

CARACTERIZACIÓN DEL PAISAJE DE PIEDEMONTES IDENTIFICANDO LOS CAMBIOS
DE COBERTURA VEGETAL VILLAVICENCIO, META, AÑOS 2000-2016

JAROLD DAVID TORRES LÓPEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

CARACTERIZACIÓN DEL PAISAJE DE PIEDEMONTES IDENTIFICANDO LOS CAMBIOS
DE COBERTURA VEGETAL VILLAVICENCIO, META, AÑOS 2000-2016

JAROLD DAVID TORRES LÓPEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor

JORGE ELIECER PARDO MAYORGA

Ing. Civil – Ing. Sistemas

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO

2018

Autoridades académicas

P. JUAN UBLADO LÓPEZ SALAMANCA, O.P

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P

Vicerrector Académico General

P. JOSE ARTURO RESTREPO, O.P

Rector sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede de Villavicencio

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental Sede Villavicencio

Nota De Aceptación

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

JORGE ELIECER PARDO MAYORGA

Director Trabajo De Grado

JORGE ALESSANDRI ROMERO

Jurado

RODRIGO ISAAC VELOZA CAICEDO

Jurado

Villavicencio, diciembre 2018

DEDICATORIA

“A la memoria de Jhordan Castro y Luis Eduardo Duque
quienes inculcaron en mi dedicación, esfuerzo y
respeto”

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	11
Abstrac	12
Introducción	13
CAPITULO I.....	14
Planteamiento del problema	14
Objetivos	16
General	16
Específicos	16
Justificación.....	17
Alcance del proyecto	18
CAPITULO II	19
Antecedentes	19
CAPITULO III	22
Marco de referencia.....	22
Marco Teórico	22
Marco Conceptual	23
Paisaje.....	24
Configuración estructural del paisaje	24
Transformación del paisaje	24
Cobertura vegetal	25
Cambios de las coberturas vegetales	25
Sistemas de clasificación de coberturas vegetales	25
Sistemas de información geográfica	26
Métricas de paisaje	26
Índices de paisaje	27
Marco Legal	28
CAPITULO IV	32
Metodología	32
Fase 1. Identificación de coberturas vegetales	32

Clasificación supervisada.....	32
Verificación de campo	33
Fase 2. Implementación de métricas de paisaje	35
Aplicación de métricas de paisaje	36
Área de clase	36
Numero de parche o tipo de cobertura vegetal.....	36
Densidad de borde	37
Índice de forma medio.....	37
Índice de dimensión fractal	38
Distancia media del vecino más cercano.....	38
Fase 3. Modelo de zonificación de zonas de importancia.....	39
Tabulación de variables para la identificación de zonas de importancia	40
Calculo de fragmentación en las coberturas vegetales.....	40
CAPITULO V	41
Resultados-análisis	41
Clasificación de coberturas vegetales	41
Métricas de paisaje	50
Calculo de fragmentación de las coberturas.....	60
Modelo de zonificación de zonas de importancia	61
Conclusión.....	65
Discusión de resultados	67
Recomendaciones.....	69
Bibliografía.....	70
Anexos.....	72

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Marco normativo de la investigación que aplica a coberturas vegetales de Piedemonte	29
Tabla 2. Metodología para la aplicación de métricas de paisaje	35
Tabla 3. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.....	41
Tabla 4. Resultado de área de paisaje de piedemonte llanero	44
Tabla 5. Puntos de coordenadas de zonas de corroboración	46
Tabla 6. Resultados de las métricas de clase de área	50
Tabla 7. Cambio porcentual de las coberturas	60

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Delimitación del área de estudio en una zona de piedemonte llanero dentro del municipio de Villavicencio, Meta	18
<i>Figura 2.</i> Proceso de cambio en las coberturas vegetales: Las áreas negras representan las coberturas y las áreas blancas la transformación por medio de diferentes actividades	25
<i>Figura 3.</i> Modelo general de la metodología Corine Land Cover para la clasificación de Coberturas vegetales	26
<i>Figura 4.</i> Toma de puntos GPS y verificación de los diferentes tipos de coberturas Vegetales del piedemonte de Villavicencio, Meta	34
<i>Figura 5.</i> Diagrama metodológico para la toma y procesamiento de los datos de delimitación de zonas de importancia ambiental	39
<i>Figura 6.</i> Clasificación supervisada de coberturas vegetales para los años 2000, 2006 y 2016 en una zona de piedemonte llanero de la ciudad de Villavicencio, Meta	43
<i>Figura 7.</i> Superposición de coberturas vegetales para los años 2000, 2006 y 2016 en una zona de piedemonte llanero de la ciudad de Villavicencio, Meta	49
<i>Figura 8.</i> Mapa de dispersión de índice de numero de parches para la cobertura vegetal De bosque del piedemonte de Villavicencio	53
<i>Figura 9.</i> Gráfico radial de dimensión fractal asociado a la métrica de forma de Irregularidades de la cobertura vegetal del piedemonte llanero de Villavicencio	55
<i>Figura 10.</i> Zonificación de dimensión fractal asociado a la forma de área de las coberturas Vegetales del piedemonte llanero de Villavicencio	57
<i>Figura 11.</i> Métrica de conectividad para las coberturas de bosque, vegetación arbustiva, mosaico de cultivos, pastos y zona urbana en el paisaje de piedemonte llanero de Villavicencio	59
<i>Figura 12.</i> Zonificación de zonas de importancia ambiental para la conservación, restauración y monitoreo en un paisaje de piedemonte llanero de Villavicencio	62

Lista de Anexos

	Pág.
<i>Anexos 1. Esquema metodológico para la caracterización de cambios de cobertura Vegetal en el paisaje de piedemonte llanero de Villavicencio.....</i>	<i>72</i>
<i>Anexos 2. Cobertura vegetal de bosque natural en la vereda buena vista del piedemonte llanero de Villavicencio</i>	<i>73</i>
<i>Anexos 3. Cobertura de vegetación arbustiva ubicada en la vereda san Luis de Ocoa de Villavicencio.....</i>	<i>74</i>
<i>Anexos 4. Vegetación de mosaicos de cultivos ubicado en la vereda la Llanerita de Villavicencio.....</i>	<i>75</i>
<i>Anexos 5. Cobertura de pastos de piedemonte llanero en la vereda de Apiay de Villavicencio</i>	<i>76</i>
<i>Anexos 6. Ejercicio de toma de puntos de GPS en predios de la Universidad Santo Tomas sede Loma Linda, Villavicencio, Meta</i>	<i>77</i>
<i>Anexos 7. Mapa de localización de puntos de verificación de campo en el piedemonte llanero de Villavicencio</i>	<i>78</i>
<i>Anexos 8. Resultado del número de parches para los años 2000, 2006 y 2016 para las coberturas de bosque, vegetación arbustiva, mosaico de cultivos, pastos y zona urbana para el piedemonte llanero de Villavicencio</i>	<i>79</i>
<i>Anexos 9. Resultado de distancia media del vecino más cercano para las coberturas de Bosque, vegetación arbustiva, mosaico de cultivos, pastos y zona urbana para el Piedemonte llanero de Villavicencio en los años 2000, 2006 y 2016.....</i>	<i>80</i>
<i>Anexos 10. Tabla de métricas de paisaje para una zona de piedemonte llanero</i>	<i>81</i>

Resumen

En el presente trabajo se realizó la caracterización del paisaje en un área de piedemonte llanero asociado a los cambios de cobertura vegetal afectado por diversos factores antrópicos, económicos y legislativos, con el objetivo de valorar el estado en que se encuentra y el proceso de cambios en una multitemporalidad de 16 años, como insumo para la generación de estrategias de conservación sobre el piedemonte de Villavicencio, Meta.

En el presente trabajo se realizó un ejercicio de caracterización de coberturas vegetales de piedemonte llanero por sucesión temporal desde el año 2000 a 2016 desde un enfoque ecológico y ambiental, basado en los lineamientos establecidos para el aprovechamiento y conservación de coberturas vegetal del plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Villavicencio. Bajo la metodología Corine Land cover se delimitó las categorías y tipos de cobertura que se presentan en un paisaje de piedemonte, un territorio el cual se encuentra en constante expansión, con importantes dinámicas que se encuentran en contrastes de amplia visibilidad. Como primer paso para el cumplimiento de los objetivos se identificó y caracterizó las coberturas presentes en el piedemonte en una temporalidad de 16 años; en donde para el desarrollo del objetivo se utilizaron imágenes satelitales y sensores remotos para determinar la firma espectral para cada cobertura y generar una clasificación supervisada para el agrupamiento y ubicación de cada cobertura. Con las coberturas establecidas se calcularon métricas de paisaje de composición, forma y conectividad determinando la distribución de cobertura vegetal, la extensión de la fragmentación que presenta en la zona de estudio y la conectividad para la temporalidad establecida. Como último objetivo se determinaron zonas de importancia respecto a el grado de fragmentación y transformación que se presenta para cada tipo de cobertura, estas zonas se determinan a partir de un modelo de condicionales por diversas variables (métricas, clasificación, uso adecuado, etc.), ejecutadas en un flujograma. Áreas cuyo objetivo es añadir como insumo para la conservación, restauración o mejora de la calidad visual del terreno de piedemonte llanero de Villavicencio. Los resultados obtenidos ratifican la importancia de identificar los cambios en el piedemonte llanero como elemento para tener en cuenta en la conservación de coberturas vegetales de Villavicencio, Meta.

Palabras clave: Métricas, cobertura vegetal, Piedemonte, Ecología de paisajes.

Abstract

In the present work, the characterization of the landscape was carried out in an area of piedmont associated with changes in plant cover affected by various anthropic, economic and legislative factors, in order to assess the state in which it is located and the process of changes in a 16-year multitemporality, as an input for the conservation creation of the piedmont of Villavicencio, Meta. In the present work an exercise of characterization of vegetation coverings of piedmont was carried out by temporary succession from the year 2000 to 2016 from an ecological and environmental approach, based on the established guidelines for the use and conservation of vegetation cover of the land use planning plan from the city of Villavicencio. Under the Corine Land cover methodology, we defined the categories and types of coverage that occur in a piedmont landscape, a territory that is constantly expanding, with important dynamics that are in contrasts of wide visibility. As a first step for the fulfillment of the objectives, the coverages present in the piedmont were identified and characterized in a temporality of 16 years; where for the development of the objective the use of satellite images and remote sensors will be used to determine the spectral signature for each coverage and generate a supervised classification for the grouping and location of each category. With the coverages established, landscape metrics of composition, form and connectivity were implemented, determining the distribution of vegetation cover, the fragmentation that they have presented and the connectivity for established temporality.

As a last objective, areas of importance were determined with respect to the degree of fragmentation and transformation that occurs for each type of coverage, these zones are determined from a conditional model by various variables (metrics, classification, appropriate use, etc.), executed in a flow chart. Areas whose objective is to add as an input for the conservation, restoration or improvement of the visual quality of the piedmont area of Villavicencio. The results confirm the importance of identifying the changes in the foothills of the Piedmont as an element to consider in the conservation of vegetation cover in Villavicencio, Meta.

Keywords: Metrics, vegetation cover, piedmont, landscape ecology.

Introducción

El presente trabajo identifica las características más importantes con respecto al cambio de las coberturas vegetales, el cual se determina con el análisis espacial, visto desde un enfoque ecológico que permita realizar la caracterización. Su característica principal es la percepción “proceso por el cual el organismo humano se informa de los objetos y cambios que se manifiestan a su alrededor” (Escribano, 1987).

La identificación de los diferentes tipos de cobertura vegetal se realiza generalmente sobre fotografías aéreas, según la textura o tonalidad que se observen (Alamo, 1991). La fotointerpretación se implementó con función de delimitación sobre aéreas de unidades homogéneas de cobertura vegetal para este estudio (Pedreros, 2004).

En las últimas 2 décadas ha sido evidente la gradual pérdida de piedemonte en Villavicencio, Meta (IGAC, 2005). Los acelerados ritmos de fragmentación en las diversas coberturas vegetales en algunos lugares del municipio se manifiestan de modo alarmante, ya que se presenta la transformación del paisaje causa de las actividades agrícolas y expansión de infraestructura sobre el área urbano y rural. La producción notoria de cambio de cobertura vegetal que en algunos casos ha causado sustitución de formas de vegetación nativa. Como causas de este proceso se tienen en cuenta el importante crecimiento poblacional, la dispersión del tejido urbano, la debilidad de sectores alternativos a la agricultura, la alta concentración de la propiedad de la tierra y la inexistencia de vigilancia y control en áreas naturales.

Este trabajo de grado se realizó por el interés de informar sobre la cantidad y la calidad de las coberturas vegetales ante un desarrollo urbano en una zona de borde urbano-rural y así mismo identificar los patrones de fragmentación de zonas que cambian su paisaje ecológico.

Los resultados de la investigación presente permiten conocer las dinámicas de cambios que se han generado en una sucesión temporal de 16 años, identificando las dinámicas de fragmentación y transformación sobre cada cobertura y así mismo evaluar las zonas de más influencia como insumo para la generación de estrategias de conservación sobre el piedemonte llanero de Villavicencio, Meta.

Capítulo I.

Planteamiento del problema

Estudios demuestran que los cambios en la cobertura vegetal están relacionados con el calentamiento global, cambios en los ciclos biogeoquímicos, pérdida de biodiversidad, degradación de los suelos, deforestación, pérdida de ecosistemas naturales y los demás generados por actividades del hombre encaminadas al crecimiento de sus infraestructuras (Goldewijk, 2004). Aproximadamente la mitad de la pérdida de cobertura vegetal que se produjo a nivel mundial durante las últimas cinco décadas tuvo lugar sobre territorios con prospectiva de urbanización en zonas estratégicas para funciones de uso aprovechable de las coberturas vegetales, los cuales están siendo transformadas en una tasa de más del 1% anual en diversos tipos de paisaje (Goldewijk K. , 2001), (Grace, San Jose, Meir, Miranda, & Montes, 2006).

