un buen indicador de la dinámica de la superficie terrestre (Di Gregorio, 2016).

Las coberturas del suelo pueden ser cambiadas por procesos naturales. Sin embargo, varios de los cambios de coberturas del suelo son el resultado de los propósitos de producción y en menor medida, asentamientos humanos. Estas actividades constituyen los usos del suelo (Peña, 2007).

2.1.1.1 Diferencia entre uso del suelo y cobertura del suelo

La *Cobertura* de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra y es una síntesis de muchos procesos que tienen lugar en la ella (Di Gregorio, 2016).

El *Uso* implica la utilidad que presta cierta cobertura al ser humano; se relaciona con las actividades humanas o las funciones económicas de una porción específica de la Tierra (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2012).

Según Peña (2000), la cobertura del suelo comprende los aspectos que recubren la superficie terrestre de origen natural o cultural, que son observables y pueden ser medidos utilizando fotografías aéreas o sensores remotos; mientras que el uso de suelo puede definirse como las funciones que se desarrollan sobre aquella cubierta, con el objetivo de modificarla o preservarla para obtener un beneficio.

2.1.2 Impacto Ambiental

Un impacto es una alteración al medio ambiente, el cual puede ser positivo o negativo; por tanto, un impacto ambiental es la repercusión de dichas alteraciones en la salud y bienestar humano (Galván, 2006).

Según (Conesa, 1993) impacto ambiental (IA) se define como un “cambio en una o más características fisicoquímicas, ecológicas y socioeconómicas del entorno”, es

decir, que existe un IA cuando una acción o actividad humana produce una alteración favorable o desfavorable a alguno de los componentes del medio.

Es la repercusión de las modificaciones en los factores del Medio Ambiente, sobre la salud y bienestar humanos. Y es respecto al bienestar donde, se evalúa la calidad de vida, bienes y patrimonio cultural, concepciones estéticas, etc., como elementos de valoración del impacto. (Galván, 2006)

El impacto que genera un proyecto sobre el medio ambiente es la diferencia entre el escenario del medio ambiente futuro transformado, como consecuencia de una actividad antrópica, y el escenario del medio ambiente futuro como habría evolucionado normalmente sin tal transformación, como se puede ver en la Figura 2 (Conesa, 1993).

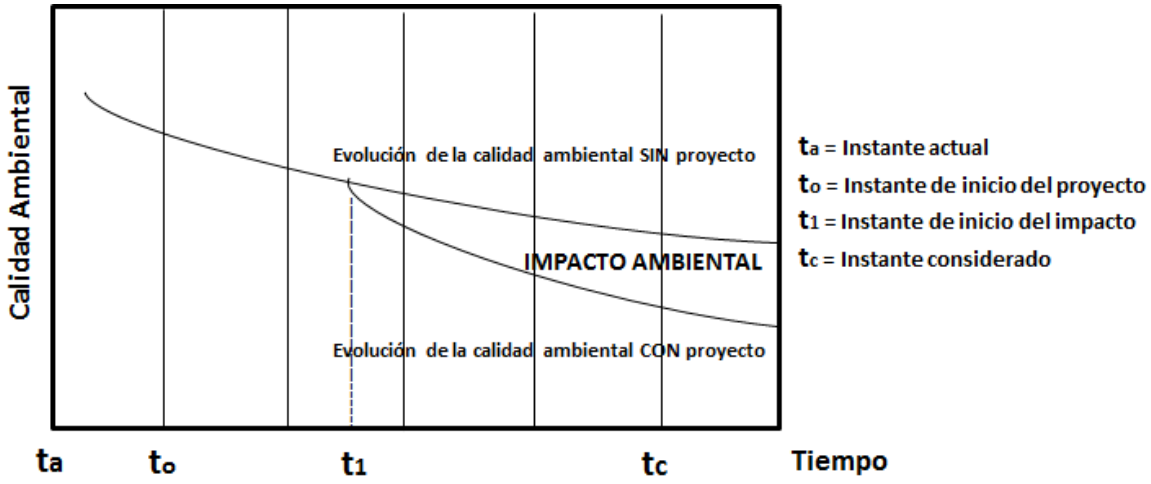


Figura 2. Variación del impacto en función del tiempo.
Fuente: (Conesa, 1993)**.**

Para realizar la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto produciría de ser ejecutado, se debe realizar una Evaluación de Impacto Ambiental; este instrumento también permite ejecutar acciones de prevención, corrección y valoración de dichos impactos (Cotán-Pinto Arroyo, 2007).

2.1.2.1 Evaluación de Impacto Ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental, en adelante EvIA, es considerada un instrumento de gestión para la protección del medio ambiente. Su objetivo es identificar, predecir, interpretar y comunicar el impacto que genera una acción sobre el funcionamiento del medio ambiente. Por lo tanto, la EvIA se debe elaborar sobre la base de proyectos, obras o actividades (POA), antes de la toma de decisiones y como herramienta para el desarrollo sustentable, con el propósito de evaluar los posibles futuros impactos (Martinez, 2010). En este sentido, la EvIA puede considerarse como una herramienta de prevención y control en el contexto del Sistema Nacional Ambiental de Colombia (Toro, Martínez y Arrieta, 2013).

La EvIA incluye como instrumento técnico el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), donde se identifican, describen y valoran los impactos ambientales. Los equipos evaluadores prefieren utilizar listas de chequeo, opinión de expertos y matrices de interacción como la metodología cualitativa por su facilidad de manejo, bajo costo y rapidez en la obtención de resultados (Toro et al., 2013). La metodología elegida es uno de los principales determinantes en la eficiencia de la EvIA y de la correcta escogencia de las acciones correctivas.

2.1.2.2 Alternativas de Análisis de Impactos

El rápido crecimiento que tuvo la EvIA condujo a la adopción de múltiples metodologías para la identificación y la evaluación de los impactos ambientales que un determinado proyecto, obra o actividad puede causar sobre el ambiente en caso de ser ejecutado. Las principales metodologías que se han desarrollado en el mundo, según Erazo (Erazo, 1998), pueden ser clasificadas en las siguientes categorías (Tabla 2).

Tabla 1. Clasificación General de las metodologías de EIA según Erazo (1998)

Métodos	Descripción
Métodos Ad-Hoc	La identificación, cuantificación y evaluación de los impactos las realizan un grupo de especialistas convocados para ese efecto y generalmente sin ninguna guía preestablecida.
Matrices	Consisten en tablas de doble entrada útiles para la identificación de impactos a través de la interacción de los factores ambientales con las acciones del proyecto. Presentan la información en forma de matriz determinando así relaciones causa-efecto entre acciones e impactos.
Listados	Presentan acciones y/o impactos comúnmente asociados con ciertas etapas de determinados proyectos, de los cuales loa analistas seleccionan los posibles impactos del proyecto.
Métodos de Superposición	Se basan en la elaboración de una serie de mapas de factores ambientales que se superponen para indicar el área de mayor impacto.
Redes	Presentan las relaciones temporales y causativas entre impactos a través de la elaboración de esquemas que ilustran cuáles son los impactos directos e indirectos.
Modelos de simulación	Técnicas utilizadas para predecir estados futuros de parámetros ambientales específicos, por ejemplo, modelos de dispersión de partículas en el aire, modelos de contaminación de corrientes, etc.
Evaluación cualitativa de los impactos	Métodos en los cuales se emplean formas de ponderación para asignar pesos de importancia relativa en cada uno de los impactos o características ambientales, destacando así los más significativos.
Métodos integrales	Hacen posible la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales, mediante adopción y medición de indicadores ambientales y funciones de transformación que permiten su comparación directa.

Fuente. Compilado por los autores, 2018.

2.1.2.3 Indicador de Impacto Ambiental

Un indicador es un medio para medir lo que realmente sucede en comparación con lo que se ha planificado (Salazar Osorio, 2006). Un indicador de impacto ambiental es aquél que transmite información sobre el estado del factor o componente ambiental y se utiliza para determinar el cambio en la calidad ambiental asociado a una determinada acción. De acuerdo a las relaciones de causalidad pueden existir indicadores de causa que permiten identificar la situación que origina el cambio en el factor, indicadores de efecto, que permiten identificar los cambios generados en el factor y los indicadores de calidad ambiental que combinan todas las variables para determinado el estado del factor (Toro et al., 2013).

Los indicadores de impacto ambiental pueden tener un carácter cualitativo o cuantitativo dependiendo del factor que se esté evaluando. Los indicadores de carácter cuantitativo se pueden expresar numéricamente, este es el caso de los índices, en los cuales se requiere del uso de funciones de transformación y de técnicas de muestreo que permitan cuantificar o correlacionar las variables analizadas con el estado del factor ambiental. Por su parte, los indicadores cualitativos utilizan conceptos de valoración calificativa en los cuales el estado de la variable puede ser evaluado como excelente, muy bueno, bueno, regular, malo, entre otros. Este tipo de calificación, propia de los métodos cualitativos, puede utilizar de manera paralela sistemas de rangos que finalmente permiten clasificar los impactos en una escala numérica (Gallopin, 1997) (Conesa, 1993).

2.1.3 Teledetección

Es la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales (Chuvieco, 1996).

Los objetos terrestres reflejan la radiación solar modificada por la misma estructura y composición de dichos objetos. La radiación reflejada es capturada y parcialmente procesada por los sensores ubicados en el satélite y, es retransmitida a estaciones receptoras en tierra para su posterior procesamiento y análisis (IGAC, 2005).

2.1.3.1 Interpretación de Imágenes Satelitales

Es la utilización de técnicas y procesos de análisis para identificar y valorar elementos que están sobre la superficie terrestre. Los intérpretes de imágenes satelitales identifican objetos a partir de otros elementos que les son asociados o a partir de componentes de estos objetos. El reconocimiento de los objetos es la clave de la interpretación y de la extracción de información. La observación de las diferencias entre los objetos y el plano de fondo, implica la comparación entre los diferentes objetos basándose en la combinación de características como el tono, forma, tamaño, patrón, textura, sombra y asociación. La interpretación de imágenes busca delinear áreas que tengan patrones uniformes de vegetación, fisiografía, etc., y estudiar la cobertura y/o uso del suelo representativos de cada situación. La interpretación por sí misma es solamente una técnica, cuyo uso adecuado requiere un tratamiento científico para poder así contribuir al desarrollo de la ciencia involucrada (IGAC, 2005).

2.1.4 Programas de modelación de CCUS

En las últimas décadas, se han desarrollado una gran cantidad de modelos de CCUS. Los CCUS pueden modelarse analizando las transformaciones que sufrió el paisaje en el pasado para desarrollar un modelo matemático que estima la probabilidad de cambio en función de un conjunto de variables explicativas y que permite mapear las diferentes transiciones. Para estimar los patrones y procesos de

cambio, se comparan dos mapas de cobertura/uso del suelo de dos fechas anteriores (Mas, Kolb, Houet, Paegelow y Camacho Olmedo, 2011).

Tal como lo indican Sandoval y Oyarzum (Sandoval y Oyarzun, 2004), la modelación estadística-espacial del CCUS se deriva de la combinación y el uso de técnicas cartográficas, sistemas de información geográfica y modelos estadísticos multivariantes.

Existen diferentes paquetes de modelación que tienen funciones herramientas y requisitos diferentes y, que utilizan distintos algoritmos. Los siguientes, son cuatro modelos que presentan un amplio abanico de enfoques y métodos:

2.1.4.1 CA_MARKOV (IDRISI Taiga)

Uno de los elementos espaciales básicos que determina la dinámica de muchos eventos de cambio es la vecindad: las áreas tendrán una mayor tendencia a cambiar de clase cuando estén cerca de áreas existentes de la misma clase, un fenómeno de expansión. Esto puede ser modelado usando autómatas celulares, es decir, una entidad celular que varía, independientemente su estado actual, basado en su estado previo y el de sus vecinos inmediatos de acuerdo a una regla específica. CA_MARKOV es un procedimiento combinado, autómatas celulares – Markov, de predicción de cambios en la cobertura del suelo, que añade un elemento de proximidad espacial, así como el conocimiento de la probable distribución espacial de las transiciones al análisis de cambios de Markov. Con el módulo CA_MARKOV se implementa un procedimiento de autómata celular muy específico para el contexto del modelado predictivo del cambio de cobertura del suelo (Clark University, s.f).

2.1.4.2 CLUE-S

El marco de modelización de la Conversión de Uso de la Tierra y sus Efectos (por sus siglas en inglés CLUE - Conversion of Land Use and its Effects) fue desarrollado para simular el cambio de uso de la tierra usando relaciones cuantificadas empíricamente entre el uso del suelo y sus factores impulsores en combinación con la modelización dinámica de la competencia entre los tipos de uso de la tierra. Debido a las diferencias en la representación de los datos y otras características típicas de las aplicaciones regionales, el modelo CLUE no puede aplicarse directamente a escala regional. Por lo tanto, el enfoque de modelado ha sido modificado y ahora se llama CLUE-S (la Conversión del Uso de la Tierra y sus Efectos a Pequeña Escala en el ámbito regional). CLUE-S está específicamente desarrollado para la simulación espacialmente explícita de cambio de uso de la tierra basado en un análisis empírico de la idoneidad de la ubicación combinado con la simulación dinámica de la competencia e interacciones entre lo espacial y lo temporal de los sistemas de uso de la tierra. (Verburg, 2010)

2.1.4.3 Land Change Modeler – LCM (IDRISI y como extensión de ArcGIS)

Land Change Modeler es un sistema que está totalmente integrado en el software TerrSet. LCM permite analizar rápidamente el cambio de la cobertura de la tierra, modelar empíricamente las relaciones con variables explicativas y simular escenarios futuros de cambio de tierra. También incluye herramientas especiales para la evaluación de estrategias de mitigación del cambio climático REDD (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques). Dadas las dos capas históricas de cobertura de la tierra en combinación con capas de variables explicativas potenciales (como pendiente, proximidad a carreteras, etc.), generar rápidamente gráficas y mapas de cambio de tierra, incluyendo ganancias y pérdidas, cambio neto, persistencia y un desglose de contribuyentes a cada

transición. A partir de ellas, se pueden hacer proyecciones de la cubierta terrestre esperada en una fecha futura (Clark University, s.f).

2.1.4.4 DINAMICA EGO

Dinamica EGO es una plataforma para el modelado ambiental con grandes posibilidades para el diseño desde un modelo espacial estático muy simple hasta dinámicas muy complejas, que en última instancia pueden involucrar iteraciones anidadas, multi-transiciones, retroalimentaciones dinámicas, multi-región y escala múltiple enfoque, y una serie de algoritmos espaciales complejos para el análisis y la simulación de fenómenos espaciotemporales (UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, s.f.).

2.1.4.5 MOLUSCE

Es un plugin de QGIS y se refiere a módulos para la evaluación del cambio de uso de la tierra (por sus siglas en ingles *Modules for Land Use Change Evaluation*). El plugin fue diseñado para analizar, modelar y simular cambios en el uso del suelo. MOLUSCE incorpora algoritmos bien conocidos, que pueden ser utilizados en análisis de cambio de usuario de la tierra/cubierta, análisis urbano, así como en aplicaciones forestales. MOLUSCE es muy adecuado para: analizar los cambios en el uso de la tierra y en la cubierta forestal; modelar el potencial de transición del uso de la tierra o las áreas en riesgo de deforestación; y simular futuros cambios en el uso de la tierra, la cubierta vegetal y la cubierta forestal (Asia Air Survey Co, 2012).

En la actualidad, MOLUSCE es usado para calcular el análisis del cambio de uso de la tierra de manera efectiva. El plugin realiza el mismo tipo de análisis que otro software propietario. Sin embargo, actualmente se están probando y desarrollando

submódulos para calcular la modelización y simulación del potencial de transición del uso de la tierra. (Asia Air Survey Co, 2013)

2.2 MARCO CONTEXTUAL

2.2.1 Marco Geográfico del Municipio de Mosquera

A continuación, se presentan información general del Municipio de Mosquera, Cundinamarca extraída del Plan de Desarrollo Municipal 2016 - 2019: *"Mosquera Tarea de Todos"*.