Determinar las dinámicas de discontinuidad, fragmentación y transformación en el cambio de cobertura vegetal, ha sido reconocido como una herramienta importante que aporta al desarrollo de investigaciones relacionadas con cambios en diferentes tipos de paisaje (Etter & Wyngaarden, 2000); las dinámicas muestran patrones de transformación y tasas de cambio en las coberturas vegetales sobre paisajes que presentan alteraciones ya sean por actividades antrópicas o naturales (Goldewijk K. , 2001). En la región de la Orinoquia colombiana se evidencia que las dinámicas de fragmentación y transformación de las coberturas vegetales en el piedemonte llanero se presenta por las características del ambiente circundante estas características se encuentran dentro de las alteraciones antrópicas y naturales (Jordan, 1995).

Para el presente trabajo se delimita la zona de piedemonte llanero en Villavicencio, Meta, debido a la importancia que tiene este para el país en un contexto de inclusión al Sistema Nacional de Áreas protegidas (SINAP). El paisaje de piedemonte llanero se caracteriza por su gran potencial en coberturas vegetales y una importante variabilidad biológica (IDEAM, 2010), que con el paso del tiempo se ha visto amenazada por la presión que el ser humano ejerce sobre ella a través de sus actividades antrópicas que propenden al desarrollo urbano-rural. (Abadía, 2007).

Las pérdidas de cobertura vegetal en el piedemonte llanero de Villavicencio han aumentado durante los últimos 10 años, a pesar de que su topografía la cual se sitúa dentro de los 300msnm

hasta los 700msnm dificulta las actividades de agricultura y la ganadería debido a que dentro de la delimitación de piedemonte se encuentra la zona urbana y periurbana del municipio de Villavicencio (Corpes, L. 1997). Como causa principal de la transformación del piedemonte de Villavicencio, se encuentra que a partir del año 1999 (Colombo-Alemana, 1999), los sistemas extractivos y la incursión de la actividad ganadera se asocia a un cambio de uso del suelo en busca de un bien económico que genera una gran afectación en las coberturas vegetales. Estas actividades antrópicas tienen como consecuencia la generación de una dinámica de fragmentación sobre piedemonte, la cual aumenta la transformación y disminución en las coberturas vegetales.

La expansión urbana de la ciudad de Villavicencio y su crecimiento poblacional impulsa los cambios de coberturas vegetales (Rodríguez, 2011). Esto se presenta debido a que la ciudad modifica el piedemonte con respecto a una distribución y dispersión del tejido urbano y periurbano. En la última década han alcanzado una fragmentación de un 40% de eliminación de coberturas vegetales para el piedemonte de Villavicencio (Rodríguez, 2011).

¿Cuál ha sido la tasa de cambio en la fragmentación y transformación del paisaje de piedemonte llanero en una temporalidad de 16 años medidos a través de los índices de composición, forma y conectividad para una cobertura vegetal de bosque, vegetación arbustiva, mosaico de cultivos, pastos en Villavicencio, Meta?

Objetivos

Objetivo General

Determinar cambios de cobertura vegetal en una multitemporalidad de 16 años a partir del año 2000 a 2016, mediante el uso de índices de paisaje en la determinación de zonas de conservación y restauración como línea base para la elaboración de estrategias en planes de restauración del piedemonte de Villavicencio, Meta.

Objetivos Específicos

- Delimitar multitemporalmente las coberturas vegetales a partir de una clasificación supervisada por medio de imágenes satelitales en tres temporalidades para la caracterización del paisaje de piedemonte en Villavicencio.
- Calcular y evaluar métricas del paisaje usando índices de composición, forma y conectividad para cuantificar la tasa aumento o disminución en las coberturas del piedemonte.
- Identificar zonas para la restauración y monitoreo como un insumo para la elaboración de una estrategia en conservación del piedemonte de Villavicencio, Meta.

Justificación

En Villavicencio a través de las últimas 2 décadas se ha determinado que la mayor parte de su territorio se usa para actividades agropecuarias, la actividad ganadera utiliza un 60%, mientras que la agricultura ocupa un 40% respecto a las tierras de vocación agropecuaria (Abadía, 2007). Estas actividades con el pasar de los años han sido una de las causantes de los cambios en las coberturas vegetales para convertirlas en aprovechamiento económico sin tener en cuenta el aspecto ambiental, afectando el desarrollo paisajístico de Villavicencio. Esta investigación demuestra los efectos existentes en el piedemonte a causa de los cambios de uso por dinámicas antropicas, dando así un aporte al Plan de Ordenamiento Territorial (POT) para el uso adecuado del recurso, el cual puede ser de importancia para entidades ambientales públicas y privadas.

Los fenómenos de expansión urbana y los problemas de planeación de las zonas urbanas y periurbanas se encuentran como la causa de mayor impacto en los cambios de coberturas vegetales, se encuentra influenciado por el acelerado incremento poblacional y el uso indebido de áreas con cobertura vegetal para movimientos del tejido urbano y aprovechamiento económico (Suarez, 2014). Los estudios de los cambios de cobertura vegetal a través de una multitemporalidad se utilizan con mayor frecuencia en las áreas que presentan una intervención antrópica y agropecuaria (Vargas, 2011). Este tipo de estudios no se han realizado en áreas de piedemonte vecinas al municipio de Villavicencio.

Por ello fue importante evaluar tanto trabajo de campo como distribución espacial para obtener resultados con el fin de identificar cambios que permitan establecer un diagnóstico actual de las coberturas, un resultado de la composición en la que se encuentra el paisaje y de acuerdo con los cambios que se presentan determinar las zonas que se pueden delimitar en un estado de restauración (Villavicencio, 2015).

El análisis espacial de coberturas mediante clasificaciones multitemporales asociados a índices de paisaje en áreas de piedemonte en el municipio de Villavicencio se encuentran escasos (Rodríguez, 2011). El estudio multitemporal asociado a los índices de fragmentación permite obtener el cambio porcentual anual y así determinar zonas de vulnerabilidad ambiental.

Alcance del proyecto

El proyecto se desarrolló en un paisaje de piedemonte del municipio de Villavicencio, el cual se encuentra en una zona depositacional, correspondiente a una planicie ligeramente inclinada hacia el Oriente y Nororiente (CORPOICA, 2005), y una region montañosa hacia el Occidente y Noroccidente. El municipio se encuentra dividido en 8 comunas, 235 barrios (de los cuales solo 32 son legalizados), 101 asentamientos, 2 zonas de invasión, 7 corregimientos y 61 veredas en total (villavicencio, 2015). Geograficamente esta subregión se encuentra entre los 700 y 300 msnm, con temperaturas medias de 23 a 30 °C y un régimen de lluvias bimodal con 3.000 a 4.000 mm de precipitación anual donde se presentan estaciones de lluvia de abril a junio y de agosto a noviembre.

La cobertura vegetal en el piedemonte presenta actualmente pocas áreas de bosque y pasto nativo, por otro lado se observa un predominio de pastos introducidos del genero *Brachiaria*, manejados en sistemas de producción intensivos (Rincon, 2010).

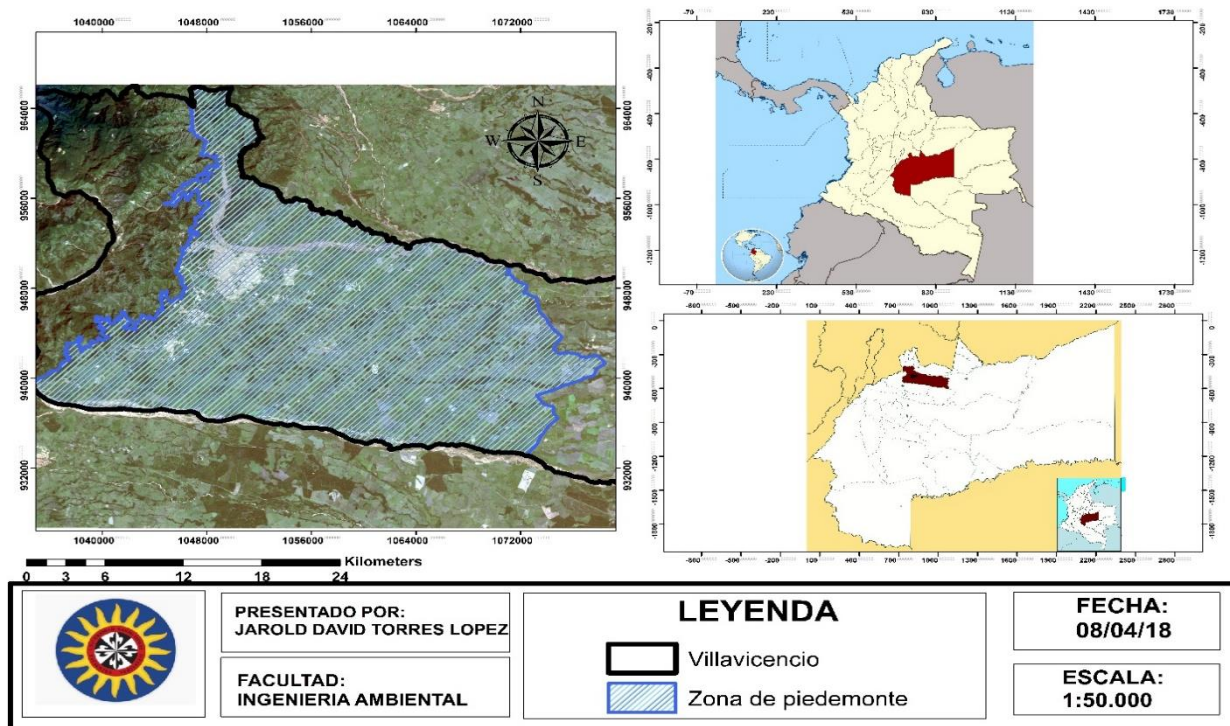


Figura 1. Delimitación del área de estudio en una zona de piedemonte llanero dentro del municipio de Villavicencio, Meta, por Jarold Torres, 2018.

Capítulo II

Antecedentes

Según Heckadon (1999) los cambios en la cobertura vegetal son un componente importante en el estudio del cambio ambiental global. La dinámica de cobertura en el piedemonte llanero determina unos patrones de cambios lo cual proporciona un fenómeno que afecta muchos procesos ecológicos y biofísicos, tales como la estructura trófica, la composición de las especies y su dispersión, los patrones climáticos, y la estabilidad hídrica que para la ciudad de Villavicencio es su gran prioridad (villavicencio, 2015).

El piedemonte llanero desempeña un papel importante en la conservación y restauración natural de las comunidades vegetales dentro de un proceso multitemporal, tanto en áreas naturales, como en aquellas degradadas por factores antrópicos tales como quema, pastoreo y expansión del tejido urbano (Abadía, 2007). Diferentes estudios con énfasis en la clasificación de coberturas mediante análisis multitemporales han creado diversas metodologías como las clasificaciones por medio de objetos (Rodríguez, 2011), la clasificación de capa arbórea (Hernandez, 2012), clasificación supervisada y no supervisada (Abadía, 2007), para establecer su importancia en los procesos de conservación, clasificación de índice de vegetación (Mata, Pinedo Álvarez, & Martinez , 2014). Con la innovación hacia los estudios de coberturas se implementaron las métricas de ecología como índices del cambio de las coberturas vegetales debido a diferentes tipos de fragmentación (Vazquez, 2012), (Leon, 2014), (Matteuci, 2004).

Los estudios de cambio de cobertura vegetal en una multitemporalidad han incluido la metodología espacial la cual se centra en la investigación por medio de imágenes satelitales observando el estado de las coberturas respecto a su composición y su conectividad con el entorno del paisaje (Arango, Branch, & Botero, 2005), como objetivo de identificar la clasificación adecuada para las coberturas vegetales y de esta manera obtener información sobre relictos de bosque primario que conforman el paisaje de piedemonte.

En un estudio centrado en los cambios de cobertura mediante una multitemporalidad en la región de la Orinoquia se encuentra “Cambios en la cobertura del paisaje y fuerzas conductoras en los llanos orientales Colombianos (Puerto López, Meta) 1988-2007” (Abadía, 2007), quien genera

un aporte para la identificación de causas directas e indirectas que intervienen en el cambio de uso de las coberturas vegetales, El autor busca identificar la tasa de pérdida anual en una transición de tiempo de 1988 hasta el año del trabajo el cual fue realizado en 2007. Su principal metodología se basa en el trabajo espacial para la identificación de las causas que intervinieron en el cambio de uso de las coberturas con una escala semi detallada de 1:50.000 para la zona de estudio. Como resultado encontró que para el municipio disminuyó de un 55.7% a un 43.9% en ecosistemas de bosques primarios, encontrando como causa directa de la fragmentación del paisaje la expansión de la frontera agrícola y el crecimiento de infraestructura. Esta investigación proporciona información de utilidad para determinar la escala semi detallada para la obtención de mayor precisión a la clasificación de las coberturas que se encuentran en el piedemonte de la ciudad de Villavicencio.

Etter y Wyngaarden (2000), a partir del documento “Patterns of Landscape Transformation in Colombia, with Emphasis in the Andean Región” determinan la escala para identificar las transformaciones en los cambios de cobertura a un nivel regional. Por lo general estos estudios presentan un enfoque para entender la transformación de coberturas mediante la vinculación e integración espacial es decir la escala adecuada de los elementos que se encuentran dentro del paisaje en específico (Etter & Wyngaarden, 2000). Con ayuda de las imágenes satelitales en una escala paisaje regional de toda la zona altoandina, se obtuvo como resultado que las dinámicas de transformación en los cambios de cobertura vegetal se identifican respecto al esparcimiento del tejido urbano, y están relacionadas con regiones naturales de bosque, y cinturones de altitud con usos generales de la tierra. Sin embargo, este tipo de estudios en zonas de piedemonte llanero se encuentran a una escala más detallada debido a que el tipo de investigaciones empleadas se centran en cultivos específicos (Rodríguez, 2011).

Para la implementación de índices de paisaje el estudio realizado por Daniel León (2014) sobre el diagnóstico de la fragmentación de los cambios de las coberturas de un municipio de Cundinamarca, desarrolla una investigación encaminada a calcular la fragmentación por medio de métricas de paisaje. La investigación emplea los índices de composición forma y conectividad por medio de métricas de área de clase (CA), Número de parches (NP), dimensión fractal (MPFD) y distancia del vecino más cercano (MNN). Como resultado de la investigación se encuentra los cálculos de índices para la identificación de las zonas de mayor fragmentación. Esta investigación

proporciona información del uso adecuado de las métricas ajustando la escala del paisaje mediana (1:100.000) a una escala de paisaje semi detallada (1:50.000) para la asociación de los cambios de cobertura y los actores de fragmentación.

Para el piedemonte de la ciudad de Villavicencio se realizó un estudio como impulso a las metodologías de clasificación espacial para detectar cambios en los usos de las coberturas, el ingeniero Andrés Rodríguez de la Universidad Nacional de Colombia a través de su tesis “Metodología para detectar cambios en el uso de las coberturas utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta” (Rodríguez, 2011). Demostró la pertinencia de implementar una metodología con los principios de la clasificación orientada a objetos, la investigación se presenta con el propósito de determinar, cuantificar y visualizar la transformación de las coberturas. El método de clasificación de coberturas permite disminuir el margen de error de los tipos de coberturas que se encuentran en la zona de estudio, separando sus firmas espectrales para diferenciar los cambios en la temporalidad establecida.

Capítulo III

Marco de referencia

Marco Teórico

Entender los cambios de cobertura vegetal de los paisajes usando la interpretación visual de imágenes satelitales para identificar patrones que describan procesos complejos de fragmentación y de cambio de uso asociándolo a la aplicación de métricas de paisaje como indicadores de heterogeneidad y fragmentación., inician a partir de la interpretación en mosaico (conjunto de elementos), diferenciando los fragmentos dispersos a partir de las coberturas actuales, las cuales hacen referencia a diferentes unidades morfológicas que se pueden diferenciar en el territorio (Gustafson, 1998).

En Colombia, existe un interés creciente de cuantificar los cambios en la cobertura superficial, que ocurren por cuenta de la presión ejercida por actividades antrópicas y que regularmente se expresan en procesos de deforestación acelerada (Etter & Sarmiento, *Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia*, 2005). Estos cambios, pueden ser utilizados como indicadores, particularmente como la presión y transformación del paisaje. En la actualidad son herramientas necesarias para tener una mayor comprensión del territorio, mediante diversas interacciones ambientales, culturales, económicas, sociales y espaciales. Con el pasar del tiempo esta herramienta ha permitido generar una reacción a los problemas que se presentan por las diversas alteraciones (Etter & Villa , 2001).

El paisaje de piedemonte llanero ha sido espacio de importancia a través de los años, en el cual se ha presentado un factor antrópico por diferentes tipos de actividades desde su propia visión y beneficio para el aprovechamiento en un ordenamiento social, político y económico (Harris, Higgs, & Aronson, 2006). El piedemonte se encuentra en relación interactiva con el área urbana rural y en las áreas circundantes de coberturas vegetales, además ejecuta funciones ecológicas y prestan múltiples servicios ambientales y naturales, entre ellos el de captar, almacenar, y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos que presenta Villavicencio lo que los convierte en un ecosistema sumamente estratégico. Pese a esta importancia, el piedemonte ha sido deteriorado ambientalmente tanto por factores globales como el cambio climático en la atmósfera, como

también por factores antrópicos entre los que se destacan la deforestación, tala, quema y ampliación de la frontera agrícola.

Los estudios multitemporales son el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas (Gustafson, 1998). Con respecto a la utilización que se le ha dado al piedemonte llanero no se ven incorporadas investigaciones como la detección de los cambios que ocurren a través del tiempo en la superficie terrestre (coberturas, suelos, clima, uso de la tierra, entre otras), siendo uno de los procesos espaciales que más le ha interesado al hombre cuantificar.

Los estudios de cobertura vegetal se presentan en diversos paisajes, donde gracias a la utilización de las imágenes satelitales, han ayudado para identificar cambios en las coberturas, clasificación de unidades de paisaje, y a determinar los cambios a nivel general que sufren los ecosistemas como consecuencia de factores naturales o antrópicos (Zhang, 2012).

Los estudios temporales a partir de imágenes de satélite tienen un gran número de aplicaciones sobre todo en el ámbito ambiental, por ejemplo: El monitoreo del crecimiento de las urbanizaciones que rodean las grandes ciudades, lo que disminuye una gran parte del territorio verde, tanto la cuantificación de este como su dirección puede ser monitoreada mediante la aplicación de estas técnicas. Actualización de la cartografía y el uso del territorio (Vazquez, 2012).

Por lo tanto, el ejercicio de aplicación que se llevó acabo en este proyecto pretende de alguna manera involucra procesos y procedimientos que han sido implementados en otra serie de estudios que se encuentran con metodologías similares. Teniendo como pieza clave el grado interpretativo que se pueda otorgar al piedemonte, identificando cada variable en particular y encontrando las causas reales que propician la dinámica y los cambios que en el tiempo se van observando y que en últimas determinan un escenario particular.

Marco conceptual

Para esta investigación es primordial conocer conceptos referentes al estudio de las condiciones que abarcan la caracterización del paisaje, metodologías para la caracterización multitemporal, los cambios en las coberturas, los índices adecuados para calcular los cambios, parámetros para determinar zonas de restauración y que técnicas existen para la verificación de la caracterización e

identificación que se presentan en coberturas vegetales. El estudio obtiene un valor significativo, ya que en este interactúan distintos factores, un solo índice no permitiría una información completa del cambio de coberturas y el estado actual del piedemonte. Dicho esto, se definen los conceptos, metodologías e índices para tener en cuenta:

El paisaje

La configuración o expresión externa e interna que adquiere un paisaje de acuerdo con Etter (2001) es el resultado de los factores que intervienen en su formación (clima, geomorfología, suelos, litología/materiales parentales, vegetación y actividades humanas), lo cual determina la distribución espacial de los fragmentos que tienen interacción dentro del entorno de cada paisaje en específico. La geomorfología y la cobertura son dos factores relevantes en la identificación y delineación de paisajes, pues constituyen las propiedades emergentes de los paisajes, y permiten reconocerlos y diferenciarlos unos de otros (Etter & Wyngaarden, 2000).

Configuración estructural del paisaje

El paisaje se puede encontrar formado por tres tipos básicos de unidades estructurales funcionales o elementos del paisaje: elementos tipo parche, tipo corredor y tipo matriz (Pedreros, 2004) y son estos los elementos espaciales que conforman cada elemento sobre la superficie terrestre. Estos elementos pueden ser de origen natural o antrópico, y de esta forma se aplican al patrón espacial de diferentes estados sucesional y usos de la cobertura vegetal. El parche es especificado como los tipos de coberturas que se encuentran, el corredor son las franjas aisladas que se encuentran unidas por diferentes coberturas siendo utilizadas como rutas de para diversas especies a sus hábitats. La matriz de acuerdo con Etter (2000), es el elemento más interconectado y menos fraccionado que controla en mayor medida la dinámica del paisaje. Para esto la cobertura vegetal del piedemonte llanero establece una heterogeneidad la cual da una propiedad de diversificación de la estructura del paisaje basado en un gradiente diferencial o en separaciones ecotonales abruptas y discretas (Bennett, 1999).

Transformación del paisaje

Se refiere al cambio de una cobertura por otra, debido a causas humanas o naturales. Los procesos de transformación generan como consecuencia variaciones a nivel de la estructura, la composición y el funcionamiento del paisaje (Etter & Sarmiento, 2005).

Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales (IDEAM, 2010).

Cambios de las coberturas vegetales

Los cambios de cobertura vegetal se identifican en la mayoría de los casos por proceso en áreas intervenidas por el hombre, producto de sus actividades (Zhang, 2012). La reducción progresiva de las coberturas determina una reducción progresiva de la diversidad biológica, y de la dimensión de las poblaciones de diferentes especies presentes (Ver figura 2) (Vargas, 2011).

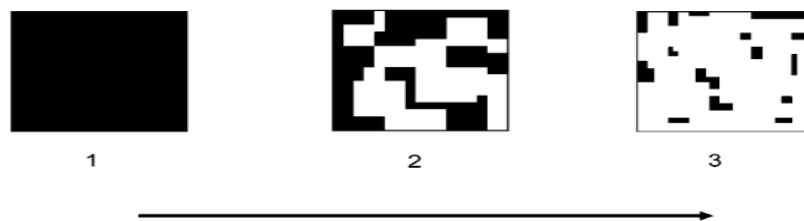


Figura 2. Proceso de cambio en las coberturas vegetales: Las áreas negras representa las coberturas y las áreas blancas la transformación por medio de diferentes actividades. Adaptado de (Fahring, 2003).

Sistemas de clasificación de coberturas vegetales

Dado que la clasificación de cobertura se ajusta al paisaje el cual se estudie, los sistemas de clasificación como metodología más acertada se encuentra dentro del desarrollado del proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90) (Communities, 1994), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las

características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas (IDEAM, 2010).

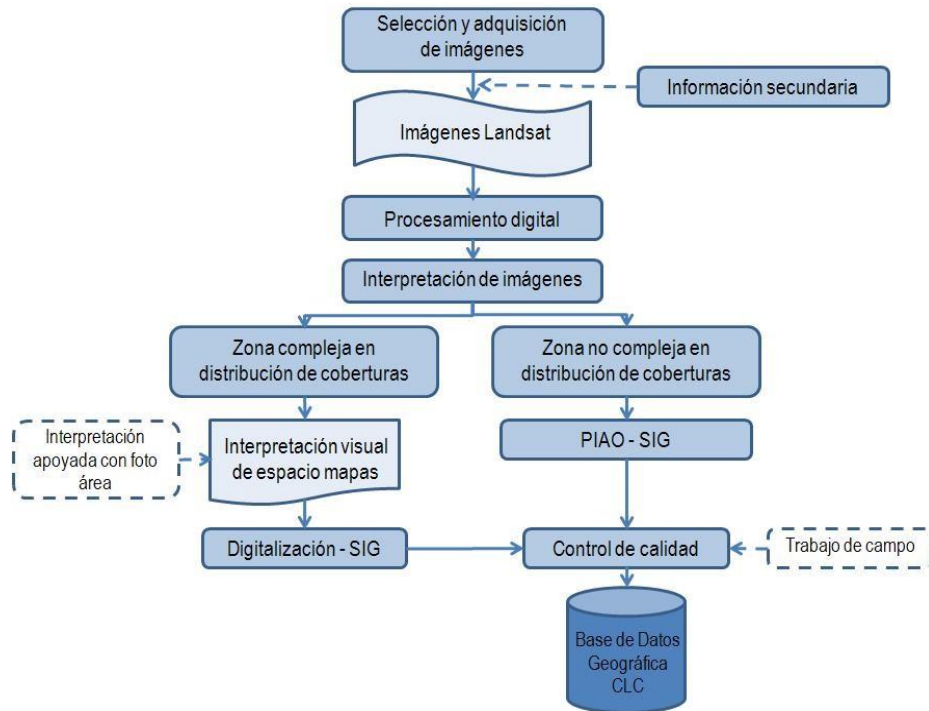


Figura 3. Modelo general de la metodología Corine Land Cover para la clasificación de coberturas vegetales (IDEAM, 2010).

Sistemas de información geográfica

Para asociar los valores ecológicos con la información geomatica se encuentra lo mencionado por Gutiérrez (2000), en donde sustenta que el SIG es un programa diseñado para la delimitación de coberturas, la misma que se la realiza mediante la interpretación de los mapas cartográficos, este proceso ha ido evolucionando con la tecnología. En la actualidad proporcionan una amplia gama de aplicaciones y procesos que, con entender los conceptos y teoría, se puede realizar de una forma más sencilla y rápida el análisis y delimitación de coberturas vegetales mediante los programas disponibles para SIG.

Métricas de paisaje

Las métricas de paisaje se miden de manera cuantitativa individual para cada tipo de elemento que se desea investigar. Con el procesamiento de los SIG se generan muchas medidas de índices de paisaje para caracterizar la heterogeneidad de los paisajes (Liu, 2011). Sin embargo, las métricas de paisaje están sujetas a limitaciones como la escala, a la interpretación de los índices y las implicaciones ecológicas de los índices.

Índices de paisaje

Los métodos cuantitativos de índices de paisaje son aplicables a un triple nivel (MCGARIGAL & MARKS, 1995): A nivel de fragmento (patch level), a nivel de clase (class level), a nivel de paisaje (landscape level). Estas herramientas permiten comprender, describir, interpretar y modificar cambios en la integridad espacial. Determinando los cambios temporales de los patrones y las relaciones entre patrones y procesos de cambio.

Se encuentran 3 tipos de índices para cálculos de composición y configuración de un paisaje, los cuales se explican como (Matteuci, 2004):

Índices de área, superficie, densidad y variabilidad. Este tipo índices se centran en las características de dimensión y en el número de fragmentos que conforman el área de estudio. Este grupo representa un conjunto de indicadores que se relacionan con el tamaño de las manchas y la cantidad de borde creado por las mismas. Permite una primera aproximación general a las características morfológicas de un paisaje.

Índices de forma. Se fundamentan en las características de forma de las manchas que constituyen un determinado paisaje. Este tipo de métricas se basa en la relación entre área y perímetro, y permite la comprensión de este factor fundamental a nivel morfológico y funcional.

Índices de distancia, vecindad y conectividad. Estos índices miden la distancia desde el hábitat de borde y ecotono de un fragmento hasta el fragmento más próximo al mismo tipo. Se trata de índices fundamentales para poder valorar el grado de aislamiento o conectividad existente entre los distintos fragmentos, se basa en el supuesto de que un mayor aislamiento genera una reducción de las probabilidades de albergar un grado de diversidad biológica mayor.

Marco legal

La presente investigación centra su normatividad sobre la conservación, restauración y protección de recursos naturales cuyo tema en el país ha sido abordado desde mediados de la década de los noventa en un principio por la constitución política de Colombia, promovido después mediante cursos y seminarios, organizados por diferentes instituciones a nivel nacional, regional y local. Así mismo, el tema de la conservación se ha fortalecido mediante el establecimiento de estrategias legislativas y normativas que promueven el desarrollo de programas de restauración y se han incluido en programas y planes de instituciones de carácter público y privado.