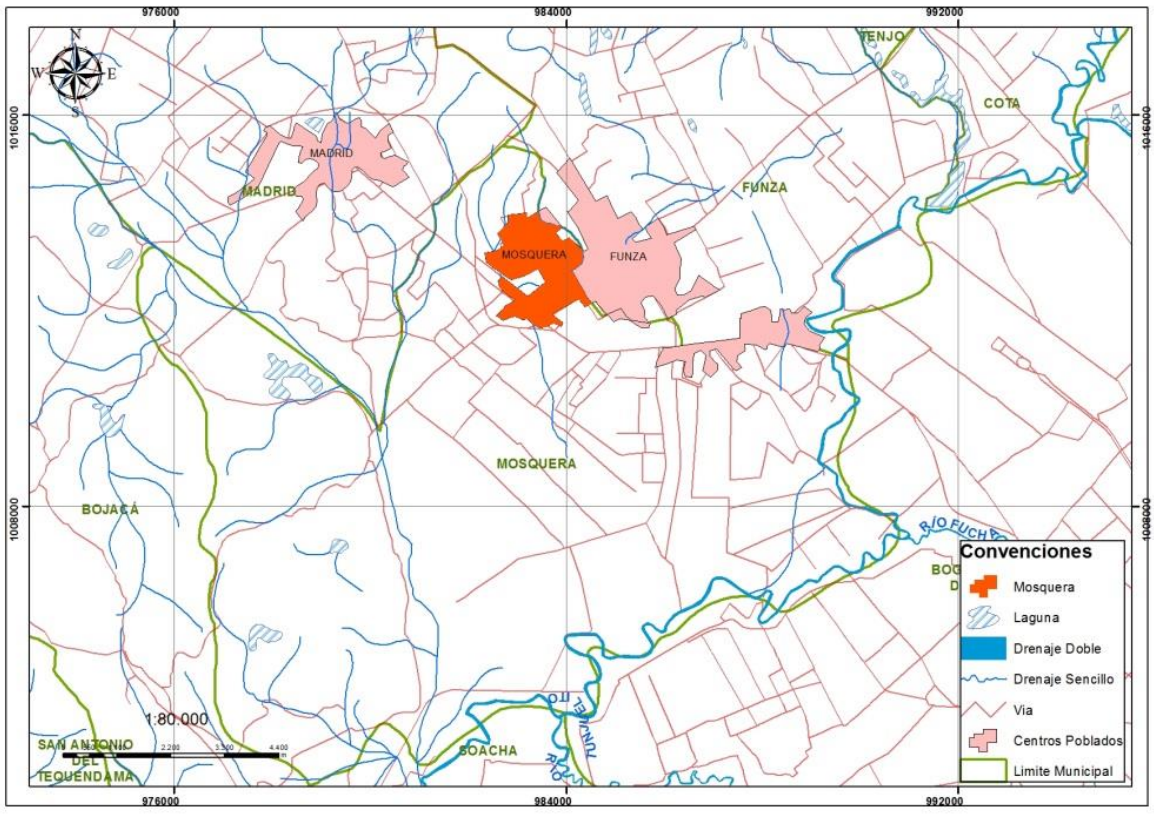


Figura 3. Municipio de Mosquera, Cundinamarca
Fuente. Autores, 2018.

2.2.1.1 Generalidades del Municipio de Mosquera

Datos Históricos

Los primeros habitantes de Mosquera, pertenecieron a la familia de los muiscas, estas son las características más importantes de éste grupo indígena.

El sitio de Cuatro Esquinas estaba habitado por los chibchas, el territorio hizo parte de la sabana de Bogotá, encomienda de Antón de Olaya. Adquirió importancia por ser el cruce de dos caminos que atravesaban la sabana del oriente a occidente y de norte a sur, que, por su distancia de Santafé, determinó el establecimiento de una posada, que fue la primera casa del pueblo. Con ocasión de las guerras civiles el sitio adquirió importancia política y militar. En 1818 fue nombrada estanquera Marina González, considerándosele prefundadora del pueblo

Se constituyó en honor al General Tomás Cipriano de Mosquera, ex presidente de la República, el 27 de septiembre de 1861 se dictó el Decreto de creación del nuevo distrito, firmado por el General Justo Briceño, Gobernador del Estado de Cundinamarca.

En el Municipio se presentó uno de los hechos más importantes en la historia del país: la Primera Comunicación Telegráfica, en el gobierno de Manuel Murillo Toro; la historia se remonta al 27 de mayo de 1865, se contrató en la ciudad de Nueva York la construcción de una línea telegráfica.

Por ordenanza No. 046 de 1927 se autorizó la construcción de un tranvía entre Funza y Mosquera, en cuyo reemplazo se hizo una carretera inaugurada en el mismo año. En 1929 se creó la Parroquia. Por Acuerdo del Consejo Municipal del 20 de julio de 1934 se creó la Biblioteca Municipal, que inauguró el humanista Luis López de Mesa. En los cerros de Malpaso y Mondoñedo se establecieron tres famosas ganaderías: Hacienda Mondoñedo, Hacienda de Venecia y la Hacienda Vista Hermosa.

La historia del Municipio está vinculada a la influencia de su principal eje vial, hoy carretera de occidente, camino que atravesando la Sabana unió la ciudad de Bogotá con la región del altiplano. Se dice que la construcción de esta importante vía determinó el desarrollo y consolidación de un paraje donde luego se desarrollaría un centro habitacional y comercial, que a través de los años permitió la consolidación de este Municipio.

El 13 de marzo de 1988 es elegido Jairo Reynaldo Benavidez como primer alcalde por elección popular

En los años 2006, 2007 y 2008 la categoría del Municipio se mantiene en el nivel 3 y a partir del 2009 su categoría es de nivel 2.

En el año 2011 el Municipio de Mosquera obtiene por primera vez un representante en la Asamblea Departamental de Cundinamarca en cabeza del Dr. Raúl Emilio Cazallas Rodríguez.

Provincia:	Sabana Occidente
Código DANE:	25473
Categoría:	Segunda: a partir del año 2009
Límites:	Por el Norte con Funza y Madrid Por el Sur con Bosa y Soacha Por el Oriente con Localidad de Fontibón y parte de Funza Por el Occidente con Bojacá y Madrid
Ubicación:	4° 42' 28" de latitud norte 74°13' 58" de longitud oeste del meridiano de Greenwich
Altitud:	2.516 metros sobre el nivel del mar
Extensión total:	107 Km^2

Área urbana: 7,67 Km^2

Área rural: 99,33 Km^2

Población Proyectada DANE 2016:

Población Urbana	96%
Población Rural	4%

Ordenamiento territorial del municipio

El objetivo principal del modelo de ordenamiento territorial del municipio de Mosquera Cundinamarca es consolidar el territorio de manera equilibrada social y espacialmente, creando condiciones urbanísticas de calidad, sistemas funcionales y de servicios eficientes adecuados a los requerimientos poblacionales y de desarrollo estratégico teniendo en cuenta el contexto regional.

Con la aplicación del Plan Básico de Ordenamiento Territorial se logra consolidar una estructura regional urbana con base en las características de las regiones y los centros urbanos que facilite el desarrollo y permita mejorar las condiciones de vida en el municipio, así mismo orienta a la Administración Municipal para que las inversiones se realicen de forma racionalizada y coherente y se logre mejorar las condiciones generales de la producción y el bienestar de la población y ordenar el proceso de uso y ocupación del territorio.

2.3 MARCO LEGAL

A continuación, se presenta la legislación aplicable a las actividades del proyecto (ver Tabla 2):

Tabla 2. Legislación Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial

Norma	Entidad que la expide	Observaciones
Ley 9 de 1979	Congreso de Colombia	Se establece para la protección del medio ambiente: a. Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana; b. Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.
Ley 99 de 1993	Congreso de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y lo recursos naturales renovables.
Ley 101 de 1993	Congreso de Colombia	Ley General de desarrollo agropecuario y pesquero
Ley 136 de 1994	Congreso de Colombia	Funciones y competencias de los municipios, categorización, organización y división territorial.
Ley 142 de 1994	Congreso de Colombia	Reglamenta la prestación de servicios públicos reglamentarios
Resolución 541 de 1994	Ministerio del Medio Ambiente	Reglamentación del cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros
Ley 152 de 1994	Congreso de Colombia	Ley Orgánica del Plan de Desarrollo.
Acuerdo 16 de 1998	CAR	Por la cual se expiden determinantes ambientales para la elaboración de los planes de ordenamiento territorial municipal en Cundinamarca.

Norma	Entidad que la expide	Observaciones
Decreto 1200 de 2004	Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo	Por el cual se determinan los instrumentos de planificación ambiental y se adoptan otras disposiciones.
Acuerdo 23 de 2006	Consejo Municipal de Mosquera	Se declara el Humedal de la Laguna de la Herrera como reserva hídrica, se establece su franja de protección y se adoptan otras determinaciones.
Resolución 0627 de 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Establece la Norma Nacional de emisión de ruido y ruido ambiental
Decreto 4065 de 2008	MAVDT	Se reglamentan las disposiciones de la Ley 388/97 relativas a las actuaciones y procedimientos para la urbanización e incorporación al desarrollo en suelo urbano y de expansión y se dictan otras disposiciones relativas a la participación en plusvalía
Ley 1333 de 2009	Congreso de Colombia	Establece el procedimiento sancionatorio ambiental
Decreto 3930 de 2010	MAVDT	Se reglamentan los vertimientos y manejo de residuos líquidos
Decreto 2820 de 2010	MAVDT	Tramite de Licencias Ambientales
Resolución 075 de 2011	MAVDT	Formato de reporte y estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público
Acuerdo 32 de 2013	Consejo Municipal de Mosquera	Adopción del PBOT del Municipio de Mosquera, Cundinamarca

Norma	Entidad que la expide	Observaciones
Decreto 2981 de 2013	Ministerios de Vivienda, Ciudad y Territorio	Reglamenta la prestación del servicio público de aseo
Decreto 384 de 2013	Alcaldía Municipal de Mosquera	Procedimiento para la imposición y aplicación del comparendo ambiental en el Municipio de Mosquera
Resolución 0754 de 2014	Ministerios de Vivienda, Ciudad y Territorio	Metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento y actualización de los PGIRS
Acuerdo 12 de 2014	Consejo Municipal de Mosquera	SIGAM - Sistema De Gestión Ambiental Municipal

Fuente. Autores, 2018.

3. MARCO METODOLÓGICO

En este proyecto se ha definido para la recolección de la información el método de investigación de Estudio Descriptivo.

Para la realización del presente documento el grupo de profesionales que intervino, llevó a cabo la recolección, estudio, análisis y procesamiento de la información de acuerdo al desarrollo de la siguiente metodología:

3.1 ESTRUCTURA METODOLÓGICA PRINCIPAL

A continuación, se describe la metodología mediante una matriz, relacionando las fases con objetivos, actividades y herramientas:

Tabla 3. Metodología general para la implementación del PMA (Fase I)

Fase	Objetivos Específicos	Actividades de los Objetivos	Instrumentos Metodológicos
1	Analizar la expansión urbana del Municipio de Mosquera para establecer un patrón de crecimiento de la zona urbana.	Recopilación de Imágenes Satelitales	Imágenes satelitales extraídas de USGS – EarthExplorer y procesamiento digital con QGIS
		Elaboración de mapas de Clasificación de Coberturas	Interpretación y clasificación de coberturas según metodología CLC con QGIS
2	Simular con el plugin MOLUSCE para QGIS el escenario de expansión urbana en el municipio de Mosquera para el año 2025 a través de imágenes satelitales.	Calibración del modelo	Modelamiento de CCUS con MOLUSCE
		Proyección de CCUS	

Fase	Objetivos Específicos	Actividades de los Objetivos	Instrumentos Metodológicos
3	Identificar y describir los impactos ambientales más relevantes generados por el escenario simulado a través de herramientas SIG.	Clasificación ámbitos de manifestación	Calificación de parámetros en Matriz de Interacción de Impactos
		Clasificación del impacto	Valoración de parámetros según su componente con Método Experto

Fuente. Autores, 2018.

3.2 DESCRPCIÓN DE INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS

3.2.1 Adquisición y procesamiento digital de imágenes

La herramienta EarthExplorer del USGS proporciona a los usuarios la capacidad de consultar, buscar y ordenar imágenes satelitales, fotografías aéreas y productos cartográficos de varias fuentes. EarthExplorer es una interfaz cliente/servidor que proporciona acceso al archivo del Centro de Ciencias y Observación de Recursos de la Tierra (EROS por sus siglas en inglés) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés).

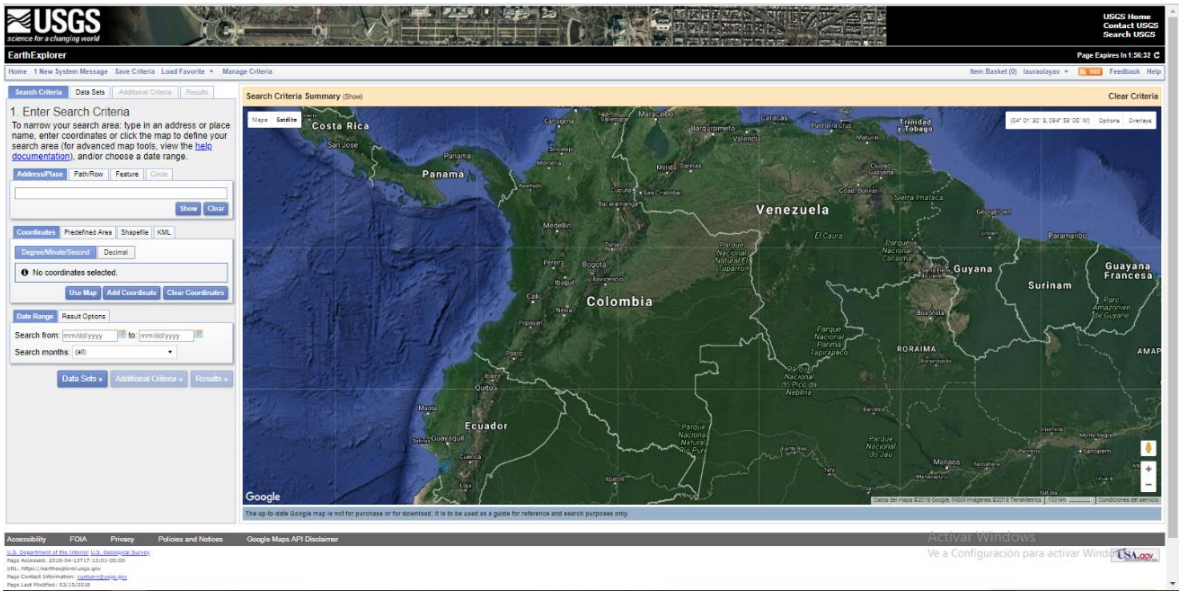


Figura 4. Interfaz EarthExplorer
Fuente. Autores, 2018.

Tabla 4. Características básicas de las imágenes.

Imagen / Característica	2000	2008	2016
Satélite	Landsat 5	Landsat 7	SENTINEL
Sensor	TM	ETM+	2A
Fecha de Adquisición	20-02-2000	23-10-2008	10-01-2016
Datum	WGS84	WGS84	WGS84
Elipsoide	WGS84	WGS84	WGS84
Proyección	UTM	UTM	UTM
Unidades	Metros	Metros	Metros
Zona	18	18	18
Path	8	8	8
Row	57	57	57

Fuente. Autores, 2018.

Tras realizar la descarga de las imágenes, se procede a recortarlas para trabajar solo con el área de interés y posteriormente realizar la interpretación. Para esto, es necesario hacer una composición de bandas que permita tener todos los canales del espectro disponibles en un único archivo raster que permita hacer diferentes combinaciones de bandas.

3.2.2 Interpretación y Clasificación de Coberturas

Para el caso particular de este trabajo, para realizar la clasificación de las coberturas se utiliza la metodología CORINE Land Cover (en adelante CLC) adaptada para Colombia. En esta fase, se realizan operaciones de clasificación y representación de los fenómenos presentes en la imagen.

La clasificación multi-espectral es el proceso de ordenar los pixeles en un número finito de clases individuales, o categorías de datos, basados en sus niveles digitales. Si un pixel satisface cierto conjunto de criterios, el pixel es asignado a la clase que corresponde a ese criterio. Este proceso también se conoce como segmentación de la imagen. Dependiendo del tipo de información que se quiera extraer de los datos originales, las clases pueden asociarse con elementos conocidos del terreno o pueden simplemente representar áreas que se ven diferentes en el computador (Intergraph Corporation, 2013).

Para efectos de esta clasificación se toman, como punto de partida, las clases de cobertura del suelo existentes en la zona de estudio, usando la clasificación CLC adaptada para Colombia, en un nivel de detalle apropiado para una imagen Landsat.

La metodología CLC tiene como propósito la elaboración del inventario homogéneo de la cobertura de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite (IDEAM, 2010).

A continuación, en la Tabla 5, se presentan las clases obtenidas.

Tabla 5. Clasificación de las coberturas del suelo en la zona de estudio.

No.	Nombre de la Clase	Color
1	Territorios Artificializados	
2	Territorios Agrícolas	
3	Bosques y Áreas Seminaturales	
4	Áreas húmedas continentales	
5	Cuerpos de agua	

Fuente. Autores, 2018.

3.2.3 Modelamiento de CCUS

La interfaz de usuario de MOLUSCE ofrece una interfaz con módulos y funciones específicos. A continuación, se describen brevemente los submódulos descritos en el manual de ayuda del plugin (NextGIS y Asia Air Survey, 2017).