En este sentido la normatividad aplicable es la siguiente: el decreto ley 2811 de 1974, en el artículo 88 donde se prohíbe el aprovechamiento de especies forestales; la constitución política de Colombia de 1991, artículo 79 planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración y controlar los factores de deterioro ambiental; el convenio de diversidad biológica en 1992, artículo 8 de conservación insitu en el numeral f, donde establecen la rehabilitación y restauración de ecosistemas degradados, mediante la elaboración de estrategias de ordenación; la ley 99 de 1993 en el artículo 5 regular el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales; y el decreto 2372 de 2010 en los artículos 14, 15, 16, 20, establecen que los espacios geográficos que han sido dañados, degradados o destruidos deben ser destinados para usos de restauración entre otras actividades.

Para la presente investigación se describe el marco normativo asociado a la conservación de la cobertura vegetal y normatividad con la biodiversidad en este sentido la normatividad aplicable es la siguiente:

Tabla 1. Marco normativo de la investigación que aplica a coberturas vegetales de piedemonte

MARCO NORMATIVO	DESCRIPCIÓN	INCIDENCIA
Constitución Política de Colombia 1991	Artículo 80. Dicta como deber del estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.	Deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.
Constitución Política de Colombia 1991	Artículo 95. Establece como deber de las personas, la protección de los recursos culturales y naturales del país, y de velar por la conservación de un ambiente sano	El utilizar zonas ambientales para el aprovechamiento económico será penalizado por el mal uso de los recursos naturales.
Decreto Ley 2811 de 1974	El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los recursos naturales, la defensa del ambiente y sus elementos.	Los recursos naturales que se encuentran en áreas de conservación se utilizarán para un desarrollo sostenible y un bien común con el medio ambiente.
Decreto Ley 2811 de 1974	Artículo 303. Para la preservación del paisaje corresponde a la administración: a) Determinar las zonas o lugares en los cuales se prohibirá la	El paisaje se deberá conservar en zonas de prohibición de construcción, tala u alteración de acuerdo con

Tabla 1
Continuación

	construcción de obras; b) su topografía y su riqueza paisajística. Prohibir la tala o la siembra o la alteración de la configuración de lugares de paisaje que merezca protección; c) Fijar límites de altura o determinar estilos para preservar la uniformidad estética o histórica.
Decreto 1715 de 1978	Reglamenta la protección del paisaje. Prohíbe la alteración de elementos del paisaje. La riqueza paisajística predomina sobre cualquier alteración antrópica para beneficio social.
Ley 388 de 1997	Promueve el ordenamiento del territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural, la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo y la ejecución de acciones urbanísticas eficientes. El uso potencial de los recursos naturales de Colombia se debe determinar según sus factores físicos, ecológicos y socioeconómicos, teniendo en cuenta dichos componentes, se clasificarán las utilidades para cada tipo de terreno en pro del bien para el territorio.

NOTA: Legislación Colombiana de la (Constitución política de Colombia, 1991), (Decreto 2811, 1974), (Decreto 1715, 1978) y la (ley 388, 1997). Organización de acuerdo con la incidencia sobre la zona de estudio, por Jarold Torres, 2018.

La normatividad a nivel nacional representada en la tabla anterior desglosa los elementos que intervienen para el presente proyecto. De acuerdo con la normatividad establecida por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Villavicencio. Se identifican los artículos más relevantes determinados en el capítulo III (Soporte Ambiental del municipio) los cuales interviene esta investigación, los artículos presentes son:

Artículo 14. Componentes del Sistema de Soporte Ambiental: Son aquellos que soportan la biodiversidad existente y por los cuales se debe garantizar su conservación y protección a través de políticas y estrategias encaminadas a lograr el desarrollo sostenible (villavicencio, 2015).

Artículo 18. Biodiversidad: La biodiversidad existente en el territorio está conformada por las zonas de preservación, restauración y uso sostenible y por su fauna asociada que conforma la riqueza genética de una región en lo vegetal y animal (villavicencio, 2015)..

Artículo 23. Componente de los Ecosistemas de importancia estratégica para la conservación del recurso Hídrico: El artículo 2.2.3.1.1.3 del Decreto Único 1076 de 2015 define las áreas de importancia estratégica para la conservación del recurso hídrico como aquellas que garantizan la oferta de servicios ecosistémicos relacionados con el ciclo hidrológico, y en general con los procesos de regulación y disponibilidad del recurso hídrico en un área determinada (villavicencio, 2015).

Artículo 29. Componente áreas de importancia ecológica del municipio: Son áreas que proporcionan diferentes servicios ecosistémicos gracias a sus características ecológicas y capacidad de resiliencia. Incrementando la cobertura boscosa de las áreas de recarga hídrica, mejora de indicadores químicos y biológicos de los servicios ambientales y como espacios de adaptación al cambio climático (villavicencio, 2015).

La presente normatividad descrita se toma como variable para la delimitación de zonas de conservación y uso aprovechable que se encuentran en el piedemonte de Villavicencio, estas descripciones normativas determinan las áreas ambientales que son de importancia en pro del desarrollo ecológico en función de los ciclos naturales que presentan los diversos ecosistemas circundantes en el piedemonte (villavicencio, 2015).

Capítulo IV

Metodología

La selección de las imágenes y zonas de corroboración de campo se realizó de forma estratégica para evitar salir de la delimitación del área de estudio ya que se debían tomar puntos representativos de las coberturas y evitar obtener datos con margen de error en los índices a estudiar.

Fase 1. Identificación de coberturas vegetales

En el presente trabajo se establece un nivel de detalle a escala 1:50.000 para una clasificación semi detallada obteniendo una mejor visualización e interpretación de las coberturas que se presentan y los cambios ocurridos en la multitemporalidad.

La caracterización de las coberturas mediante categorías se encuentra diferenciada por categorías como bosques y áreas semi-naturales lo cual está comprendido por un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrollado sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica (IDEAM, 2010). Y como segunda categoría de cobertura vegetal se encuentran los territorios agrícolas los cuales son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho (IDEAM, 2010). Dentro de las categorías que se identifican se delimito la zona urbana y rural de Villavicencio asociada como dinámica de transformación sobre el piedemonte y las coberturas vegetales.

Clasificación supervisada

La clasificación de las imágenes satelitales se realizó por medio del software Arcgis 10.2. La clasificación se fundamenta en 2 etapas entrenamiento y asignación (Lang, 2008). En la primera etapa de entrenamiento se realiza un ejercicio de fotointerpretación en las imágenes para determinar patrones de similitud en formas y colores relacionadas a las diferentes clases de cobertura, esta determinación se desarrolló mediante la generación de firmas espectrales de la vegetación (SINGH,

1989). Permitiendo la corrección de datos como la sombra de las copas arbóreas más altas y el sombreado de las zonas urbanas sobre algunas coberturas vegetales. Mediante la interpretación visual se obtiene el reconocimiento de fragmentos que se presentan como conglomerados o grupos de píxeles, los cuales son agrupamientos que se añaden a la capa más cercana y con cualidades de la misma categoría. El ejercicio de fotointerpretación permite establecer puntos estratégicos para la toma de muestra en campo de las zonas con mayor muestra de fragmentación y la verificación de la clasificación de coberturas.

Para la etapa de asignación se creó un polígono por separado de cada tipo de cobertura vegetal delimitados por la firma espectral y la fotointerpretación de las coberturas, para facilitar puntos geográficos y así representar las clases que se deban corroborar o corregir en el trabajo de campo para la exactitud del valor de área que posee cada una de las coberturas. La asignación generada por los polígonos da el segundo paso mediante capas temáticas que se ajusten para los diferentes años en el cual se pueden superponer las coberturas a través de las 3 temporalidades e identificar zonas donde presente mayor fragmentación o cambios en cada una de las coberturas vegetales.

Verificación de campo

De acuerdo con la clasificación supervisada en la etapa de asignación al momento de trasladar las imágenes se encontraron zonas de corroboración debido a la sombra de los árboles y la distorsión de la nubosidad para la verificación de campo. El trabajo de campo se estableció para el ajuste de la zona de estudio, la fragmentación de las coberturas y como propósito para la verificación de las coberturas interpretadas que presentaron mayor incertidumbre en su identificación y delimitación, es decir, que requirieron de realizar un control temático.

Para llevar a cabo el trabajo de campo se necesitó los siguientes materiales: GPS, impresión de la zona de estudio (imagen Landsat) escala 1:50.000, cartografía base (vías, poblaciones, red hidrográfica), cámara digital, especificación de los tipos de coberturas vegetales según la leyenda de la metodología Corine Land Cover. Para localizar los puntos de corroboración se adjuntó la información de la clasificación supervisada registrando puntos con coordenadas GPS en cada uno de los sitios de verificación. Esta información se crea como respaldo de la información digital.

La caracterización de las coberturas se corroboró y verificó en campo mediante las especificaciones de los tipos de cobertura vegetal establecido por la leyenda Corine Land Cover (IDEAM, 2010) (Ver figura 4). Los métodos para la especificación de cada tipo de cobertura represento los bosques como la tierra con una cubierta de copa (o su grado equivalente de espesura) de más del 10 por ciento del área y una superficie superior a 0,5 hectáreas (ha), los árboles representaban una altura mínima de 5 metros para la determinación de una zona de bosque (Ver apéndice B). Para la vegetación arbustiva se tuvo en cuenta que es una categoría de cobertura natural constituida por un estrato herbáceo continuo de gramíneas y ciperáceas, donde dominan las gramíneas perennes y un estrato arbóreo abierto o inexistente, este tipo de cobertura se presenta en lugares con deficiencia de humedad (Ver apéndice B). Para la verificación de los mosaicos de cultivos se tuvo en cuenta las tierras ocupadas con cultivos anuales, transitorios o permanentes, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) (Ver apéndice C). Los pastos se determinaron por las cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por gramíneas, de la familia Poaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años (Ver apéndice D).



Figura 4. Toma de puntos GPS y verificación de los diferentes tipos de coberturas vegetales del piedemonte de Villavicencio, Meta. Por Jarold Torres, 2018.

Fase 2. Implementación de métricas de paisaje

Para evaluar la integridad de las coberturas vegetales con respecto a los cambios en las coberturas del piedemonte de la ciudad de Villavicencio, se han seleccionado un conjunto de métricas de análisis espacial. Las métricas seleccionadas aportaron información acerca de la fragmentación, forma, compacidad y aislamiento o dispersión de cada tipo de cobertura presente en la zona de estudio. Esta información se agrupa en 3 categorías como lo son composición (área o densidad), forma y conectividad (Ver tabla 2).

Tabla 2. Metodología para la aplicación de métricas de paisaje.

Categoría	Métricas de paisaje	Acrónimo o (Siglas en ingles)	Unidades y rango	Descripción	Implicaciones ecológicas principales	Aplicación de estudio para las coberturas de piedemonte
Composición	Área de clase	CA	Hectáreas (0 - ∞)	Estadística básica de la configuración espacial	Productividad, ciclos biogeoquímicos y dinámicas de especies	Indicador simple de fragmentación
	Numero de parche	NP	Adimensional (0 - ∞)			
	Densidad de borde	ED	Porcentaje (0 - ∞)	Variabilidad de interacción entre los parches	Diversidad Biológica	Integridad espacial en la estructura de las coberturas vegetales
Forma	Índice de forma medio	SHAPE	Adimensional (0 - ∞)	Complejidad de las parches	Interacciones con los efectos de la densidad de borde	Configuración espacial de la vegetación en términos de la complejidad de los parches
	Índice de dimensión fractal	FRAC	Adimensional (1 - 2)	Relación de perímetro por unidad de área. Se incrementa a medida de la irregularidad de los parches	Conectividad lateral con las diversas coberturas	

Tabla 2
Continuación

Conectividad	Distancia media del vecino más cercano	MNN	Kilómetros (0 - ∞)	Distancia mínima entre manchas de la misma clase, basado en la distancia más corta entre sus bordes.	Flujo de energía y biomasa y efectos de conectividad en la biodiversidad biológica	Aislamiento de los parches para su interconectividad
---------------------	--	-----	--------------------	--	--	--

NOTA: Categorías, descripción, acrónimos, unidades y rango de las métricas de paisaje, implicaciones ecológicas y aplicación de estudio de las métricas al piedemonte de Villavicencio. Adaptado de (León, 2014)

Aplicación de métricas de paisaje

Con la información adquirida por la cartografía elaborada de las tres fechas a estudiar, se aplicaron las métricas de paisaje, mediante la utilización del programa Fragstats versión 4. La descripción de las métricas y la selección de ellas se determinaron por los atributos ambientales que aportan a los resultados del análisis de los cambios de coberturas.

Área de clase

Esta métrica permitió calcular el área correspondiente al conjunto de fragmentos que constituyen a cada clase determinada de cobertura (Ecology, 2017). La fórmula que establece el programa Fragstats determina que para cada tipo de área se genere la conversión de m² a hectáreas para un mejor manejo respecto al número de parches de un valor significativo.

$$\text{Área} = a_j^i \left(\frac{1}{10000} \right)$$

Ecuación 1. Cálculo de área de clase para las coberturas vegetales

A_{ij}: Área en m² de la cobertura.

Número de parche o tipo de cobertura vegetal

Se genero el cálculo del número de parches o fragmentos discriminados por tipos de cobertura vegetal al interior de la zona de estudio (Ecology, 2017). El número de parches se calculó de acuerdo con el nombre de la cobertura y respecto a su área, los parches que se encontraran menores a 0.01 hectáreas se determinaron como pixeles dispersos que no se encuentran en ninguna categoría de las coberturas vegetales.

$$NP = n_i$$

Ecuación 2. Calculo de numero de parche para las coberturas vegetales

Ni: Numero de parches de cada cobertura vegetal.

Densidad de borde

Se determino la densidad de borde como cálculo de la relación entre área y perímetro para el conjunto del paisaje (Ecology, 2017). Con el resultado del área y el número de parches se tiene como objetivo conocer la longitud de borde de cada tipo de cobertura y su interacción respecto a las demás.