3.2.3.1 Submódulo de entrada

En el submodelo de entrada se cargan mapas de uso de la tierra de diferentes épocas y datos de factores de impulso (impulsores de cambio) biofísicos y socioeconómicos como la red de carreteras, los ríos, la topografía, la población, etc.

3.2.3.2 Submódulo de cambio de área

Calcula los cambios cuantitativos de uso de la tierra entre los mapas inicial y final de uso de la tierra/cobertura. Se calculan matrices de transición de cambio de uso de la tierra, así como mapas de cambio de uso de la tierra.

3.2.3.3 Submódulo de datos de muestra

Selecciona aleatoriamente puntos de muestra especificados por el usuario, que se utilizarán para la calibración y validación del modelo.

3.2.3.4 Definir Submódulo de modelo

Se admiten cuatro métodos de modelado: Redes Neuronales Artificiales (ANN, por sus siglas en inglés *Artificial Neural Network*), y Regresión Logística (LR por sus siglas en inglés *Logistic Regression*), Evaluación Multicriterio (MCE por sus siglas en inglés *Multi Criteria Evaluation*) y Pesos de Evidencia (WoE por sus siglas en inglés *Weights of Evidence*).

En este proyecto se utiliza el método de Redes Neuronales Artificiales.

- Artificial Neural Network (ANN)

Cuenta que una función que especifica el número y el modo de muestreo, que pueden grabarse y visualizarse. Adicionalmente, cuenta con un algoritmo de aprendizaje que analiza la precisión alcanzada en los conjuntos de entrenamiento, valida las muestras y almacena la mejor red neuronal en la memoria. El proceso de entrenamiento termina cuando se alcanza la mejor precisión (NextGIS y Asia Air Survey, 2017).

Se utilizan cinco entradas para personalizar el modelado:

- El vecindario define el número de píxeles vecinos alrededor del píxel actual. Tamaño=1 significa 9 píxeles (región 3x3), size=2 significa 25 píxeles (5x5), etc.

- El ritmo de aprendizaje, el impulso y el número máximo de iteraciones definen los parámetros de aprendizaje. Un ritmo e impulso de aprendizaje grandes permiten un aprendizaje rápido, pero el proceso de aprendizaje puede ser inestable (picos en el gráfico). Una tasa de aprendizaje y un impulso pequeños significan un aprendizaje estable pero lento.

3.2.3.5 Submódulo de simulación

Muestra los mapas de potencial de transición y las estadísticas de calibración. Se produce un mapa simulado (proyectado) del uso de la tierra basado en un modelo de Monte Carlo Cellular-automata.

Se producen tres tipos de mapas de salida:

- El mapa de potencial de transición muestra la probabilidad o el potencial de cambio de una clase de uso y cobertura del suelo a otra. Los valores del potencial de transición van desde 0 (bajo potencial de transición del cambio) hasta 100 (alto potencial de transición). Los mapas de potencial de transición se elaborarán a partir de los cambios correspondientes en el uso de la tierra/cobertura (por ejemplo, potencial de transición de "bosque a bosque no poblado").

- La función de certeza (función experimental).

- El resultado de la simulación produce un mapa simulado de uso y cobertura de la tierra.

3.2.4 Matriz de Interacción de Impactos

Para identificación de la interacción de los impactos con el entorno se decide realizar un análisis por medio de una matriz de evaluación con los atributos propuestos en la metodología de Conesa (1993) ajustada con para las necesidades y alcances del estudio, estos impactos se identifican según sea su componente principal, Biótico, Abiótico o físico, y socioeconómico. De igual manera se parte del hecho que la identificación de impactos se realizara en un escenario proyectivo en para el cual se asumirá que el cambio será en el uso del suelo, pero el clima y ecosistemas de la biosfera se comportaran de manera similar a la del actual. En esta matriz se realizan una calificación en diferentes parámetros los cuales muestran a continuación.

3.2.4.1 Parámetros de calificación

i. **Naturaleza (Signo):** indica el carácter beneficioso o perjudicial de las actividades que van a tener efecto sobre cada componente; los valores para su calificación se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de Calificación para la Naturaleza.

Valor	Negativo	Positivo
±1	Cuando la acción produce una modificación desfavorable en el medio o en alguno de sus componentes.	Cuando la acción produce una modificación favorable en el medio o en alguno de sus componentes.

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

ii. **Intensidad (I):** la intensidad representa el grado de destrucción o afectación de las actividades sobre el componente y el ámbito específico en que actúa, independientemente de la extensión afectada. La Tabla 7 presenta los rangos para la calificación de la intensidad.

Tabla 7. Valores de Calificación para la Intensidad

Valor	Negativo	Positivo
1	**Baja:** Una afectación mínima y poco significativa.	**Baja:** Incidencia benéfica pero mínima y poco significativa sobre el medio.
2	**Media:** Se refiere a un grado de incidencia moderado del efecto sobre el medio.	**Media:** Se refiere a un grado de incidencia moderado del efecto sobre el medio.
4	**Alta:** Grado de incidencia fuerte que actúa sobre el medio.	**Alta:** Grado de incidencia fuerte que actúa sobre el medio.
8	**Muy Alta:** Grado de incidencia muy fuerte que actúa sobre el medio.	**Muy Alta:** Grado de incidencia muy fuerte que actúa sobre el medio.
12	**Total:** Destrucción total del componente en el área en la que se produce el impacto.	**Total:** Incidencia beneficiosa muy alta sobre el componente en el área en la que se produce el impacto

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

iii. **Extensión (EX):** La extensión hace referencia al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno de cambio de cobertura en que se sitúa el factor, es decir, el porcentaje de área afectada por la acción con respecto al entorno; los valores determinados para su evaluación se encuentran expresados en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de Calificación para la Extensión

Valor	Negativo	Positivo
1	**Puntual:** Cuando se afecta únicamente el sitio donde se está ejecutando la actividad que genera el impacto.	**Puntual:** Cuando el beneficio se da únicamente sobre el sitio donde se está ejecutando la actividad que genera el impacto.

Valor	Negativo	Positivo
2	**Parcial:** Si el efecto se manifiesta en un área mayor donde se ejecuta una actividad puntual.	**Parcial:** Si el efecto se manifiesta en un área mayor donde se ejecuta una actividad puntual.
4	**Amplio o Extenso:** Si el efecto se manifiesta en un área mayor donde se ejecuta la actividad puntual y parcial.	**Amplio o Extenso:** Si el efecto se manifiesta en un área mayor donde se ejecuta la actividad puntual y parcial.
8	**Total:** Si el impacto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto este se considera total	**Total:** Si la afectación se manifiesta en más del 90% del área de estudio.
(+4)*	**Crítico:** Si el efecto, sea puntual o no, se produce en un lugar crucial o crítico.	**General:** Si el efecto, sea puntual o no, se produce en un lugar crucial o crítico.

**** En el caso en que el impacto sea puntual, parcial, extenso o total, pero se produzca en un lugar de alta sensibilidad ambiental se le sumará 4 unidades adicionales (+4) al valor que le corresponda.***

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

iv. Momento (MO): El momento está considerado como el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción o ejecución de la actividad y el comienzo del efecto o impacto sobre el componente; la Tabla 9 señala los rangos establecidos para su valoración.

Tabla 9. Valores de Calificación para el Momento.

Valor	Negativo	Positivo
1	**Largo plazo:** El tiempo transcurrido entre la ejecución de la acción y la aparición del efecto es mayor a 5 años.	**Largo plazo:** El tiempo transcurrido entre la ejecución de la acción y la aparición del efecto es mayor a 5 años.

Valor	Negativo	Positivo
2	**Mediano plazo:** El tiempo transcurrido está comprendido entre 1 y 5 años.	**Mediano plazo:** El tiempo transcurrido está comprendido entre 1 y 5 años.
4	**Inmediato:** Cuando el tiempo transcurrido entre la ejecución de la acción y la aparición del efecto es menor de 1 año.	**Inmediato:** Cuando el tiempo transcurrido entre la ejecución de la acción y la aparición del efecto es menor de 1 año.
(+4)*	**Crítico:** Si se considera un impacto con características críticas que se puede dar en cualquier momento.	**Crítico:** Si se considera un impacto con características críticas que se puede dar en cualquier momento.

***Si el impacto se considera crítico, se debe sumar 4 unidades (+4) al valor asignado para evaluar el momento de aparición del impacto.**
Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

v. **Persistencia (PE):** Hace referencia al tiempo que en teoría permanecerá el efecto desde su aparición y a partir del cual se iniciará el proceso de recuperación ya sea de forma natural o mediante la adopción de medidas, ver Tabla 10.

Tabla 10. Valores de Calificación para la Persistencia.

Valor	Negativo	Positivo
1	Fugaz: duración menor a 1 año.	Fugaz: duración menor a 1 año.
2	Temporal: entre 1 y 10 años	Temporal: entre 1 y 10 años
4	Permanente: mayor de 10 años	Permanente: mayor de 10 años

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

vi. **Reversibilidad (RV):** La reversibilidad está definida como la posibilidad de reconstrucción del componente afectado por la ejecución de las actividades del proyecto de forma natural y sin intervención antrópica. Los valores

establecidos para la calificación de la reversibilidad se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores de Calificación para la Reversibilidad.

Valor	Negativo	Positivo
1	**Corto plazo:** Recuperación del medio en un periodo inferior a 1 año.	**Corto plazo:** Regresión del estado del medio en un periodo inferior a 1 año.
2	**Mediano plazo:** Recuperación del medio en un intervalo de 1 a 10 años.	**Mediano plazo:** Regresión del estado del medio en un intervalo de 1 a 10 años.
4	**Irreversible:** Cuando el factor ambiental alterado retorna a sus condiciones originales en un tiempo superior a 10 años.	**Irreversible:** Regresión del estado del medio a sus condiciones originales en un tiempo superior a 10 años.

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

vii. Sinergia (SI): La Sinergia se refiere a la acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales. Dichos efectos actúan de manera superior sobre el componente que si las actividades que los causan son realizadas de forma independiente. La Tabla 12 señala los valores establecidos para evaluar la sinergia.

Tabla 12. Valores de Calificación para la Sinergia.

Valor	Negativo	Positivo
1	**No Sinérgico:** Cuando las acciones que provocan las manifestaciones actúan de manera independiente.	**No Sinérgico:** Cuando las acciones que provocan las manifestaciones actúan de manera independiente.
2	**Sinérgico:** Cuando las acciones que provocan las manifestaciones se dan de manera simultánea reforzando el efecto.	**Sinérgico:** Cuando las acciones que provocan las manifestaciones se dan de manera simultánea reforzando el efecto.

Valor	Negativo	Positivo
4	**Muy Sinérgico:** Cuando las acciones que provocan las manifestaciones se dan de manera simultánea potencializando de forma significativa el efecto.	**Muy Sinérgico:** Cuando las acciones que provocan las manifestaciones se dan de manera simultánea potencializando de forma significativa el efecto.

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

viii. **Acumulación (AC):** Está definida como el incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando la(s) actividad(es) que lo está generando persiste de forma continua o reiterada. Los rangos de acumulación se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de Calificación para la Acumulación.

Valor	Negativo	Positivo
1	**Simple:** Se presenta cuando el efecto se mantiene o se disminuye por la suspensión de la actividad que lo genera.	**Simple:** Se presenta cuando el efecto se mantiene o se disminuye por la suspensión de la actividad que lo genera.
4	**Acumulativo:** Se presenta cuando tras la continuidad de una acción el efecto se incrementa.	**Acumulativo:** Se presenta cuando tras la continuidad de una acción el efecto se incrementa.

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

ix. **Efecto (EF):** Este atributo se refiere a la forma de manifestación del efecto sobre un componente como consecuencia de una actividad, los rangos establecidos para su valoración se exponen en la Tabla 14.

Tabla 14. Valores de Calificación para el Efecto.

Valor	Negativo	Positivo
1	**Indirecto:** Se presenta cuando su manifestación no es consecuencia	**Indirecto:** Se presenta cuando su manifestación no es consecuencia

Valor	Negativo	Positivo
	directa de la acción sino que se presenta a partir de un efecto.	directa de la acción sino que se presenta a partir de un efecto.
4	**Directo:** Se presenta cuando la repercusión de la acción tiene consecuencias directas sobre el medio	**Directo:** Se presenta cuando la repercusión de la acción tiene consecuencias directas sobre el medio

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

x. Periodicidad (PR): Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto; los niveles establecidos para la calificación de este parámetro se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Valores de Calificación para la Periodicidad.

Valor	Negativo	Positivo
1	**Irregular:** Se presenta de manera esporádica, con menor frecuencia y certeza.	**Irregular:** Se presenta de manera esporádica, con menor frecuencia y certeza.
2	**Periódico:** Cuando los plazos de manifestación presentan una regularidad y cadencia establecida.	**Periódico:** Cuando los plazos de manifestación presentan una regularidad y cadencia establecida.
4	**Continuo:** Las manifestaciones del efecto permanecen constantes en el tiempo.	**Continuo:** Las manifestaciones del efecto permanecen constantes en el tiempo.

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

xi. Recuperabilidad (MC): Se refiere a la posibilidad de recuperación, parcial o total del componente afectado como consecuencia de la ejecución del proyecto. Esta reconstrucción es por medio de intervención humana, es decir utilizando medidas de manejo. La Tabla 16 señala los valores y niveles establecidos para la calificación de la recuperabilidad.

Tabla 16. Valores de Calificación para la Recuperabilidad.

Valor	Negativo	Positivo
1	**Recuperable de manera inmediata:** Se refiere a la disipación del impacto en el corto plazo.	**Disipación de manera inmediata:** Se refiere a la disipación del impacto en el corto plazo.
2	**Recuperable a mediano plazo:** la recuperación del medio o la disipación del impacto se da en el mediano plazo y/o concluye cuando la actividad generadora finaliza.	**Disipación a mediano plazo:** la recuperación del medio o la disipación del impacto se da en el mediano plazo y/o concluye cuando la actividad generadora finaliza.
4	**Mitigable y Corregible:** Cuando se deben implementar acciones dirigidas a reducir los impactos y efectos negativos o cuando se deben implementar acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del medio ambiente afectado por un proyecto, obra o actividad	**Potenciable:** Cuando la implementación de acciones permite potencializar o aumentar los impactos y efectos positivos producto de un proyecto, obra o actividad.
8	**Irrecuperable:** Cuando se deben implementar acciones dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por un proyecto, obra o actividad, que no puedan ser evitados, corregidos, mitigados o sustituidos.	**Disipación incierta:** Se presume que el efecto generado por el impacto no se disipa en un plazo visible de tiempo y que parte de su incidencia se mantiene en el medio.

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

3.2.4.2 Cálculo del Índice de Importancia Ambiental

Posterior a la asignación del valor a cada impacto dentro de los parámetros mencionados, se procede con la cuantificación de la importancia de la acción sobre

cada factor ambiental. El índice de importancia ambiental (I) se calculó conforme a la siguiente fórmula.

$$I = \pm [3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Ecuación 1. Índice de Importancia Ambiental

Como resultado de este proceso se obtuvo la matriz de importancia con valores de impacto negativo, que oscilaron entre -13 y -100. Una vez obtenidos los valores de importancia para cada impacto negativo, estos fueron clasificados de acuerdo a los siguientes rangos, ver Tabla 17.

Tabla 17. Impactos de Naturaleza Negativa.

Irrelevante	-13 A -25
Moderado	-26 A -50
Severo	-51 A -75
Critico	-76 A -100

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

Respecto a los impactos positivos, se realizó una clasificación por rangos denominados así: Considerables, Relevantes y Muy Relevantes, y a su vez fueron resaltados en la matriz de valor de importancia, ver Tabla 18.

Tabla 18. Impactos de Naturaleza Positiva.

Considerables	13 A 30
Relevantes	31 A 47
Muy relevantes	48 A 100

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

3.2.5 Método Experto

Para la identificación y descripción de los impactos se parte de una calificación y valoración previa del impacto, Tabla 19, dando así una importancia la cual por medio

de herramientas SIG pueden ser procesada y analizada espacialmente y geográficamente para poder tener una mayor comprensión y abstracción del impacto, se analizar los impactos más relevantes y que por su naturaleza puedan especializarse, de esta manera tener la información de una manera cuantificable y visual, lo que ayuda a su comparación, abstracción y diagnóstico.

Para el caso de estudio se realizó el análisis a 6 impactos, dos por componente, ver Tabla 19.

Tabla 19. Matriz de Interacciones.

Medio	Elemento ambiental	Impacto ambiental	NA	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	I	Importancia
Abiótico	Paisaje	Cambio en la calidad paisajística													
Socio Económico	Económica	Dinamización de la economía local (oferta y demanda de bienes y servicios)													
	Patrones culturales clasificación	Dimensión cultural													
Biótico	Flora	Cambio en las coberturas vegetales naturales													
	Fauna	Modificación en la composición, estructura y distribución de la fauna silvestre													

Fuente. Conesa, 1993. Adaptación de los autores.

3.2.5.1 Descripción general del impacto

- **Cambio en la calidad paisajística**

Se refiere a las afectaciones en el entorno paisajístico, según la incidencia visual y el efecto de las actividades antrópicas en el paisaje, principalmente por las modificaciones en el relieve, los cuerpos de agua y las coberturas vegetales. Estas modificaciones afectan la percepción del paisaje por los observadores, modificando la funcionalidad del mismo, lo que se traduce en cambios de líneas de vistas, colores, texturas y en sí, de su calidad visual, lo cual podrá establecer o generar nuevas dinámicas o relación de los observadores con el entorno.

- **Dinamización de la economía local**

Alteración en la oferta/demanda en la prestación de bienes y/o servicios locales como transporte, alimentación, hospedaje, aseo y vigilancia, entre otros, requeridos para el desarrollo del proyecto y con él por la llegada de personal al área de interés

- **Dimensión cultural**

Son aquellos elementos socio-culturales autóctonos de la población de determinada región, que pueden cambiar paulatinamente debido al ingreso de diferentes tipos de agentes y/o actores (sociales, económicos, culturales, etc.), los cuales, producen cambios y adaptaciones parciales o totales en el "modus vivendi" de las poblaciones.

- **Cambio en las coberturas vegetales naturales**

Este impacto se refiere al cambio en el área u ocupación de la cobertura existente inicialmente, ya sea por eliminación o por el restablecimiento de la misma. Debido a la perturbación se genera la disminución de la riqueza, cambios en la estructura y composición florística que poseen las coberturas antes de su intervención.

- **Modificación en la composición, estructura y distribución de la fauna silvestre**

Este impacto se refiere a los cambios que se presentan sobre los hábitats de las poblaciones de fauna silvestre, que influyen en aspectos demográficos, de distribución y recambio. Debido al desarrollo de actividades antropicas se genera perdida o cambio de cobertura vegetal, estímulos sonoros, calor, gases o presencia de personas en la zona, que obliga a su desplazamiento. Incluye el efecto en especies que están catalogadas como endémicas, migratorias y amenazadas por la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), la Resolución 1912 de 2017 y las especies reportadas en los libros rojos. Adicionalmente se incluyen las especies con algún tipo de restricción de uso y comercialización a nivel internacional reportadas en CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres).

La metodología a seguir para la espacialización de los impactos en cada ámbito de manifestación se puede apreciar en la Figura 5.

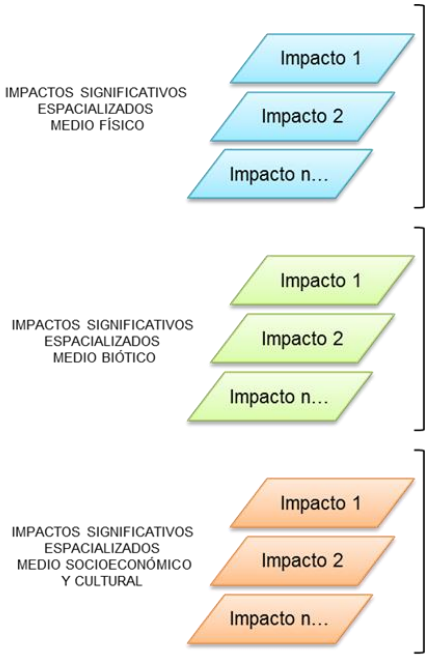


Figura 5. Espacialización de los impactos.
Fuente. Autores, 2018

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DEL PATRÓN DE EXPANSIÓN URBANA

4.1.1 Procesamiento Digital de imágenes

Inicialmente, las imágenes satelitales obtenidas del Servicio Geológico de Estados Unidos, a través de la plataforma EarthExplorer, vienen separadas en el número de bandas que cada sensor maneje y el área de recubrimiento es mucho más grande que la zona de interés.

Para realizar la interpretación es necesario hacer una composición de bandas que permita tener todos los canales del espectro disponibles en un único archivo raster para hacer diferentes combinaciones de bandas. Adicionalmente, se debe recortar la imagen para evitar trabajar con un gran volumen de datos que no se va a utilizar.

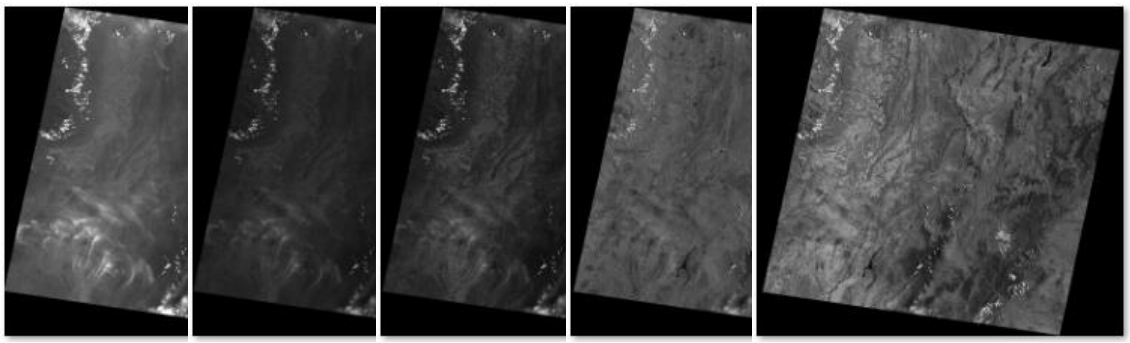


Figura 6. De izquierda a derecha: bandas 1 a 5, imagen Landsat 7 ETM+ del año 2000.
Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos.

Una vez hecha la composición de bandas y el área de trabajo definitiva, se procede con la identificación y clasificación de coberturas.



Figura 7. Recorte y Composición de Bandas RGB (321), imagen Landsat 7 ETM+ del año 2000.
Fuente: Autores 2018.

Para realizar este proceso de manera más rápida, se acude a un modelo que automatice el proceso para las cuatro imágenes que se van a interpretar, ver Figura 9.

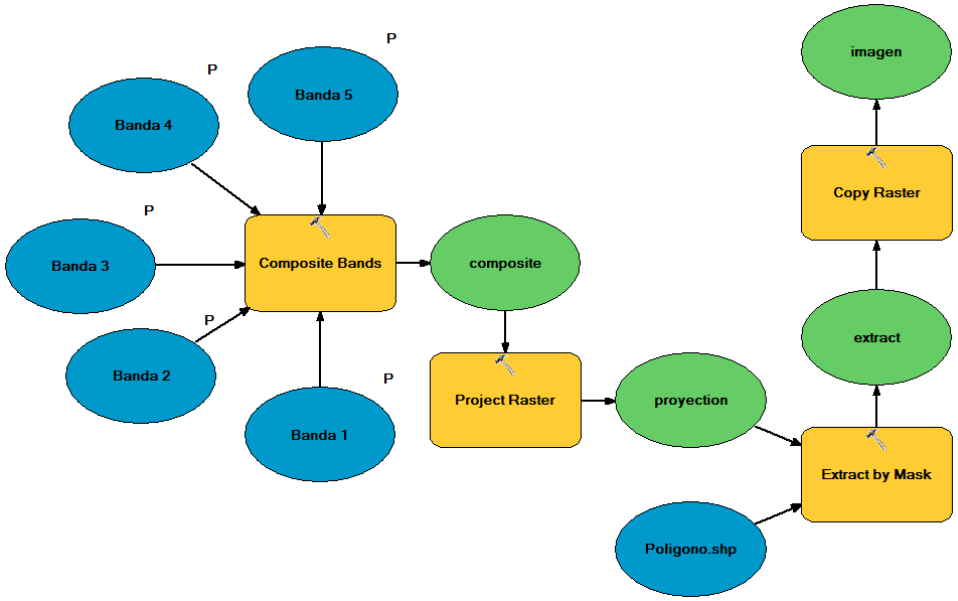


Figura 8. Modelo para composición, recorte y proyección de imágenes satelitales.
Fuente. Autores, 2018

4.1.2 Interpretación y Clasificación de Coberturas

Con base en las clases previamente definidas, se dibujan los polígonos y se generan los mapas de clasificación de cobertura del suelo que se muestran a continuación.

A continuación, se presenta el Mapa de Coberturas de la tierra del municipio de Mosquera, Cundinamarca, para el año 2000 (ver figura 9) y la relación de áreas de las coberturas para el mismo año (ver tabla 20).

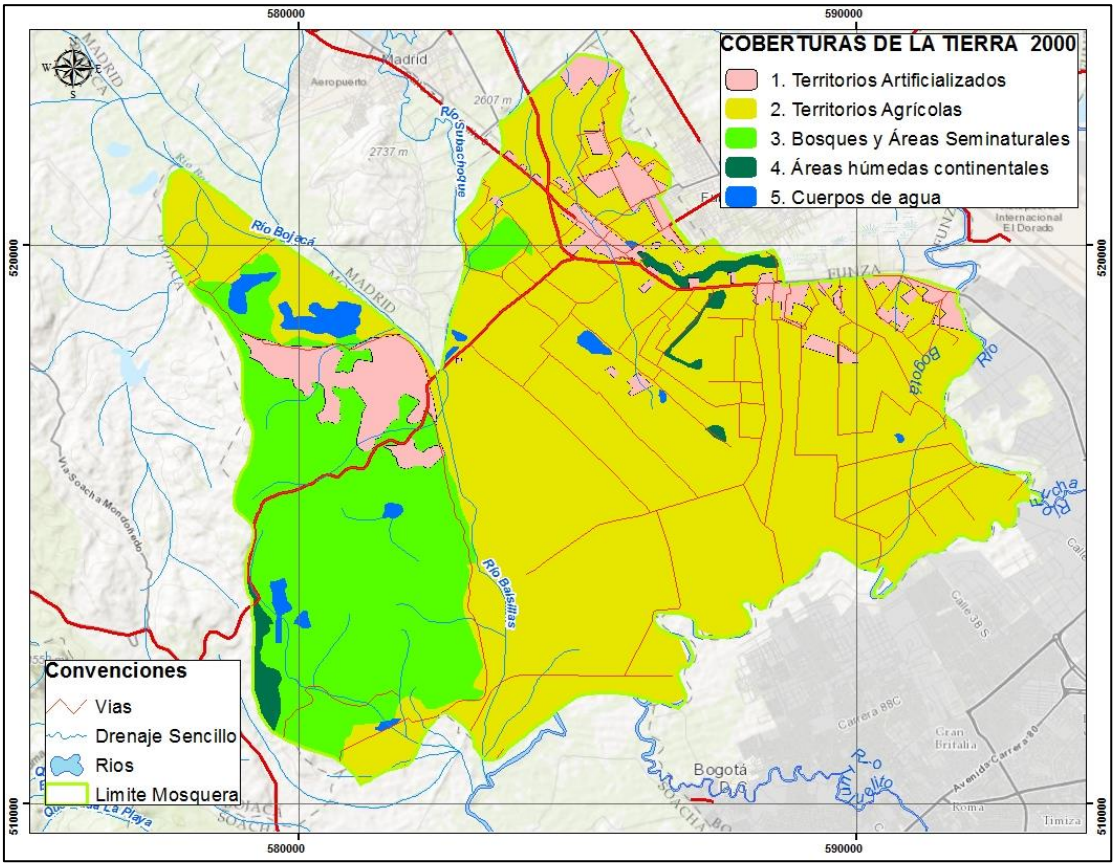


Figura 9. Mapa de cobertura de Mosquera, Cundinamarca para el año 2000
Fuente. Autores, 2018.

Tabla 20. Relación de áreas de coberturas para el año 2000

No.	Nombre de la Clase	Área (Ha)	% Municipio
1	Territorios Artificializados	790,73	7%
2	Territorios Agrícolas	7131,11	68%
3	Bosques y Áreas Seminaturales	2311,68	22%
4	Áreas húmedas continentales	153,15	1%
5	Cuerpos de agua	164,02	2%
	Total	**10550,69**	**100%**

Fuente. Autores, 2018.

Para el año 2000 tan solo el 7% del territorio del municipio de Mosquera correspondía a territorios artificializados o intervenidos por el hombre. Se observa que el 68% del área municipal tenía cobertura agrícola debido a que la actividad económica tradicional del municipio se basaba en la agricultura, la ganadería y la floricultura de exportación. Finalmente, se percibe que el 25% del suelo del municipio correspondía a áreas naturales, seminaturales o acuíferos.

A continuación, se presenta el Mapa de Coberturas de la tierra del municipio de Mosquera, Cundinamarca, para el año 2008 (ver figura 10) y la relación de áreas de las coberturas para el mismo año (ver tabla 21).

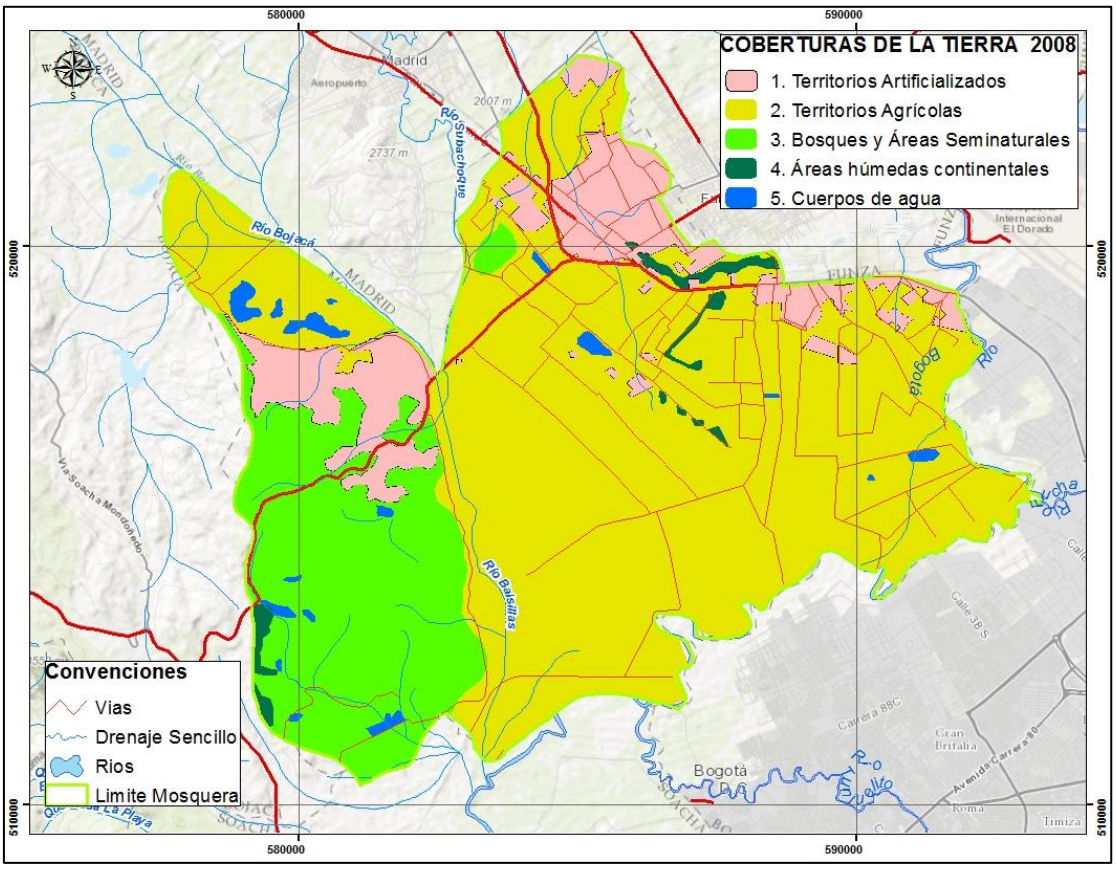


Figura 10. Mapa de cobertura de Mosquera, Cundinamarca para el año 2008
Fuente. Autores, 2018.

Tabla 21. Relación de áreas de coberturas para el año 2008

No.	Nombre de la Clase	Área (Ha)	% Municipio
1	Territorios Artificializados	1.262,54	12%
2	Territorios Agrícolas	6.887,53	65%
3	Bosques y Áreas Seminaturales	2.133,28	20%
4	Áreas húmedas continentales	135,69	1%
5	Cuerpos de agua	131,65	1%
	Total	**10550,69**	**100%**

Fuente. Autores, 2018.

En el caso del año 2008, se nota un claro incremento en la cobertura de territorios artificializados, pasa del 7% al 12%. Las áreas húmedas continentales se mantenían en 1% de cubrimiento del área territorial.