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^{m'} eik}{a} (10.000)$$

Ecuación 3. Calculo de densidad de borde

Donde: ED equivale a la suma de las longitudes (eik, en m) de todos los segmentos de borde de los fragmentos del hábitat de interés, dividido por el área total del paisaje (A, en m²), multiplicado por 10, 000 (para convertir a hectáreas).

Índice de forma medio

El índice de forma es una métrica que aporta información de la complejidad geométrica de los fragmentos. Mide la relación entre el perímetro de un fragmento y el perímetro que tendría el fragmento más simple de la misma área, de tal forma que mayores valores de este índice muestran un incremento de la complejidad de sus formas.

$$Shape = \frac{0.25 P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$$

Ecuación 4. Calculo de índice de forma medio

En donde shape equivale al perímetro del fragmento (p_{ij} , en m), dividido por la raíz cuadrada del área del fragmento (a_{ij} , en m²); puede ajustarse por medio de una constante para el estándar cuadrado tipo ráster es decir ajustarlo a los pixeles que se determinaron mediante la clasificación supervisada.

Índice de dimensión fractal

Para poder determinar los fragmentos que se encuentran con mayor consistencia, la dimensión fractal se relaciona explícitamente en un contexto espacial y temporal de los fragmentos. De acuerdo con la última etapa de la asignación en la clasificación supervisada se determinaron zonas de importancia ambiental para la conservación y monitoreo. Mediante la dimensión fractal permite determinar cuáles son los fragmentos que presentaron similitud entre el hábitat de interés y los fragmentos vecinos a través de la temporalidad. La dimensión fractal une las anteriores métricas de categoría de forma y composición y da un aporte para la categoría de conectividad.

$$Dimension Fractal = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ij} * d_{ik}}{h_{ijs}^2}$$

Ecuación 5. Calculo de dimensión fractal

Donde, a_{ijs} es el área (m²) del fragmento ijs dentro de la vecindad específica (m) a partir del fragmento de interés; d_{ik} es la similitud (coeficiente entre 0-1) entre el fragmento de interés (tipo i) y el fragmento k -ésimo dentro de la vecindad especificada; y h_{ijs} es la distancia (m) entre el fragmento de interés y el fragmento vecino ijs , basado en la distancia borde-a borde del fragmento.

Distancia media del vecino más cercano

Como ultima métrica a desarrollar y la única en la categoría de conectividad basada en la resistencia ecológica de las coberturas a través de la temporalidad establecida, se establece para

determinar que las coberturas que se encuentran dispersas de las zonas de mayor concentración de área tengan un porcentaje alto de vecindad para crear corredores entre coberturas.

$$Distancia = \left[\frac{\left(\frac{\sum_{r=1}^z t_{ir}}{Z_i} \right)}{t_{max}} \right] (100)$$

Ecuación 6. Calculo de distancia media del vecino más cercano

Donde, t_{ir} es el área casco menor alrededor de la celda r -ésima en el fragmento del tipo de interés (i), z_i es el número total de celdas en el tipo de fragmento de interés (i); y t_{max} es el máximo costo mínimo de área casco alrededor de una celda del fragmento de interés (i) dada una resistencia mínima.

Fase 3. Modelo de zonificación de zonas de importancia

Como fase final de la metodología se asocia la cartografía base que se da como resultado del trabajo de procesamiento digital con el trabajo de campo y la aplicación de métricas de paisaje para una zona de piedemonte llanero, en el cual por medio de un flujograma de geoprocesos realizado en Arcgis se establecen características como área, lugar de mayor densidad de borde, mayor conectividad, mayor índice de dimensión fractal y aprovechamiento según la normatividad del plan de ordenamiento territorial de Villavicencio para determinar cuál de las coberturas vegetales tiene áreas de importancia con respecto a la conservación ambiental (Ver figura 5). Este proceso se llevará a cabo para los 3 años determinando zonas que se encontraron con mayor fragmentación y transformación como mayor punto de conectividad durante la multitemporalidad establecida.

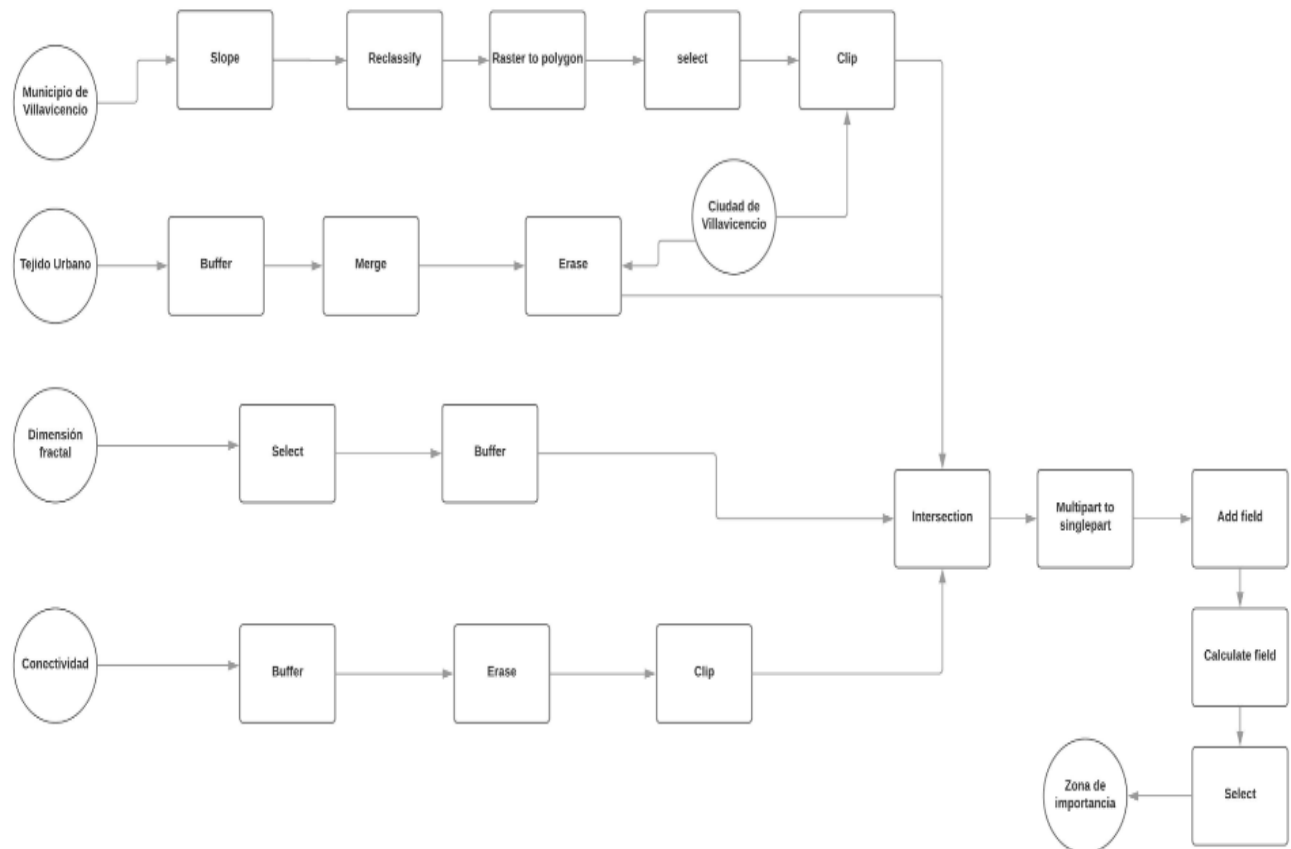


Figura 5. Diagrama metodológico para la toma y procesamiento de datos de delimitación de zonas de importancia ambiental, por Jarold Torres, 2018.

Tabulación de variables para la identificación de zonas de importancia

Para el proceso metodológico de delimitación de zonas de importancia se implementaron un conjunto de elementos de especial atención en la preservación de las coberturas vegetales constituido por una red de áreas y corredores que sostienen y conducen la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales en el territorio de la ciudad de Villavicencio (villavicencio, 2015).

Se incorporó en el flujograma una capa denominada municipio de Villavicencio en la cual se encuentra la delimitación del piedemonte junto con la coberturas vegetales que se emplearon para la zona de estudio, se determinaron las pendientes desde los 700msnm hasta los 400msnm en el cual se encuentra la ciudad de Villavicencio donde se creó una condición de selección de la cobertura con mayor fragmentación y su respectiva lista de los fragmentos que presentaran las mayores áreas en el rango altitudinal establecido.

Como unión de la selección determinada anteriormente se añadió la cobertura urbana para identificar en que comuna de la ciudad de Villavicencio se encontrarían los fragmentos de importancia. De acuerdo a la temporalidad se ajustó la capa de dimensión fractal para crear una unión de los diferentes años con los procesos anteriores y como último elemento se determinó la conectividad respecto a las políticas y estrategias establecidas para la conservación por la legislación ambiental de Colombia (Planeación, 2014), en donde se implementó que las zonas o fragmentos se encontraran a 45km a la redonda de las fuentes hídricas de mayor importancia para el municipio, una zona altitudinal de prevención de amenazas naturales y la producción de oxígeno.

Los 4 elementos mencionados se sometieron a un proceso de intersección en el cual ajusto las condiciones de cada variable y calculo las coberturas en el lapso temporal de 16 años determinando las zonas de mayor importancia para el piedemonte llanero de la ciudad de Villavicencio.

Calculo de fragmentación en las coberturas vegetales

Para identificar el valor porcentual de los cambios en las coberturas vegetales en la multitemporalidad de 16 años, se adapta la ecuación de cambios de cobertura vegetal a nivel mundial formulada por la FAO.

$$TC = \left[(T2/T1)^{\frac{1}{n}-1} \right] * (100)$$

Ecuación 7. Calculo de cambio porcentual para las coberturas vegetales

TC: Tasa anual de cambio porcentual

T1: Superficie de cobertura en el periodo inicial

T2: Superficie de cobertura en el tiempo final

N: Amplitud del periodo a analizar

Capítulo V

Análisis de resultados

Las coberturas vegetales se asignaron respecto a la verificación y a la revisión literaria, se encontraron que las coberturas de bosque, vegetación arbustiva, pastos y mosaico de cultivos se presentan dentro del paisaje de piedemonte para Villavicencio (Ver Tabla 3). Estas coberturas vegetales se delimitaron dentro del polígono de la zona de estudio y se asignaron de acuerdo con la clasificación de coberturas Corine Land Cover adaptada para Colombia.

Tabla 3. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia

Clasificación de coberturas de la metodología Corine Land Cover	Categoría de coberturas
BOSQUES Y AREAS SEMI NATURALES	Bosques
	Vegetación arbustiva
TERRITORÍOS AGRICOLAS	Pastos
	Mosaico Cultivos
TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	Zona Urbana.

Nota: Clasificación de Coberturas Vegetales de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia asociada a la zona de estudio de piedemonte llanero de la ciudad de Villavicencio. Adaptada de (IDEAM, 2010)

En el trabajo de fotointerpretación se visualizaron las áreas donde se presentan sectores homogéneos correspondientes a las coberturas vegetales de bosque, en el cual se identifica con una tonalidad de verde oscuro gracias a sus copas arbóreas, para la vegetación arbustiva y los mosaicos de cultivos la tonalidad de verde disminuye respecto a la textura que presentan estas coberturas. Los pastos denotan una tonalidad amarilla debido a su nivel de reflectancia que se encuentra a un nivel similar del suelo desnudo. La zona urbana prevalece con una tonalidad de amarillo claro el cual no presenta vegetación y su reflectancia se determina por los tejados de las viviendas (Ver figura 6).

La clasificación supervisada rectificó las 5 clases de cobertura para los 3 periodos de tiempo, eliminando en los dos últimos periodos de tiempo dos clases que se asociaban a algunas coberturas,

como lo era los suelos desnudos a la zona urbana y los mosaicos de cultivos con la vegetación arbustiva. Los pixeles aglomerados de verificación eliminaron polígonos de sombra en los arboles más altos y la zona urbana, esto refleja una imagen con pixeles más agrupados e intensificando las clases de cobertura delimitadas en las tres imágenes satelitales de los diferentes periodos de tiempo. Las coberturas presentan una manera conjunta y agrupa los parches que no se encuentran en un area densa.