Por otro lado, las áreas destinadas a agricultura, los bosques y áreas seminaturales y, los cuerpos de agua presentan una disminución en su tamaño; los territorios agrícolas pierden 3% de cobertura terrestre con un 65% del área total del municipio, los bosques y áreas naturales por su parte, disminuyen en 2% su cobertura, con un 20%; los cuerpos de agua bajan al 1% de cobertura terrestre.

A continuación, se presenta el Mapa de Coberturas de la tierra del municipio de Mosquera, Cundinamarca, para el año 2016 (ver figura 11) y la relación de áreas de las coberturas para el mismo año (ver tabla 22).

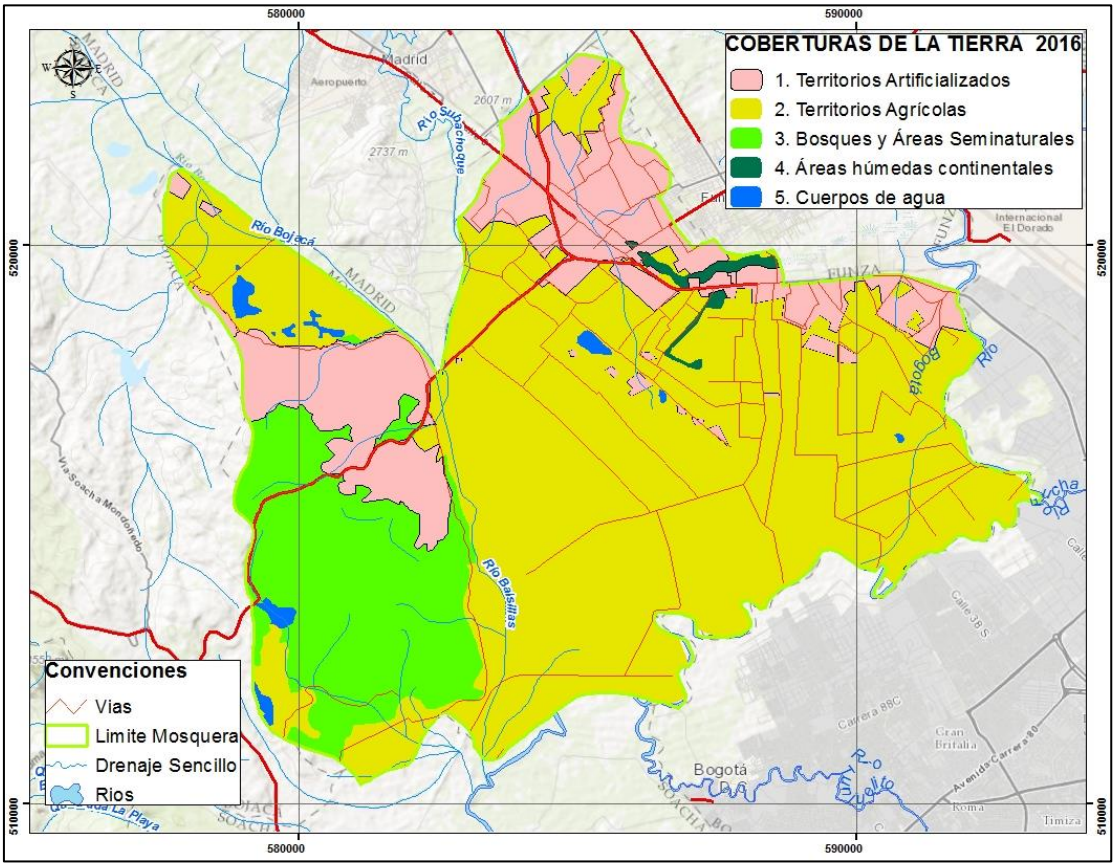


Figura 11. Mapa de cobertura de Mosquera, Cundinamarca para el año 2016
Fuente. Autores, 2018.

Tabla 22. Relación de áreas de coberturas para el año 2016

No.	Nombre de la Clase	Área (Ha)	% Municipio
1	Territorios Artificializados	1991,08	19%

No.	Nombre de la Clase	Área (Ha)	% Municipio
2	Territorios Agrícolas	6693,96	63%
3	Bosques y Áreas Seminaturales	1697,37	16%
4	Áreas húmedas continentales	73,99	1%
5	Cuerpos de agua	94,29	1%
	Total	**10550,69**	**100%**

Fuente. Autores, 2018.

Finalmente, para el año 2016 la cobertura de territorios artificializados aumenta 7%, pasando a tener un 19% de cobertura total. Los bosques y áreas seminaturales disminuyen y pasan a tener un 16% de cobertura; esto puede deberse a que la resolución de la imagen satelital es mucho mejor que la de las imágenes de los años anteriores.

La cobertura de territorios agrícolas nuevamente presenta una disminución, pasando a tener tan solo el 63% de cobertura. Las áreas húmedas continentales y los cuerpos de agua se mantienen en un 1% de cobertura del territorio respectivamente.

4.2 SIMULACIÓN DE LA EXPANSIÓN URBANA PARA EL AÑO 2025

4.2.1 Datos de entrada

Para llevar a cabo la modelación se deben definir las variables (posibles impulsores de cambio) y los mapas de cobertura de suelo con diferentes fechas. Las variables impulsoras de cambio se denominan de esta forma debido a que sus atributos no cambian a lo largo de las iteraciones del modelo.

La preparación de las variables y de los mapas, incluye la generación de información ráster homologada, es decir, cada variable y mapa plasmado en un raster deberá contar con el mismo número de filas, columnas, píxeles y sistemas de proyección.

Para el caso de este estudio la variable estática utilizada fue la distancia a las vías (ver Figura 12), obtenido de un análisis de proximidad del archivo de vías tomado de los datos abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2017).

El algoritmo de proximidad genera un mapa de proximidad ráster que indica la distancia desde el centro de cada píxel hasta el centro del píxel más cercano identificado como píxel de destino (Quantum GIS, 2018).

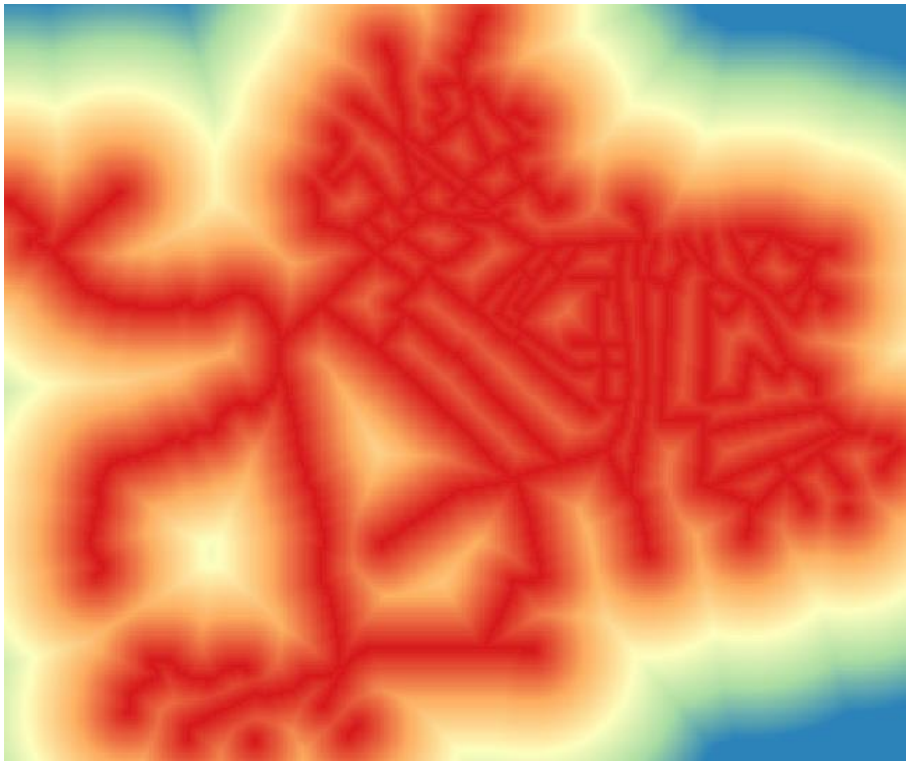


Figura 12. Mapa de distancia a vías.
Fuente. Autores, 2018.

4.2.1.1 Cambios de área

A través de esta función, se establecen los cambios en las áreas de las coberturas en hectáreas y en porcentaje, ver Tabla 23. Cabe aclarar que las áreas pueden diferir un poco de las relacionadas en las Tablas 21 y 22 porque en este paso el software la calcula sobre datos tipo ráster a diferencia de la interpretación que se hizo sobre datos de tipo vector.

Tabla 23. Cambios de área para cada cobertura entre el 2008 y el 2016.

Clase	Cambio de área en ha			Cambio de área en %		
	2008	2016	Δ	2008	2016	Δ
1	1262,17	2009,68	747,51	12	19	7
2	6893,65	6681,88	-211,78	65	63	-2
3	2131,44	1694,75	-436,68	20	16	-4
4	133,52	72,51	-61,02	1	1	-1
5	131,88	93,85	-38,03	1	1	0

Fuente. Autores, 2018.

4.2.1.2 Matriz de transiciones

MOLUSCE utiliza una matriz de Markov para describir la tasa de transición entre cada par de categorías. En una cadena Markov, los cambios en el siguiente estado dependen sólo del estado actual y no de la secuencia de eventos que lo preceden; debido a esto sólo se necesitan dos mapas de clasificación de coberturas.

A continuación, se muestra la matriz de transiciones obtenida, utilizando como paisaje o mapa inicial la clasificación del año 2008 y, como final, la clasificación de coberturas del año 2016; esta matriz muestra la proporción de pixeles que cambia de un uso y cobertura del suelo a otro.

Tabla 24. Matriz de transiciones.

Clase	1	2	3	4	5
1	0,972469	0,024713	0,002818	0	0
2	0,079143	0,912641	0,006866	0	0,001349
3	0,105392	0,137612	0,753273	0	0,003723
4	0,073770	0,049180	0,170082	0,543033	0,163934
5	0,016598	0,450207	0,118257	0,000000	0,414938

Fuente. Autores, 2018.

Las tasas de transición determinan la cantidad neta de cambios, es decir, el porcentaje de área que será cambiado a un tipo de uso del suelo o cobertura diferente al original.

De la matriz anterior, se puede deducir que, entre los años 2008 y 2016, los mayores cambios los han sufrido las coberturas de clase 4 y 5, correspondiente a áreas húmedas continentales y cuerpos de agua respectivamente, que se han transformado en a todas las demás clases; este fuerte cambio puedo deberse a el descuido por parte de las autoridades municipales de las rondas de los cuerpos de agua y zonas de protección.

De la información anterior se obtiene un mapa de cambios que muestra espacialmente los datos relacionados en las Tablas 23 y 24, ver Figura 13.

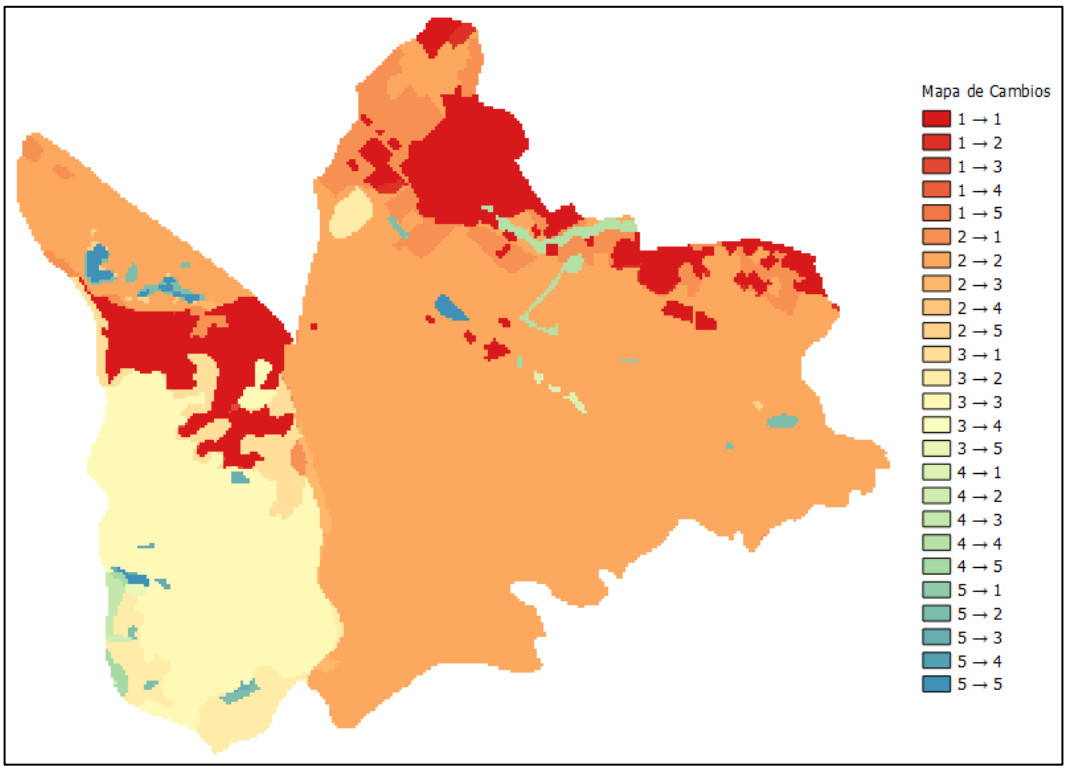


Figura 13. Mapa de Cambios 2008 – 2016.
Fuente. Autores, 2018.

4.2.1.3 Red Neuronal Artificial

Se establece un vecindario de 9 pixeles, una tasa de aprendizaje de 0,1 y 1000 iteraciones máximo para obtener la curva de aprendizaje de red neuronal que se muestra a continuación en la Figura 14.

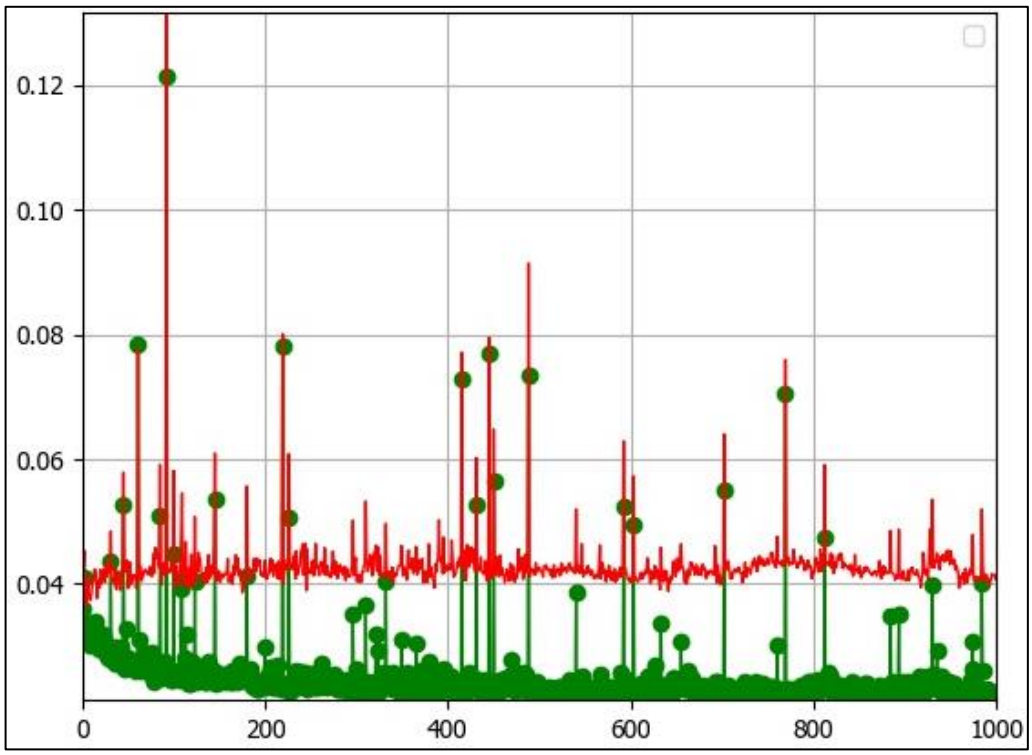


Figura 14. Curva de Red Neuronal de Aprendizaje.
Fuente. Autores desde la interfaz de MOLUSCE, 2018.

4.2.2 Proyección de CCUS

Luego de la calibración del modelo, se crea el mapa de simulación de CCUS para el año 2025, se hacen 9 iteraciones para modelar la expansión del año 2016 al año 2025 (ver Figura 15); la relación de las áreas de las coberturas para la simulación se puede ver en la Tabla 25.