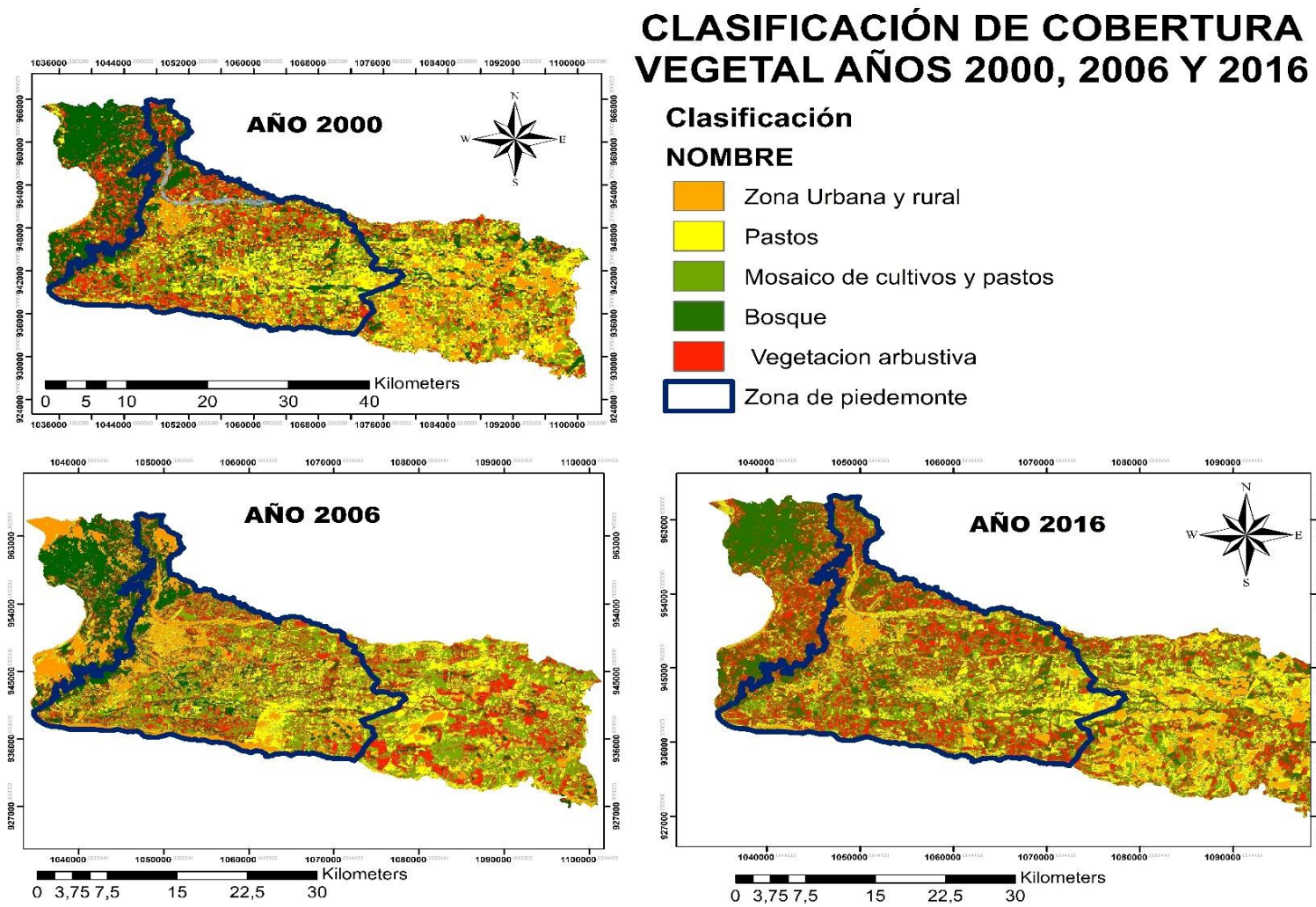


Figura 6. Clasificación supervisada de coberturas vegetales para los años 2000, 2006 y 2016 en una zona de piedemonte llanero de la ciudad de Villavicencio, Meta, por Jarold Torres, 2018.

En la figura 6 se representa la delimitación de las coberturas que se encuentran en el piedemonte a partir de la clasificación multitemporal. En el trabajo de fotointerpretación se presenta que en el año 2006 como intervalo medio de tiempo se observa una disminución de cobertura boscosa siendo constante este cambio hasta el año 2016. Por otro lado, la cobertura de vegetación arbustiva demuestra una pérdida de área en el primer intervalo de tiempo el cual de manera natural se observa una recuperación natural en las zonas que se encontraban en fragmentación e incrementando su área de manera de dispersión en las zonas donde se encontraban coberturas de tipo boscoso. Las coberturas de pastos y mosaico de cultivos no presentan cambios significativos en los intervalos de tiempo. Se observa que el mayor cambio en las coberturas vegetales se presenta en la dinámica de conectividad en los bosques, desde el noroccidente hasta la parte sur de Villavicencio inicio un proceso de discontinuidad debido a la dispersión del tejido urbano y rural.

Las coberturas identificadas por medio de la clasificación supervisada arrojaron el área y porcentaje de ocupación en la zona de piedemonte llanero (Ver tabla 4). Estos resultados corroboran la asignación en la aglomeración de los pixeles, por el cual se verifico y ajusto con la implementación de las métricas establecidas para este proyecto.

Tabla 4. Resultado de área de paisaje de piedemonte llanero

Coberturas	Clasificación_2000		Clasificación_2006		Clasificación_2016		Diferencia
	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	
Bosque	23833,08	18	27637,35	21	25946,25	19	-25524,18
Vegetación arbustiva	35258,31	26	29199,46	22	23364,11	17	-41093,66
Pasto	35824,68	27	31823,41	24	31520,08	24	-36128,01
Mosaico de Cultivos	23872,32	18	26026,49	19	21282,31	16	-28616,50
Zona Urbana	12468,24	9	16569,94	12	29143,88	22	105,70
Total	131256,63	100	131256,63	100	131256,63	100	

Nota: Diferencias de áreas sobre las coberturas vegetales de piedemonte de la ciudad de Villavicencio entre los años 2000, 2006 y 2016, por Jarold Torres, 2018.

La clasificación supervisada de las coberturas vegetales en la multitemporalidad nos permite determinar en porcentaje los valores de área para cada cobertura, la zona urbana y rural se estudia como medio de interacción dentro del piedemonte. Para el año 2000 las categorías con mayor porcentaje en área fueron: los pasto con un 27% y la vegetación arbustiva con un 26%, bosque y mosaico de cultivos con un 18% y la zona urbana con un 9%. En el año 2006 las diferentes clases de cobertura no presentaron cambios significativos, pero a partir del dicho año hasta el último intervalo de tiempo en el año 2016 los porcentajes con mayor área fueron: los pastos con un 24% y la zona urbana con un 22%, bosque con un 19%, la vegetación arbustiva con un 17% y los mosaicos de cultivos con un 16%. Los resultados en la columna “Diferencia” de la tabla 8 presentan los porcentajes de transformación para cada cobertura, diferencia si se presenta una fragmentación o una recuperación en cada tipo de cobertura. Los porcentajes negativos presentan la fragmentación de la cobertura y los porcentajes positivos se identifican como un incremento o recuperación de las coberturas en el intervalo de tiempo de 16 años. La única cobertura que obtuvo resultados positivos de la asignación supervisada fue zona urbana y rural confirmando el suceso de la fotointerpretación con respecto a que la dispersión del tejido urbano que se presenta sobre las zonas de cobertura de bosque, mosaico de cultivos y pasto.

Los resultados del trabajo de campo y verificación se determinaron con los métodos de especificación y caracterización de coberturas de la metodología CLC (IDEAM, 2010). En el trabajo de campo se logró visualizar el tipo de cobertura correspondiente a los puntos de corroboración y su distanciamiento con respecto a otras coberturas ubicadas en el sector (Ver tabla 5), se encontró que la ganadería, los cultivos y la expansión urbana fueron los factores recurrentes en las zonas de corroboración (Ver apéndice D).

En estas ubicaciones se verificaron las zonas que presentan cambios en la cobertura vegetal (actividad antrópica, efectos naturales, relieve, organismos y tiempo), como también se realiza la comprobación del patrón de distribución de las coberturas vegetales con respecto al grado de interacción entre las mismas coberturas. Las ubicaciones ilustradas se enumeran con el fin de identificar los puntos geográficos donde se encuentran las coberturas en el piedemonte (ver apéndice E).

Tabla 5. Puntos de coordenadas de zonas de corroboración.

Ubicación (Latitud – Longitud)	Imagen
Predio Universidad Santo Tomas Sede Loma Linda (04° 06. 715 - 073° 39. 509) (1)	
San Luis de Ocoa (04° 05. 396 - 073° 42. 107) (2)	
Área Urbana (04° 08. 471 - 073° 42. 311) (3)	
Vereda la Llanerita (04° 05. 374 - 073° 29.434) (4)	

Tabla 5
Continuación

Vereda caños negros (04° 07. 541- 073° 30. 119) (5)	
Vereda Buena Vista (04° 09. 198 - 073° 38 582) (6)	
Vereda Vanguardia (04° 10. 272 -073° 40. 768) (7)	

Nota: Zonificación de coordenadas con relación de la clasificación supervisada y su zona altitudinal del piedemonte llanero de la ciudad de Villavicencio.

En la tabla 9 se presentan las ubicaciones y la evidencia fotográfica de los puntos de corroboración del piedemonte llanero de Villavicencio. Se encontró que para las zonas de mayor altura altitudinal se presentan las coberturas de bosque y vegetación arbustiva (Vereda vanguardia, vereda Buenavista, san Luis de Ocoa y predio de la universidad santo tomas sede loma linda).

Los mosaicos de cultivos y los pastos se encuentran en zonas veredales de Villavicencio, estas áreas de cobertura presentan actividades de deforestación y quema de vegetación para actividades antrópicas como las edificaciones, ganadería y monocultivos. Actividades que en la multitemporalidad no permiten la recuperación natural de las coberturas, creando una fragmentación en la conectividad de las otras coberturas.

La dispersión de cada tipo de cobertura no presenta áreas de conectividad entre ellas, por otro lado, si se presenta una sucesión desde pastos hasta bosques a través del aumento de altitud. La zona urbana presento ser la cobertura de mayor compactación en su dispersión. La verificación en campo identifico un estado actual de las coberturas boscosas y de vegetación arbustiva que presentaban distorsión.

Con la verificación de campo realizada mediante una superposición de los diferentes años con la clasificación supervisada, depurar los polígonos más pequeños los cuales al momento de ejecutar las métricas en el programa Fragstats se podrían interpretar como un error en el número de parches el cual se asocia con el área de clase (Ver figura 7).

El resultado de la superposición permitió observar el cambio de dispersión y pérdida de las coberturas vegetales con respecto a la expansión del tejido urbano y las actividades agrícolas en la transición de tiempo establecida. Esta superposición permite visualizar las zonas de mayor disminución y las áreas que de acuerdo con su importancia ecosistémica para el piedemonte llanero se deben tener en cuenta en la zonificación de importancia para la conservación y monitoreo.

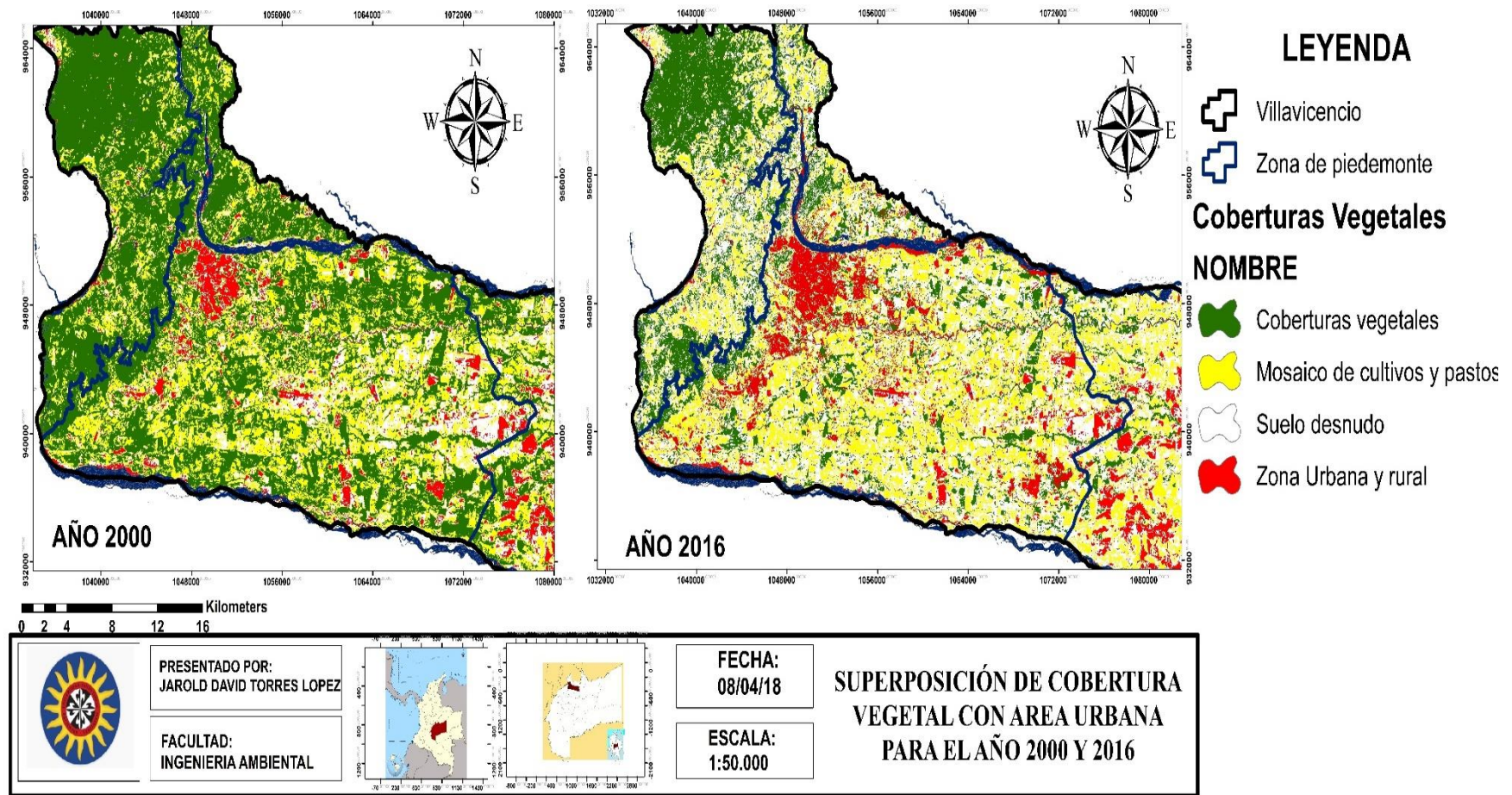


Figura 7. Superposición de coberturas vegetales para los años 2000, 2006 y 2016 en una zona de piedemonte llanero de Villavicencio, Meta, por Jarold Torres, 2018.

Métricas de paisaje

La rectificación de la clasificación supervisada con la verificación en campo permite resultados más acertados y ajustados con las métricas de paisaje, en los cuales se presentan valores exactos del área de cada tipo de cobertura vegetal del piedemonte llanero (ver apéndice I).

Tabla 6. Resultados de las métricas de clase de área.

Coberturas	Clasificación_2000		Clasificación_2006		Clasificación_2016	
	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%
Bosque	33833,08	25	27637,35	21	15946,25	12
Vegetación arbustiva	35258,31	26	29199,46	22	23364,11	17
Mosaico de cultivos	25824,68	19	31823,41	24	31520,08	24
Pastos	23872,32	18	16026,49	12	11282,31	8
Zona Urbana	12468,24	9	26569,94	20	39143,88	37
Área de piedemonte llanero de la ciudad de Villavicencio	131256,63	100	131256,63	100	131256,63	100

Nota: representación de áreas para las coberturas de bosque, vegetación arbustiva, mosaico de cultivos, pastos y zona urbana del piedemonte de Villavicencio entre los años 2000, 2006 y 2016, por Jarold Torres, 2018.