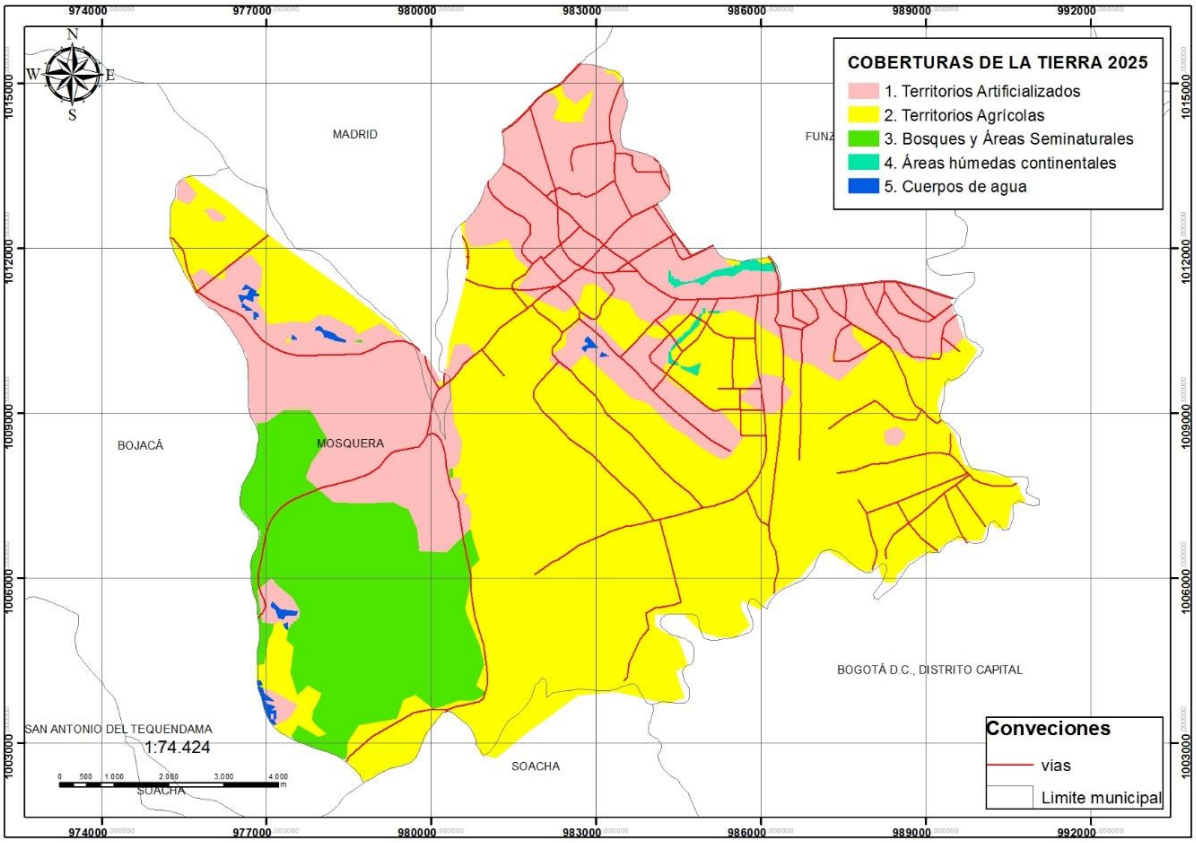


Figura 15. Simulación para el año 2025.
Fuente. Autores, 2018.

Tabla 25. Relación de áreas de coberturas para el año 2025.

No.	Nombre de la Clase	Área (Ha)	% Municipio
1	Territorios Artificializados	3279,76	31,09%
2	Territorios Agrícolas	5665,65	53,70%
3	Bosques y Áreas Seminaturales	1529,92	14,50%
4	Áreas húmedas continentales	39,83	0,38%
5	Cuerpos de agua	35,54	0,34%
	Total	**10550,69**	**100%**

Fuente. Autores, 2018.

Según el escenario simulado, para el año 2025 la cobertura de territorios artificializados pasa a tener un 31% de cobertura total del municipio; los bosques y áreas seminaturales tendrán un 14% de cobertura; la cobertura de territorios

agrícolas tendrá cerca de un 54% de cobertura; mientras que, las áreas húmedas continentales y los cuerpos de agua tendrán menos del 1% de cobertura del territorio.

En las Tablas 26 y 27 se puede apreciar en cambio en las áreas para cada cobertura y la transición entre las mismas.

Tabla 26. Cambios de área para cada cobertura entre el año 2016 y la simulación para el 2025.

Clase	Cambio de área en ha			Cambio de área en %		
	2016	2025	Δ	2016	2025	Δ
1	2009,68	3243,94	1234,26	19,0	30,7	11,7
2	6681,88	5705,08	-976,79	63,3	54,1	-9,3
3	1694,75	1533,32	-161,43	16,1	14,5	-1,5
4	72,51	31,74	-40,77	0,7	0,3	-0,4
5	93,85	38,58	-55,27	0,9	0,4	-0,5

Fuente. Autores, 2018.

Los signos de negativos en los cambios de cobertura corresponden a una pérdida de cobertura. Se puede apreciar que la cobertura de territorios artificializados es la única que no presentaría pérdidas en estos dos periodos de tiempo y por el contrario muestra el aumento más significativo en área de cubrimiento en el municipio. La cobertura que más disminuiría sería los territorios con cobertura agrícola.

Tabla 27. Matriz de transiciones entre las coberturas del año 2016 y la simulación para el 2025.

Clase	1	2	3	4	5
1	1	0	0	0	0
2	0,14639	0,85361	0	0	0
3	0,095092	0,000161	0,904747	0	0
4	0,562264	0	0	0,437736	0
5	0,577259	0,011662	0	0	0,411079

Fuente. Autores, 2018.

La Tabla 27 muestra como todas las coberturas presentan una transición hacia la cobertura de territorios artificializados, mientras que esta no presenta variación alguna. Adicionalmente, las coberturas de bosques y áreas seminaturales y los cuerpos de agua presentarán una ligera migración hacia la cobertura de territorios agrícolas, pero este no sería un cambio muy significativo.

En la Figura 16, se aprecia la transición de las coberturas que detalla la Tabla 27. En este mapa de cambios se puede apreciar cómo se va transformará cada cobertura desde la situación en territorio para el año 2016 hasta el escenario simulado 9 años más tarde en el 2025.

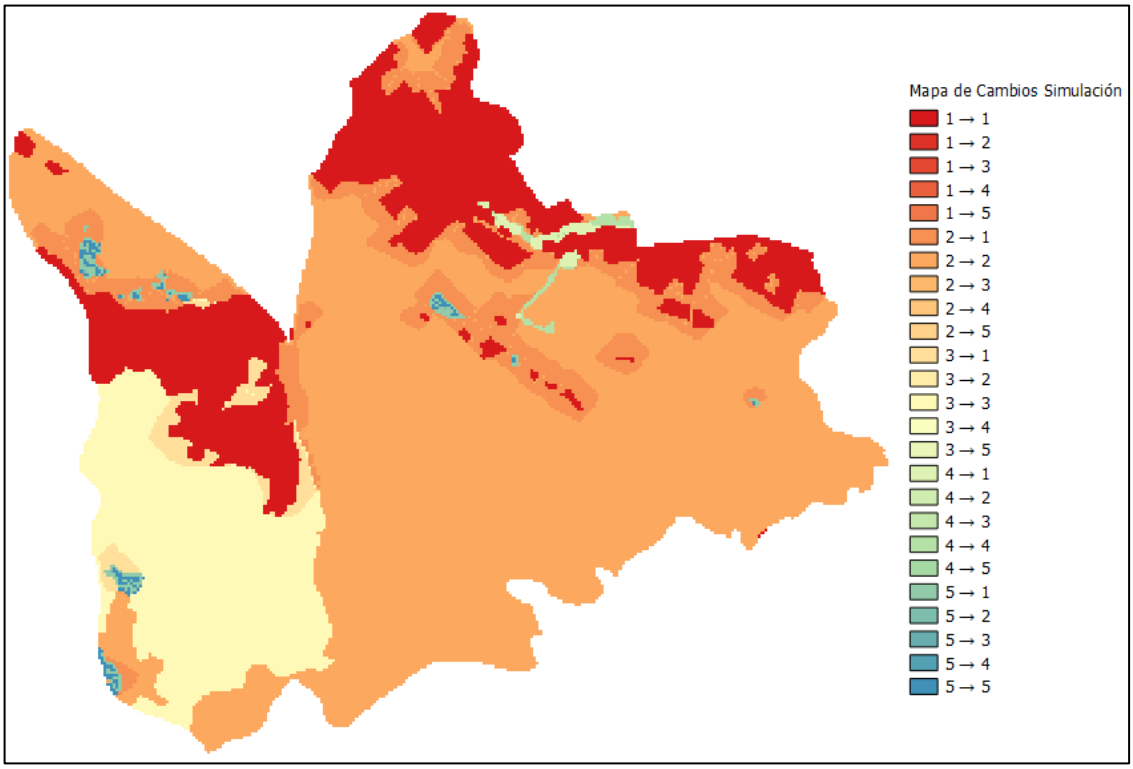


Figura 16. Mapa de Cambios 2016 – 2025.
Fuente. Autores, 2018.

En la Figura anterior, se evidencia en mayor medida como las coberturas con uso agrícola (2 - en tonalidad mandarina) tiene una sombra con un color más rojizo (1 - terrorrios artificializados), estas son las coberturas más propensos a un cambio de

uso cobertura; también se aprecia, en menor medida, la sombra rojiza sobre los cuerpos de agua (5 - con tonos azules).

4.3 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

En este punto, es pertinente analizar como el acceso a los recursos hídricos y a la accesibilidad del territorio, en el caso de las vías, son los mayores factores que influyen en la expansión urbana, generando también un mayor impacto ambiental en coberturas sensibles como los humedales, lagunas, y drenajes (ver Figura 17).

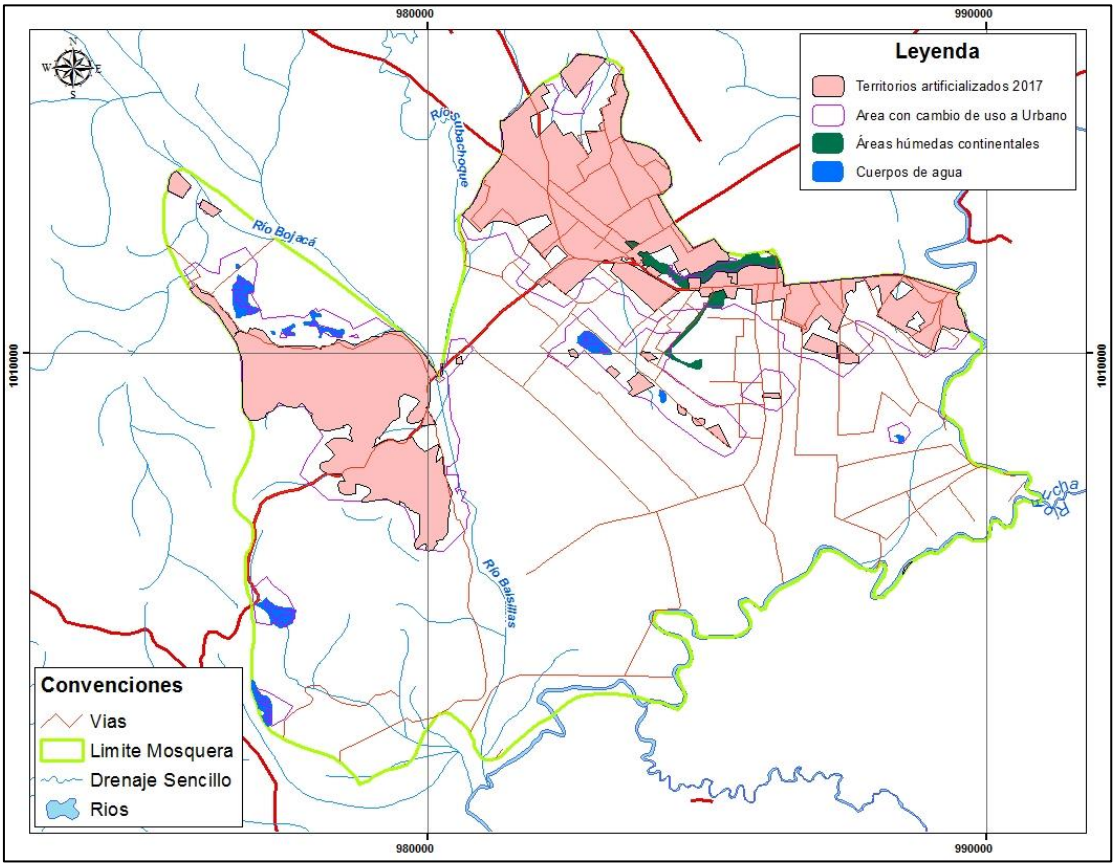


Figura 17. Impulsores de cambio del uso del suelo urbano.
Fuente. Autores, 2018.

A continuación, se muestran los cinco impactos relevantes que se tomaron para realizar el análisis: dos de componente social, dos de componente biótico y uno de componente físico; la calificación detallada se encuentra en el Anexo 1.

4.3.1 Cambio en la calidad paisajística

Según la calificación de los parámetros este impacto tiene una importancia severa Ya que es de entender que no es fácil remplazar la belleza de una plata por cemento de una casa o un edificio de 5 pisos, la gran incidencia visual que podría tener la cantidad actividades antrópicas que conlleva una ciudad en expansión el transporte, la congestión, los edificios entre otros factores.

Para este impacto se tuvo en cuenta la incidencia en las coberturas naturales. Su porcentaje en áreas se presenta en la Tabla 28.

Tabla 28. Incidencia del impacto de cambio en la calidad paisajística en las coberturas.

Cobertura transformada	Área (Ha)	% Cobertura
Bosques y Áreas Seminaturales	166,74	35%
Áreas húmedas continentales	33,25	10%
Cuerpos de agua	57,76	55%
Total	**257,75**	**100%**

Fuente. Autores, 2018.

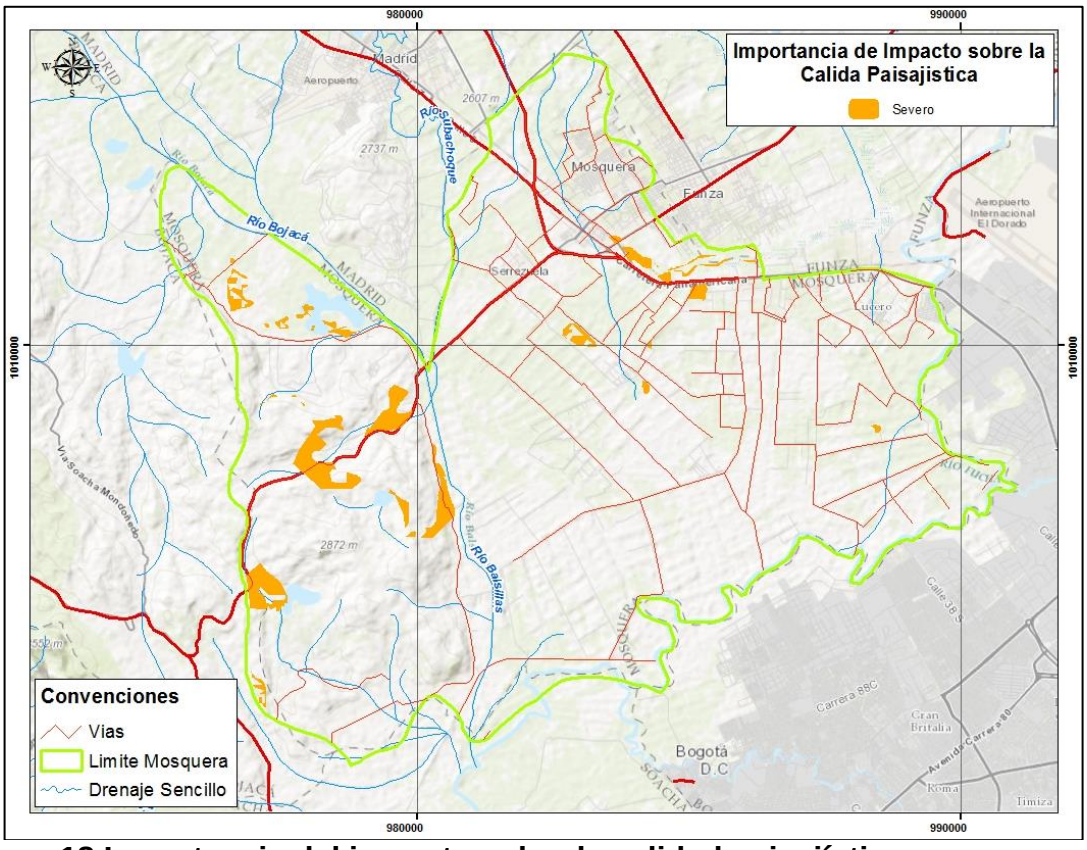


Figura 18.Importancia del impacto sobre la calidad paisajística.
Fuente. Autores, 2018.

4.3.2 Dinamización de la economía local

Se da a la dimensión económica local la importancia de muy relevante, por la alteración que se da en la oferta y demanda de los bienes y/o servicios que surgen atreves la expansión urbana como vivienda, transporte, alimentación, comercio, aseo y vigilancia, entre otros, requeridos para el desarrollo de una sociedad y una ciudad. La valoración es positiva, ya que el incremento de esos bienes y/o servicios incrementaran la inversión en el municipio, generando emprendimiento y comercio y, así si se tiene una adecuada administración, recaudando más en impuestos y obteniendo unos mejores indicadores de desarrollo local.

Para este impacto se tuvo en cuenta la totalidad del área transformada, puesto que de alguna manera todas las coberturas atropogenizadas generarán un bien y/o servicio que dinamizará la económica de la región.

A continuación, en la Tabla 29, se observan las coberturas que más se transforman; estas son las que pasan de agrícola a urbanas, cambiando uso de agrícola o pecuario a uno residencial o comercial, según sea el caso. En la Figura 19 se observa como casi un 30% de municipio ha cambiado su vocación de uso del suelo.

Tabla 29. Incidencia del impacto de dinamización de la economía local en las coberturas.

Cobertura transformada	Área (Ha)	% Municipio
Territorios Artificializados	1.980,30	60,52%
Territorios Agrícolas	1.034,33	31,61%
Bosques y Áreas Seminaturales	166,74	5,10%
Áreas húmedas continentales	33,25	1,02%
Cuerpos de agua	57,76	1,77%
Total	**3.272,38**	**100%**

Fuente. Autores, 2018.

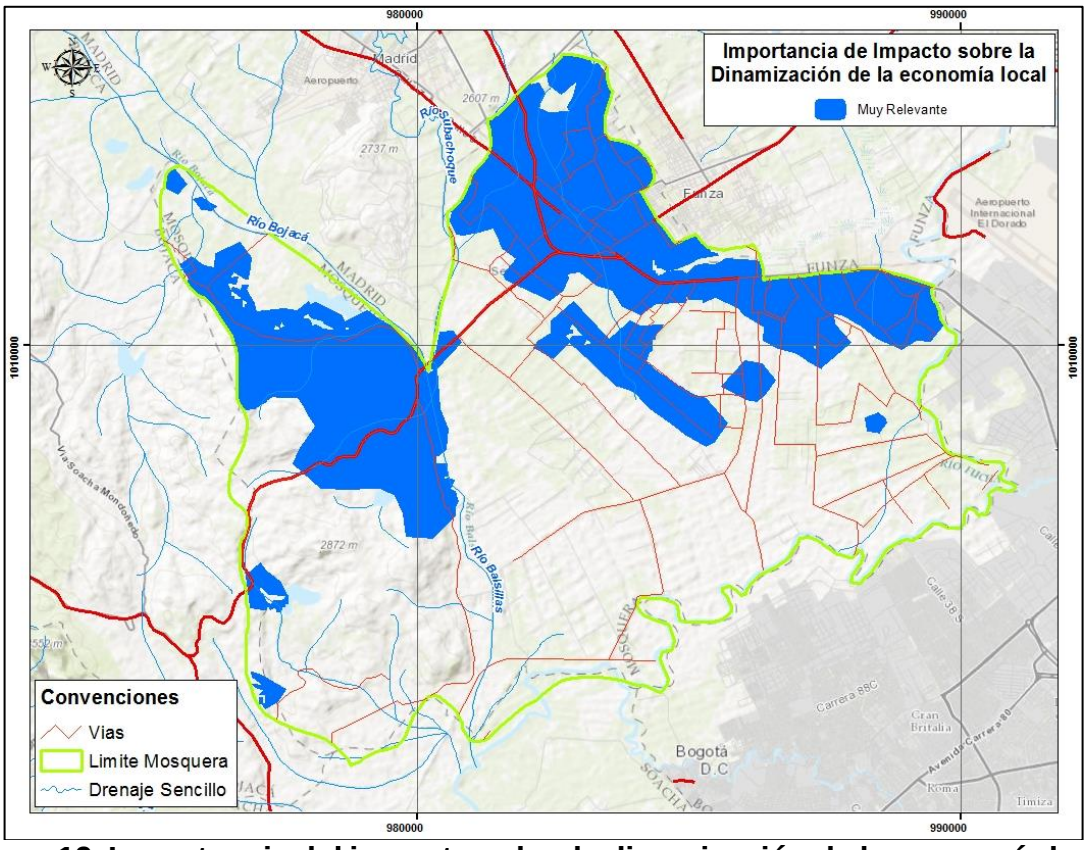


Figura 19. Importancia del impacto sobre la dinamización de la economía local. Fuente. Autores, 2018.

4.3.3 Dimensión cultural

El impacto a la dimensión cultural tiene una importancia moderada; sin embargo, su ámbito de manifestación se toma únicamente para los territorios agrícolas, en 1.034 Ha afectadas por la expansión urbana (ver Tabla 30 y Figura 20), dado que este cambio de cobertura y uso del suelo altera las costumbres o “modus vivendi”, de manera total o parcial, de la población del sector rural del municipio. A pesar de la importancia que tiene el impacto y la naturaleza, negativa asignada en la calificación, este no es el más significativo de los impactos identificados.

Tabla 30. Incidencia del impacto de dimensión cultural en las coberturas.

Cobertura transformada	Área (Ha)	% Municipio
Territorios Agrícolas	1.034,33	100%
Total	**1.034,33**	**100%**

Fuente. Autores, 2018.

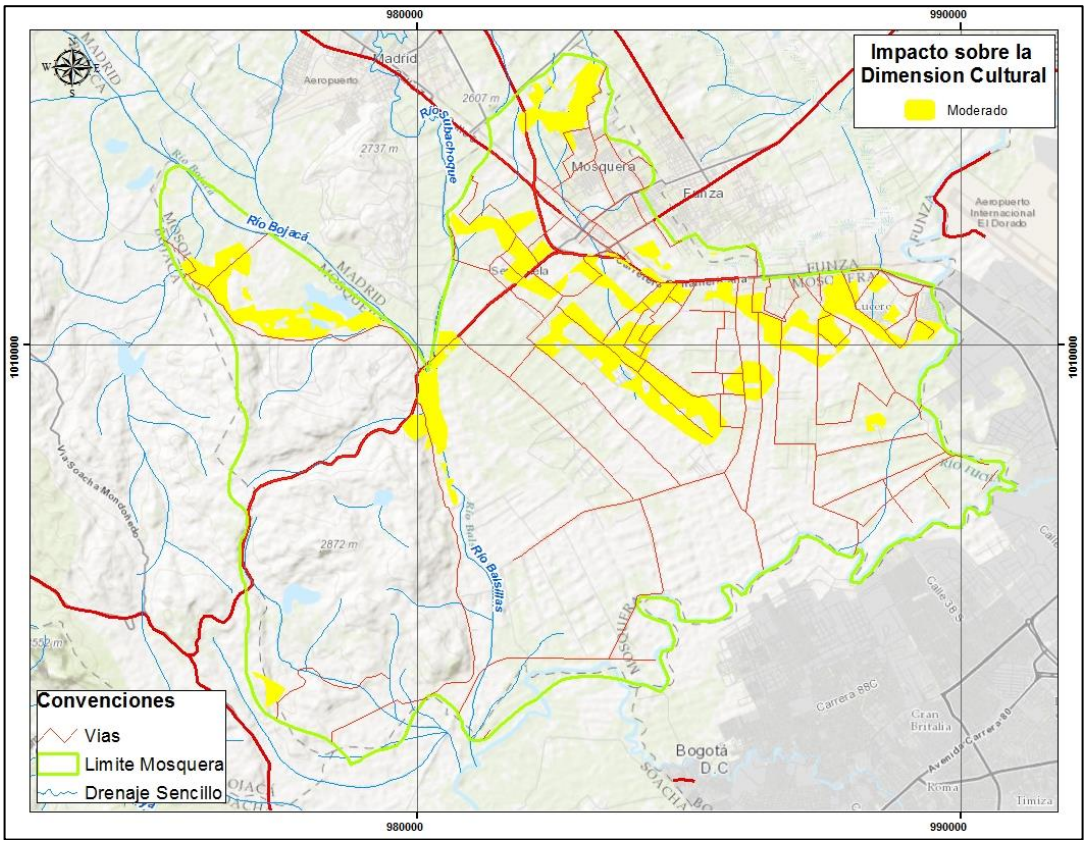


Figura 20. Importancia del impacto sobre la dimensión cultural.
Fuente. Autores, 2018.

4.3.4 Cambio en las coberturas vegetales naturales

Este impacto se manifiesta específicamente sobre las coberturas que bridan, de una manera u otra, un servicio ecosistémico al ambiente. Como se aprecia en la Figura 20, se califica con una importancia crítica ya que la gran mayoría de las coberturas impactadas se eliminarán o se cambiarán de tal manera que el servicio ecosistémico será controlado por algunos poderes o intereses externos como, por ejemplo, el que

puede llegar a pasar en el recurso agua; de igual manera, es crítica porque la vegetación y la fauna se ven directamente afectadas, generando una pobreza ambiental progresiva en la composición ecosistémica del municipio.

Tabla 31. Incidencia del impacto de cambio en las coberturas vegetales naturales en las coberturas.

Cobertura transformada	Área (Ha)	% Municipio
Bosques y Áreas Seminaturales	166,74	64,69%
Áreas húmedas continentales	33,25	12,90%
Cuerpos de agua	57,76	22,41%
Total	**257,75**	**100%**

Fuente. Autores, 2018.

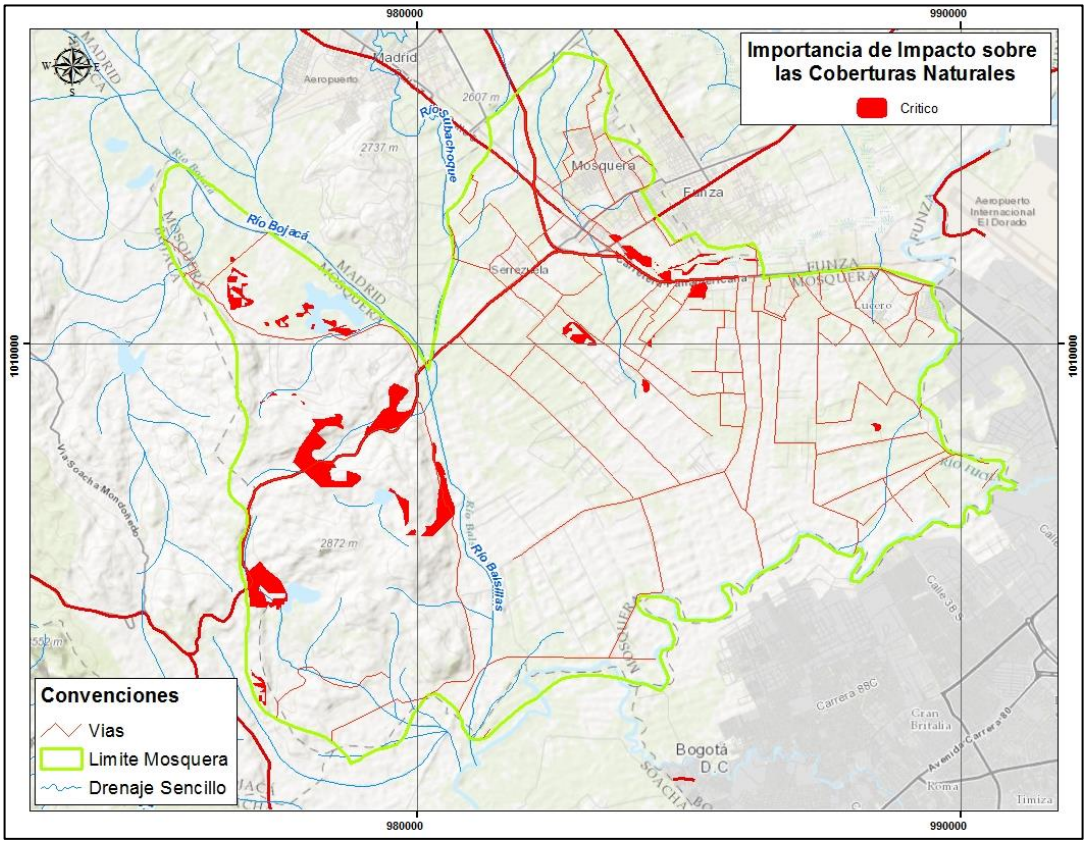


Figura 21. Importancia del impacto sobre la dimensión cultural.
Fuente. Autores, 2018.

4.3.5 Modificación en la composición, estructura y distribución de la fauna silvestre

A través de la calificación, se logra determinar que este impacto tiene una importancia severa, ya que, como se observa en la Figura 22, según la consulta realizada al sistema de información de alertas tempranas (Tremarctos Colombia 3.0, 2018), para el municipio de Mosquera se tienen áreas de distribución de especies sensibles, cuya mayor cantidad de individuos corresponde a avifauna de la región y sitios migratorios para las mismas.

Al contrastar las Figura 22 y Figura 23 vemos que algunas partes de los parches rosados corresponden a la distribución de especies sensibles y coinciden, en su gran mayoría, con los mismo lugares o parches en los cuales se manifiesta el impacto de la distribución en la estructura de la fauna silvestre, con color naranja en la Figura 23; para este impacto se calificaron las coberturas de bosques, áreas seminaturales y áreas húmedas continentales, ver Tabla 32, que son las que más concentración de vegetación arbustiva tienen y en cuales se evidencia como afecta el hábitat o lugar de paso de la las aves migratorias y algunos reptiles que termina siendo la estructura ecositémica del municipio.

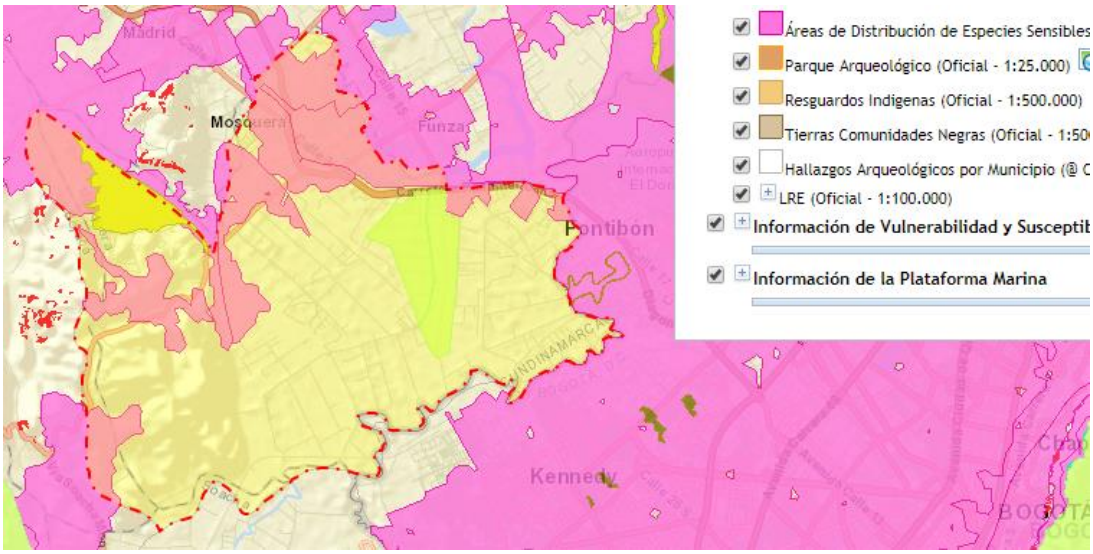


Figura 22. Captura de pantalla Tremartos Colombia 3.0.
Fuente. Autores, 2018.

Tabla 32. Incidencia del impacto de modificación en la composición, estructura y distribución de la fauna silvestre.

Cobertura transformada	Área (Ha)	% Municipio
Bosques y Áreas Seminaturales	166,74	83,37%
Áreas húmedas continentales	33,25	16,63%
Total	**199,99**	**100%**

Fuente. Autores, 2018.