Las métricas de área se efectuaron tomando como base las clasificaciones independientes de cada fecha (Ver Tabla 6). En la tabla10 se muestra el área promedio de cada clase con respecto al tipo de cobertura. El área que cubre los bosques con un 25% y la vegetación arbustiva con un 26% para el año 2000 se muestra como las coberturas vegetales de mayor área con respecto a los pastos con un 18% y los cultivos con un 19%. La zona urbana se encuentra con un 9% como el menor porcentaje producto de la poca actividad antrópica en el piedemonte llanero de Villavicencio.

Se observa que el área de clase con mayores valores para el 2006 presenta cambios con respecto al año 2000, con mayor porcentaje se identifican los mosaicos de cultivos con un 24% y aunque se presenta una disminución en la vegetación arbustiva su porcentaje de área se establece con un 22%, la cobertura boscosa sufre una disminución en su área terminando con un 21% y la zona urbana incremento a un 20%, los pastos disminuyeron a un 12% siendo la cobertura con menor área en el piedemonte llanero.

Los cambios de cobertura que se presentan en la figura 7 permite visualizar que la cobertura de mosaicos de cultivos asociado con la dispersión urbana son las dinámicas de cambio que se expanden sobre los pastos. Esto se verifica con los documentos de planes de desarrollo para Villavicencio (IGAC & Gobernación del Meta, 2005) los cuales determinan por medio de estudios de zonificaciones que el uso de las coberturas de Villavicencio se debe asignar para las actividades agrícolas. Con respecto a la dispersión urbana se encuentra que para el año 2000 presenta un total de 205.355 edificaciones en Villavicencio, lo cual para el año 2006 se encontraron 544.420 edificaciones en la ciudad (DANE, 2017).

Por otro lado, como se observa en la tabla anterior el estado de las coberturas vegetales respecto a su clase de área presentaron una disminución para el año 2016. La cobertura boscosa con un 12% y los pastos con un 9% se evidencia la disminución de coberturas naturales en el piedemonte. La zona urbana por otro lado incremento su porcentaje de área hasta el 37%. Este incremento se da como resultado del aumento del tejido urbano desde el crecimiento de su infraestructura y viviendas de Villavicencio, según el plan de ordenamiento territorial para el año 2016 la ciudad se encontró dividida por 8 comunas, 7 corregimientos y 61 veredas con un total de 797.584 edificaciones en la ciudad de Villavicencio (DANE, 2017).

Número de parches

El número de parches o fragmentos de cada tipo de cobertura es una medida de fragmentación que se produce para la cobertura seleccionada; sin embargo, el número de parches de cada cobertura puede ser importante para reconocer los procesos ecológicos, identificar si las coberturas presentaron procesos naturales en su conectividad (MCGARIGAL & MARKS, 1995). Se puede observar que existe un aumento en el número de parches (Ver apéndice H), confirmando que existe

un proceso de fragmentación o división de los grupos homogéneos que existían en periodo del año 2000, se observa que durante el periodo de 2006 a 2016 existe una consistencia en el aumento de fragmentación de parches.

La gran área de cobertura boscosa que se encontraba desde la vereda vanguardia hasta la vereda san Luis de Ocoa en el periodo de tiempo del año 2000 es remplazado por parches de vegetación arbustiva que se acentúan de manera natural finalizando en fragmentos de bosque a medida que baja la altitud del piedemonte llanero, esta fragmentación a través del tiempo crea una recuperación natural de sotobosque para la vegetación arbustiva. Los parches de los mosaicos de cultivos y pastos presentan fragmentación en el transcurso que interactúan con la dispersión urbana y rural.

Como resultado de los números de parche para cada tipo de cobertura, se logra identificar en la figura 8 las coberturas con mayor fragmentación, esto representa el número de fragmentos en lo cual ha terminado el área de cada cobertura a través de la multitemporalidad. Los mosaicos de cultivos con pasaron de ser un área con 126 fragmentos a 426 parches lo cual significa una subdivisión de fragmentos en el transcurso del tiempo. La cobertura boscosa obtuvo como resultado final un numero de parches de 304 los cuales no representa una mayor fragmentación sobre el área de piedemonte. Los bosques no presentan dispersión en sus fragmentos debido a que se evidencia una pérdida en la cobertura por el incremento en las coberturas dispersas de la vegetación arbustiva y mosaico de cultivos (Ver apéndice H).

La dispersión de la zona urbana y rural ocupa los lugares en los cuales las coberturas boscosas y de pastos presentaron disminución en su transición temporal, esta dispersión se corrobora para el año 2016 en donde Villavicencio conto con 1.124.491 edificaciones censadas por el DANE (DANE, 2017). Este resultado de fragmentación en las coberturas vegetales se encuentra asociado a la dinámica de actividades antrópicas las cuales anulan la recuperación de coberturas vegetales a través de la línea de tiempo.

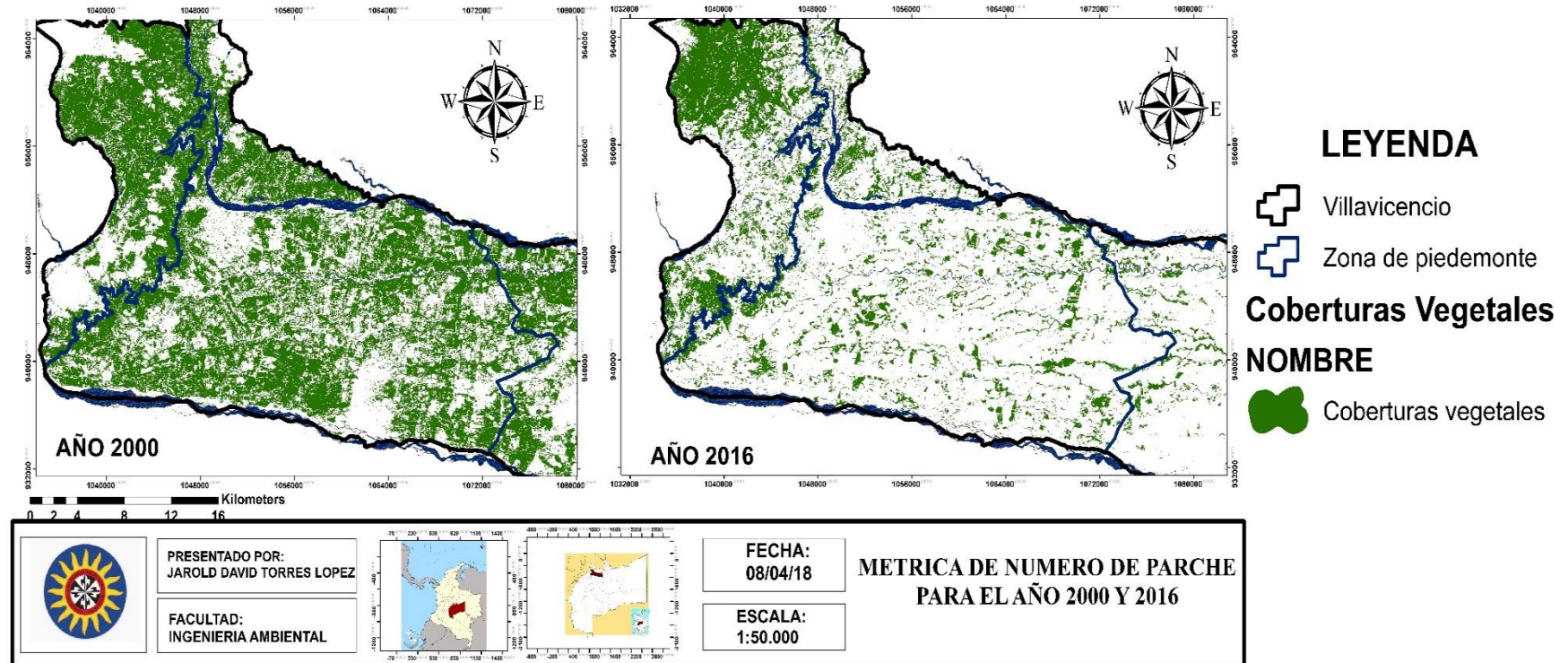


Figura 8. Mapa de dispersión de índice de numero de parches para la cobertura vegetal de bosque del piedemonte de Villavicencio, Meta, por Jarold Torres, 2018.

Forma e índice de dimensión fractal

El resultado de la forma de la cobertura y su dimensión fractal se resume a que el fragmento con mayor cercanía a 1 es más compacto; es decir la cobertura no presenta grandes transformaciones a través de la multitemporalidad, a medida que aumenta el valor el fragmento es mucho más irregular (MCGARIGAL & MARKS, 1995).

Un parche alargado es menos efectivo para conservar los recursos del interior de un fragmento que uno redondo, por razones similares un parche perforado puede tener poca o ninguna área interior. Las áreas pueden arrojar valores altos de índice de forma, es decir puede tener fragmentos irregulares debido a la concurrencia de varios tipos de cobertura dentro de un mismo fragmento.

Según la relación del índice de dimensión fractal asociado con la forma, demuestra una irregularidad del área respecto a cada clase de cobertura, los rangos para este índice se determinaron como valores de alto (1) asociado a las coberturas con mayor compactación en su dispersión, medio (1.5) representando irregularidades en la compactación de su dispersión y bajo (2) para la dispersión fragmentada que presenta la cobertura, se propusieron respecto a la compactación e irregularidad de las coberturas. Estos valores se establecen para identificar el estado en el que iniciaron las coberturas para el año 2000 y sus cambios o niveles constantes que se presentaron en el intervalo de 2006 hasta el año 2016.

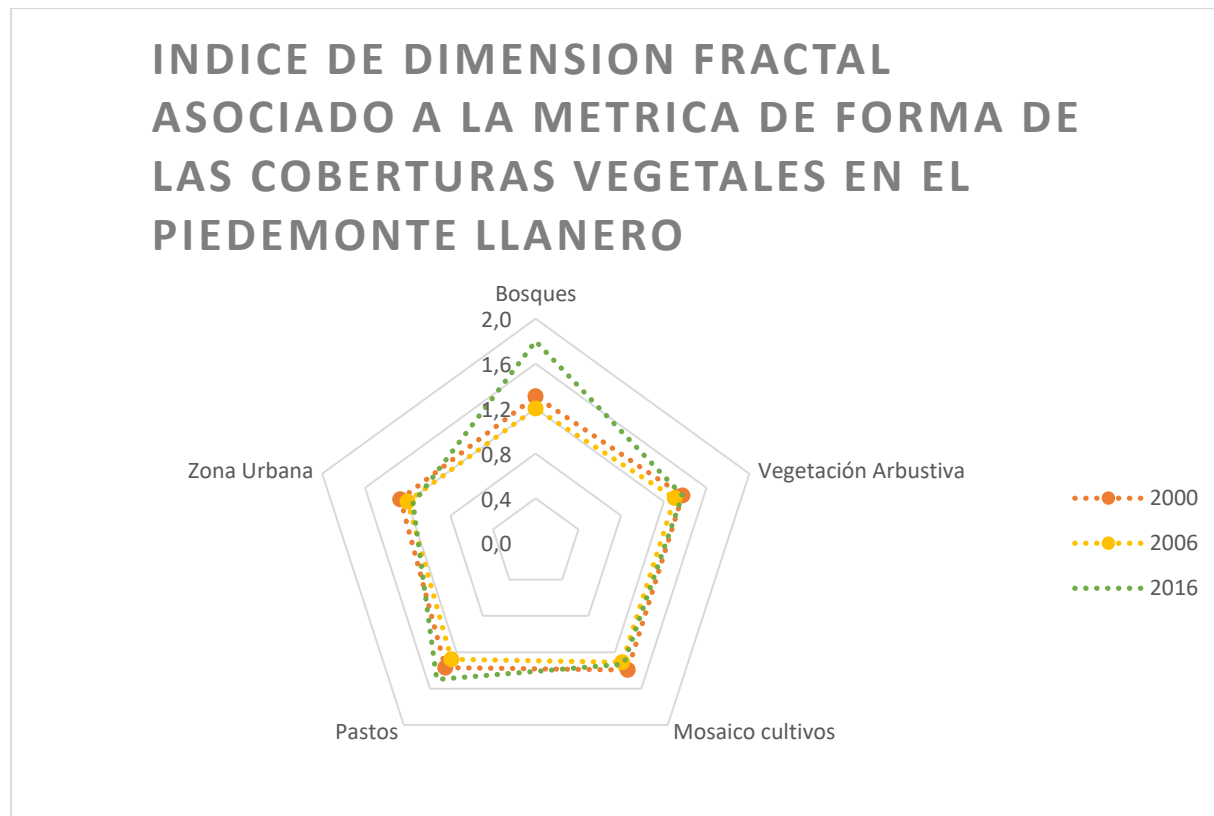


Figura 9. Gráfico radial de dimensión fractal asociado a la métrica de forma de irregularidades de la cobertura vegetal del piedemonte llanero de Villavicencio, por Jarold Torres, 2018.

Se evidencia en la figura 9 que las coberturas de bosque y pasto presentan una irregularidad en sus áreas, lo cual significa que su fragmentación ha sido de manera ascendente en la multitemporalidad. Estas áreas presentaron irregularidad en su dimensión fractal y su forma en las 3 temporalidades, su mayor irregularidad se presenta para el año 2016 en donde se encuentran las coberturas boscosas con 1.8 y la cobertura de pasto con 1.5. La cobertura boscosa no presentó irregularidades debido a ocurrencia de varios tipos de cobertura dentro de un mismo fragmento, su nivel de compactación para este valor representa una pérdida de la cobertura boscosa, sin recuperación de otros fragmentos de cobertura dentro de los bosques.