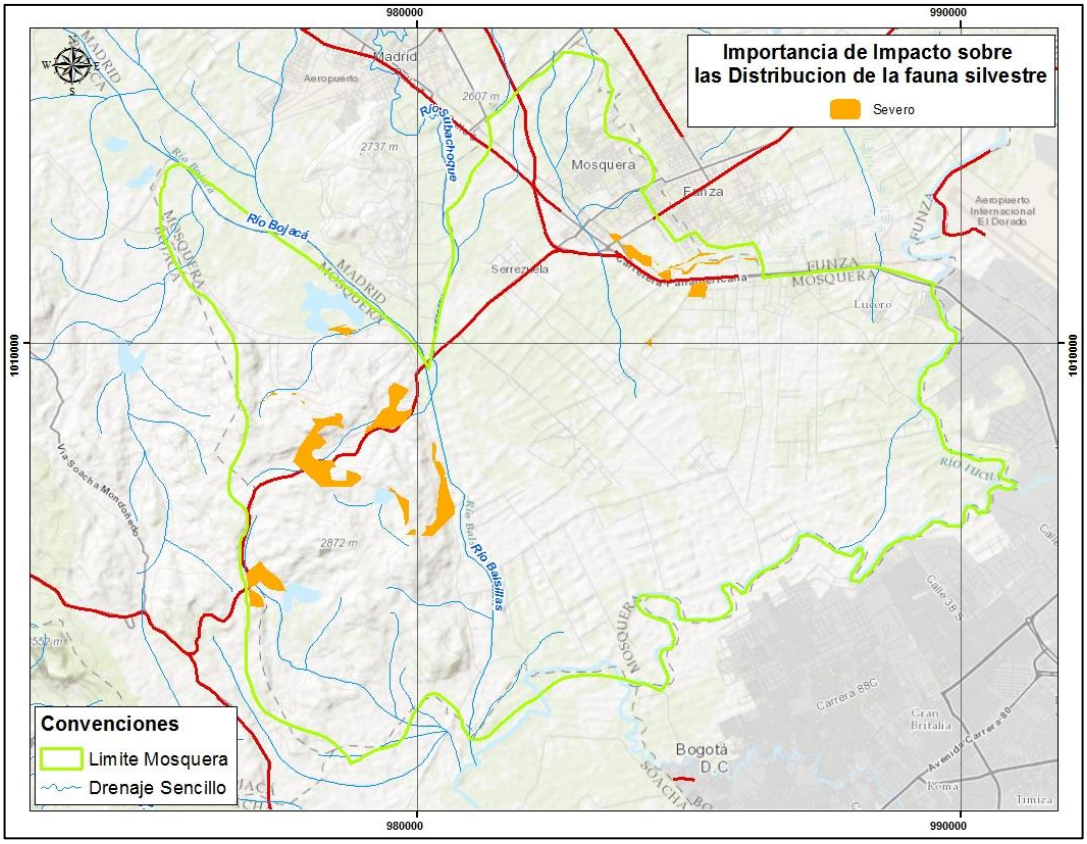


Figura 23. Importancia del impacto sobre la modificación en la composición, estructura y distribución de la fauna silvestre.
Fuente. Autores, 2018.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de la simulación para el municipio de Mosquera demuestran que el modelo de predicción de CCUS entrega una representación razonable de la probable expansión del suelo urbano. El comportamiento de las coberturas muestra una clara tendencia hacia el reemplazo de los territorios agrícolas y naturales por áreas artificializadas. De lo anterior se puede inferir que las siguientes generaciones dispondrán de menos suelo agrícola y menos servicios ambientales, generando una menor sostenibilidad.

Los resultados obtenidos coinciden con el cambio del uso del suelo que se establece en la modificación del PBOT del municipio de Mosquera en el año 2013. En esta, se incluyen nuevas áreas de suelo urbano, suburbano y de expansión y, a pesar de que en el acuerdo se establecen rondas de protección y franjas de amortiguamiento, la tendencia de expansión urbana, que muestra el municipio en la simulación, no respetará dichas franjas de protección de los recursos hídricos con que cuenta y la presión ejercida por el cambio de uso del suelo deteriorará las áreas boscosas y agrícolas cambiándolas por urbanizaciones, zonas industriales y canteras.

La implementación de modelos de simulación para la predicción de escenarios futuros puede llegar a ser una excelente herramienta de planificación, siempre y cuando se respete o mantenga la integralidad de los Planes de Ordenamiento Territorial que están diseñados para mejorar y optimizar el manejo de los recursos del municipio, y no sea alterado por intereses políticos ni particulares, que terminan siendo los que por estar en pro de un desarrollo social y económico, dejan de lado el componente ambiental y los múltiples servicios que este nos brinda a nivel general.

En cuanto al análisis e identificación de impactos se pude concluir que, en gran medida, depende del componente que se quiera evaluar, ya que esto hace que el impacto genere una externalidad positiva o negativa como, por ejemplo, en el caso de los impactos del componente socio-cultural, los cuales, a la hora de presentar un

proyecto o plan de expansión, serían solo la punta del iceberg con un nivel de importancia muy relevante, como el encontrado en este trabajo, la cual generaría indicadores positivos para la planificación del territorio e impulsaría la economía y desarrollo de la región.

Por otro lado, si se analizan los impactos desde el punto de vista biótico o ambiental, para este trabajo, el impacto más significativo es el cambio de la cobertura en vegetación natural con una importancia crítica, puesto que se pasaría a eliminar o modificar coberturas naturales que brindan un alto valor ecosistemico en el entorno, pues funcionan como reguladores naturales del clima capturando CO^2 y material particulado, liberando oxígeno, mitigando procesos erosivos, entre otros.

Se debe valorar el impacto por cambio en las coberturas usando el método de cambio de productividad, teniendo en cuenta que al afectarse las coberturas vegetales tienen que valorarse el uso, la conservación del bosque y su beneficios para la sociedad en general, los usos económicos y empleos que se puedan llegar a generar y, las coberturas que puedan llegar brindar un servicio ecosistémico que se pueda estimar y cuantificar. Adicionalmente, para valorar el impacto de modificación en la composición estructura y distribución en la fauna silvestre, se debe usar el método de reposición, teniendo cuidado con no sobrevalorarlo al tiempo con el impacto de cambio de cobertura en el cual ya se pudieron haber evaluado algunos aspectos más puntúales desde el punto de vista biótico, en cambio con este se tendría en cuenta la fragmentación de paisaje y el daño que pueden sufrir corredores biológicos con el cambio de las coberturas y el los ecosistemas naturales.

La información cuantitativa presentada en este trabajo (las áreas correspondientes a la clasificación de coberturas y por tanto las del modelo predictivo), no poseen un alto porcentaje de confiablidad; esto se debe principalmente a la escala de trabajo con la que se realizó la interpretación y proyección, la resolución de las imágenes

utilizadas no permite un nivel de detalle igual para época estudiada dada la fecha de captura y la disponibilidad tecnológica con la que cuenta cada satélite.

Finalmente, se observa como los sistemas de información geográfica (SIG), hoy en día, funcionan como herramientas útiles para realizar análisis complejos, en donde se necesite vincular componentes o aspectos de diferentes ramas de conocimiento, que se pueden comprender de manera más sencilla al poder visualizar, contrastar y relacionar con otras fuentes o capas de información, de las cuales se pueden extraer datos y con ellos realizar conclusiones cualitativas y cuantitativas.

6. RECOMENDACIONES

Como recomendación principal se propone mantener y mejorar los criterios de conservación y preservación de las coberturas naturales presentes en el municipio, pues si se mantienen las rondas y las áreas de protección, no se vería afectado de manera directa sino que, por el contrario, se beneficiaría de la nueva demanda de bienes y/o servicios públicos que vendrían a ser muy relevantes en la economía y desarrollo social de la región.

Se recomienda la implementación de modelos predictivos para el desarrollo de instrumentos de ordenamiento territorial, con el fin de mejorar las medidas de manejo para preservación y conservación, no solo en torno a los recurso naturales, sino también a la ubicación de las futuras urbanizaciones y la infraestructura de servicios públicos, teniendo así una mayor aproximación del comportamiento del territorio en años futuros.

Es recomendable el uso de estaciones de monitoreo en lugares estratégicos en donde el cambio de cobertura que se presente tenga una importancia crítica para el ecosistema para así poder realizar estrategias de mitigación del impacto.

También se recomienda dar incentivos a las empresas que presenten un modelo de negocio ambientalmente sostenible y que brinden un bienestar a la población, para estimular la industria verde en el municipio que permita al territorio soportar los cambios que puedan llegar a presentarse en el ambiente.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alaska Satellite Facility. (2018). *Vertex*. Obtenido de Alaska Satellite Facility: https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#

Alcaldía de Mosquera. (2016). *Plan de Desarrollo 2016 - 2019: Mosquera Tarea de Todos.* Mosquera, Cundinamarca.

Asia Air Survey Co. (2012). *MOLUSCE: An open source land use change analyst for QGIS.* Japón. Obtenido de http://www.ajiko.co.jp/dl/pdf_tf2014/p62-63.pdf

Asia Air Survey Co. (2013). *MOLUSCE – An Open Source Land Use Change Analyst*. Obtenido de FOSS4G NOTTINGHAM 2013: http://2013.foss4g.org/conf/programme/presentations/107/index.html

Bocco, G., Méndoza, M., & Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (parte 1). *nvestigaciones Geográficas (Mx) [en linea]*. Obtenido de http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=56904403 ISSN: 0188-4611

Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (3ra ed.). Madrid: RIALP.

Clark University. (s.f.). *Land Change Modeler in TerrSet.* Obtenido de TerrSet Brochure: Geospatial Monitoring and Modeling System: http://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/03/TerrSet18-2_Brochure_WEB.pdf

Conesa, V. (1993). *Guía metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental* (Segunda ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. Obtenido de http://centro.paot.mx/documentos/varios/guia_metodologica_impacto_ambiental.pdf

Cotán-Pinto Arroyo, S. (2007). *Conceptos Básicos de Evaluación de Impacto Ambiental (EvIA).* Escuela de Organización Industrial, España. Obtenido de https://www.eoi.es/es/file/18021/download?token=XMtU_cBj

Di Gregorio, A. (2016). Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de http://www.fao.org/3/a-i5232e.pdf

Erazo, E. (Junio de 1998). Principios y metodologías para la EIA. Manual de Evaluación de Impactos Ambientales de Colombia - MEIACOL. (CD-ROM 1.0). Santa Marta, Colombia.

Espinoza Mendoza, V. E. (2016). *Impulsores de cambio en el uso de suelo y almacenamiento de carbono sobre un gradiente de modificación humana de Paisajes en Nicaragua.* Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado , CATIE, Magister Scientiae, Turrialba, Costa Rica. Obtenido de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/8589/Impulsores_de_cambio_en_el_uso_de_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Espinoza-Mendoza, V. E. (2016). DINAMICA EGO: Una herramienta gratuita para modelar y brindar soporte en el análisis de CCUS. *Boletín del Colegio de Geografos del Perú*(3).

Gallopin, G. C. (1997). *Indicators and Their Use: Information for Decisionmaking. Part One-Introduction.*

Galván, R. B. (2006). *Un Diccionario para la Educación Ambiental.* Obtenido de http://www.elcastellano.org/sites/default/files/glosario_ambiental.pdf

Gil-Leguizamón, P. A., & Morales-Puentes, M. E. (2016). Información espacial, herramientas de análisis en la transformación de las coberturas vegetales.

(U. d. Córdoba, Ed.) *RINN: Revista Ingeniería e Innovación, 4*(2). doi:https://doi.org/10.21897/rinn1176

Henríquez Ruiz, C., & Azócar García, G. (2007). Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, 11*(245), 41. Obtenido de http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-24541.htm

Hernández Peña, Y. T. (2010). El ordenamiento territorial y su construcción social en Colombia: ¿un instrumento para el desarrollo sustentable? *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*(19), 97 - 109. doi:10.15446/rcdg

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2012). *Ecosistemas: Coberturas de la Tierra*. Obtenido de Sitio Web IDEAM: http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra

IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C. Obtenido de http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762

IGAC. (2005). *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra.* Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC.

IGAC. (2017). *Cartografía*. Obtenido de Datos Abiertos IGAC: http://datos.igac.gov.co/

Intergraph Corporation. (2013). *ERDAS Field Guide.* Huntsville.

Jimenez, P., Ramirez, L., Reinoso, E., Rodriguez, P., & Torres, K. (Septiembre de 2011). *Lugares majestuosos para la interacción de conocimientos*. Obtenido de Problemas Ambientales Municipio Mosquera (Laguna La Herrera, Desierto de Sabrinsky, Bosque de las Mercedes): http://adaaptaciondelosorganismos.blogspot.com.co/2011/09/problemas-ambientales-municipio.html

Márquez, G. (2004). *Mapas de un fracaso. Naturaleza y conflicto en Colombia.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Martinez Prada, R. J. (2010). Propuesta metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. *Tesis de Maestría. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá, Colombia.

Mas, J.-F., Kolb, M., Houet, T., Paegelow, M., & Camacho Olmedo, M. T. (2011). Una comparacion de programas de modelacion de cambios de cobertura/uso del suelo. *XV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR.* Curitiba, Brasil. Obtenido de https://hal-univ-tlse2.archives-ouvertes.fr/hal-01447901

Mattos, C. A. (2001). Movimientos del capital y expansión metropolitana en las economías emergentes Latinoamericanas. *Revista de Estudios Regionales, 60*, 15-43.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *20 años de ordenamiento territorial en Colombia: experiencias, desafíos y herramientas para los actores territoriales* (Primera ed.). (I. d. (IEU), Ed.) Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Municipio de Mosquera. (2000). *Formulación Acuerdo 001/2000.* Mosquera, Cundinamarca.

Mustard, J. F., Defries, R. S., Fisher, T., & Moran, E. (2004). Land-Use and Land-Cover Change Pathways and Impacts. En G. Gutman, A. C. Janetos, C. O. Justice, E. F. Moran, J. F. Mustard, R. R. Rindfuss, . . . M. A. Cochrane (Edits.), *Land Change Science: Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface* (págs. 411-429). Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-1-4020-2562-4_24

NextGIS; Asia Air Survey. (2017). *MOLUSCE: Quick Help.* Obtenido de https://github.com/nextgis/molusce/blob/master/doc/en/QuickHelp.pdf

Peña, J. (2007). *Efectos ecológicos de los cambios de coberturas y usos del suelo en la Marina Baixa (Alicante).* Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, Departamento de Ecología. Obtenido de https://www.pik-potsdam.de/news/public-events/archiv/alter-net/alumni/tesis-juanpena.pdf

Pontius, G. R., & Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science, 19*(2), 243-265. Obtenido de https://doi.org/10.1080/13658810410001713434

Quantum GIS. (2018). *Proximity (raster distance)*. Obtenido de QGIS Documentation: https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user_manual/processing_algs/gdalogr/gdal_analysis/proximity.html

Romero, H., & Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *EURE, 31*(94), 97-117. Obtenido de https://doi.org/10.4067/S0250-71612005009400006

Salazar Osorio, A. (2006). *Diseño de Indicadores Ambientales para la Evaluación y Seguimiento de Planes de Manejo Ambiental de producción de*

agroquímicos. Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá. Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14254/T41.06%20S31d.pdf?sequence=1

Sandoval, V., & Oyarzun, V. (2004). Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. *Quebracho*(11), 9-21.

Secretaría Distrital de Planeación. (2016). *Dinámica de los movimientos migratorios entre Bogotá y su área metropolitana, y sus implicaciones en el mercado de vivienda en la región 2005 -2050.* Subsecretaría de Información y Estudios Estreatégicos. Dirección de Estudios Macro, Bogotá. Obtenido de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/Bogot%E1%20Ciudad%20de%20Estad%EDsticas/2017/89-Dinamica_movimientos_migratorios.pdf

Soares-Filho, B. S., Rodrigues, H. O., & Costa, W. L. (2009). *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO. Guidebook.* Belo Horizonte/ MG, Brasil. Obtenido de http://www.csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=tutorial:start

Toro Calderón, J., Martínez Prada, R., & Arrieta Loyo, G. (julio-diciembre de 2013). Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 4*(2), 43-53. Obtenido de http://artemisa.unicauca.edu.co/~gerardorengifo/Documentos/CN&AMB/Primer%20-%20Letura%20Taller.pdf

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais. (s.f.). *About Dinamica EGO*. Recuperado el 1 de Marzo de 2018, de Dinamica EGO: http://csr.ufmg.br/dinamica/about-dinamica-ego/

United Nations. (2015). *World Population Prospects.* Population Division. Obtenido de https://esa.un.org/unpd/wpp/

Veldkamp, A., & Lambin, E. F. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*(85), 1-6. Recuperado el 16 de Marzo de 2018, de ftp://www-ftp.tucson.ars.ag.gov/Tucson-Abs-Pres/Wickham-Kepner/LUchangeModelsAgEcoEnv2001.pdf

Verburg, P. (2010). *The CLUE model.* University Amsterdam, IVM - Institute for Environmental Studies. Obtenido de http://www.ivm.vu.nl/en/Images/Exercises_tcm234-284019.pdf

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (25 de Julio de 1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. (JSTOR, Ed.) *Science, 277*(5325), 494-499. Obtenido de http://links.jstor.org/sici?sici=0036-8075%2819970725%293%3A277%3A5325%3C494%3AHDOEE%3E2.0.CO%3B2-2