La cobertura de vegetación arbustiva presentó un cambio en el año 2006 creando una irregularidad con un valor de 1.4 su compactación disminuyó, resultado que para el año 2016 volvió a tener el mismo valor con respecto al año 2000 el cual presentó un valor de 1.3 lo cual no genera irregularidades altas en la transición de tiempo. Su cobertura se presentó en los dos intervalos de tiempo constante, logrando una compactación media en su dispersión del piedemonte llanero. Sus

valores en los 3 años estudiados presentaron que la cobertura de vegetación arbustiva es una cobertura de transiciones naturales, lo cual significa que tiende a recuperarse naturalmente a través de los años.

Con respecto a los mosaicos de cultivos en la figura 10 se evidencian como las coberturas aumentan su compactación a través de la temporalidad. La cobertura de mosaicos presento para el año 2000 un valor medio de 1.5 el cual para el año 2016 aumentó en su compactación con respecto a su distribución en el piedemonte con un valor alto de 1.3.

La transformación de las coberturas de bosque y pastos que se evidencia en la figura 10, demuestra que el uso de coberturas para el piedemonte llanero se inclina hacia el aprovechamiento económico debido al nivel de compactación que presenta los mosaicos de cultivos. La distribución fractal para las coberturas presenta dos etapas. La primera etapa demuestra la compactación e incremento del número de parches con una forma fractal adecuada para homogenizar el terreno y adecuarlo para uso agrícola, por otro lado, se presenta que la expansión del tejido urbano y rural tiende a desplazar los mosaicos hacia el Nororiente de Villavicencio.

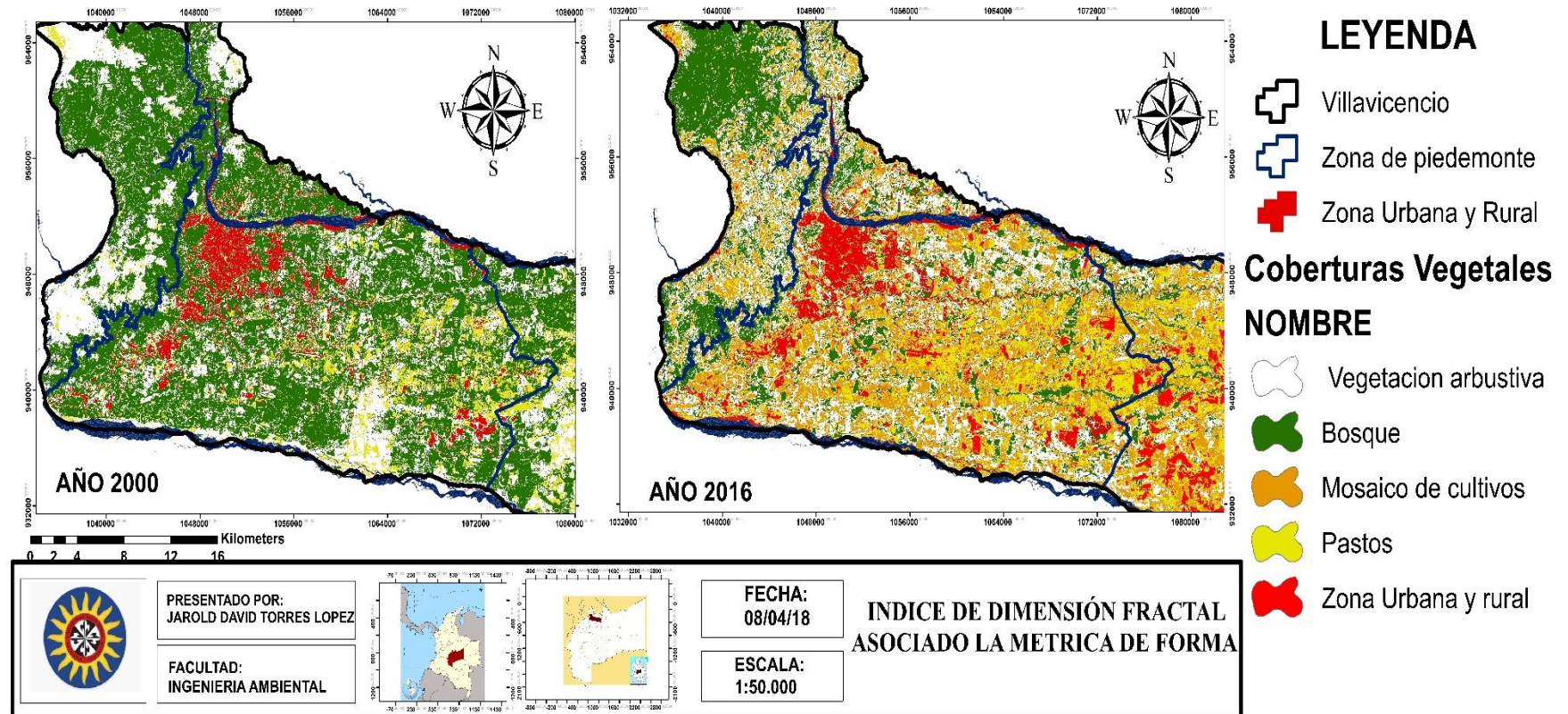


Figura 10. Zonificación de dimensión fractal asociado a la forma de área de las coberturas vegetales del piedemonte llanero de Villavicencio, por Jarold Torres, 2018.

Distancia media del vecino más cercano

Para la zona de estudio, se buscó la distancia mínima a la cual se encuentran conectados los fragmentos de mayor intervención para cada tipo de cobertura. Estos fragmentos se determinan con respecto a su valor de área y dispersión para identificar el grado de conectividad de la integridad espacial que presenta el piedemonte llanero con respecto a los cambios de las coberturas.

Los valores representados en la figura 11, identifican la distancia de conectividad de los fragmentos de mayor representación, es decir los fragmentos o parches que se distribuyen y presentan una mayor área muestran la conectividad para cada tipo de cobertura. En cuanto a la conectividad, el indicador de distancia media del vecino más cercano muestra distanciamiento alto entre las mismas clases. Como consideración general para esta métrica, los resultados son útiles si se tiene en cuenta la integridad espacial del paisaje de piedemonte ya que el resultado debe ser comparativo en una sucesión de tiempo con el fin de presentar cambios ecológicos o antrópicos.

Las coberturas vegetales de bosque y pastos presentan un valor de distancia que significa discontinuidad entre la misma cobertura, se identifica un valor inicial 25km para el año 2000 la cual se encontraba como la cobertura de mayor conectividad, resultado que para las siguientes dos temporalidades aumentaron hasta obtener un resultado de 80km. Este resultado se contrasta con la clasificación supervisada (ver figura 10) en el trabajo de asignación el cual se presentan los fragmentos más notorios en una distancia lejana. Para la cobertura de pastos la cual se encuentra como la segunda cobertura con menor conectividad se establece que dentro de la sucesión temporal la cobertura presento cambios con respecto al aprovechamiento agrario del piedemonte, debido a que las zonas en donde se encontraban los pastos se encuentran delimitadas por los mosaicos de cultivos (Abadía, 2007).

La cobertura de vegetación de arbustiva tiene el resultado de perdida más bajo con un resultado de -0.715 con respecto a los bosques y pastos, la vegetación arbustiva presenta menor irregularidad la cual se evidencia en la figura 13, demostrando que en la sucesión temporal la vegetación arbustiva presenta dispersión de su cobertura estableciendo áreas en diversas zonas del piedemonte y recuperando de manera natural sus pérdidas transicionales (Ver apéndice I).

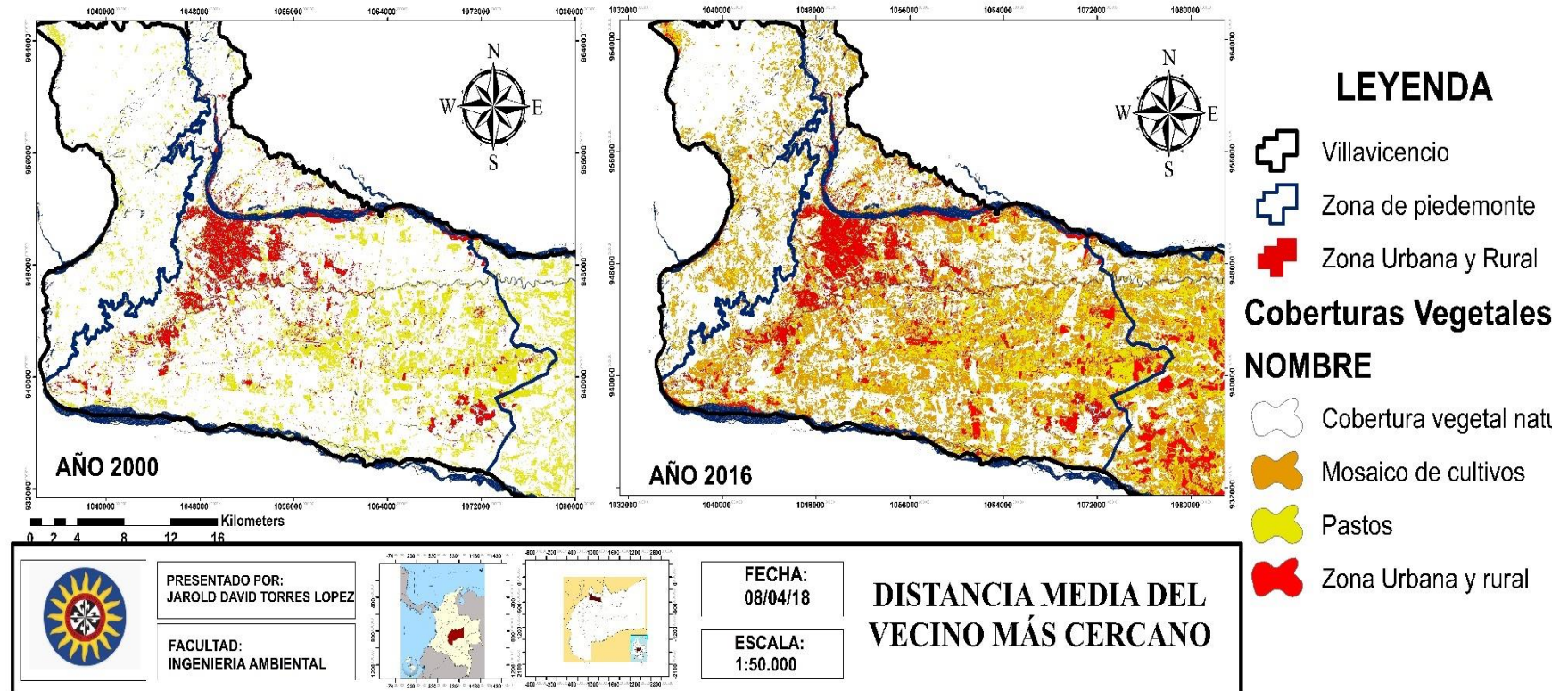


Figura 11. Métrica de conectividad para las coberturas de bosque, vegetación arbustiva, mosaico de cultivos, pastos y zona urbana en el paisaje de piedemonte llanero de Villavicencio, por Jarold Torres, 2018.

Las consecuencias que esto trae que son el incremento en el número de fragmentos, la reducción de sus tamaños, y el aumento de su aislamiento, afecta el movimiento y la posibilidad de encontrar zonas de conectividad vegetal y recuperación natural de las coberturas.

Calculo de fragmentación de las coberturas vegetales

Para la determinación de los cambios respecto a recuperación o pérdida en las coberturas vegetales, se realizó el cálculo de fragmentación para un intervalo de 16 años (ver tabla 7). Los cambios se presentaron con respecto a su área en un valor porcentual el cual determina que para un resultado negativo presenta una pérdida en la cobertura, por lo tanto, si el valor es positivo representa un aumento en la cobertura. Para identificar la dinámica de actividades antrópicas referente a la dispersión urbana y rural de Villavicencio se calculó el cambio porcentual para esta área con el fin de determinar el porcentaje de interacción que ha ejercido sobre las coberturas vegetales.

Tabla 7. Cambio porcentual de las coberturas vegetales

CLASIFICACIÓN	TASA PORCENTUAL (%)
BOSQUES	-3.88
VEGETACION ARBUSTIVA	-0.715
MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS	1.615
PASTOS	-1.715
ZONA URBANA	5.88

Nota: Resultado de pérdida y aumento de cobertura boscosa, vegetación arbustiva, mosaico de cultivo, pastos y zona urbana para el piedemonte llanero en una transición de tiempo desde el año 2000 hasta el año 2016, por Jarold Torres, 2018.

En la tabla 7 representando el porcentaje de fragmentación en la temporalidad de 16 años, para la cobertura boscosa se obtiene un resultado de -3.88%, este resultado se presenta como el mayor porcentaje respecto a la pérdida de esta cobertura. La pérdida de cobertura boscosa se encuentra asociada con el aumento de las áreas urbanas y rurales debido a su respuesta positiva en el cambio porcentual (ver figura 10).

Los pastos son la segunda cobertura que mayor pérdida presenta en el piedemonte con un valor de -1.715, la cobertura de pastos se encuentra asociada al incremento de mosaico de cultivos, esta

conectividad e incremento en los cultivos crea una barrera de aislamiento para el aumento de pastos proporcionando que cada vez se pierdan más los pastos para el uso y aprovechamiento de cultivos.

Modelo de zonificación de zonas de importancia

Los variables y condiciones de uso fueron basados en la integridad espacial y la estructura del piedemonte llanero que presenta Villavicencio, con el fin de identificar las zonas en términos de elementos de paisaje y su relación con el uso normativo que determine el estado de conservación y restauración en el piedemonte llanero de Villavicencio. Las variables establecidas en este estudio tienen en cuenta el uso actual y el uso propuesto por los anteriores planes de ordenamiento territorial de Villavicencio, de manera que al establecer que tipo de cobertura es la existente y cuál es la cobertura potencial se pueda llegar a un conocimiento preliminar para que las condiciones normativas aprueben la condición de conservación, restauración y monitoreo.

También se determinó que estos fragmentos cumplan con criterios de selección de áreas protegidas y conservación, o criterios para el establecimiento de corredores como una pauta general para la zona de piedemonte llanero en donde según Hammen (1999) es indispensable conservar todo lo que existe todavía en vegetación natural, incluyendo bosques primarios y bosques de desarrollo secundario, también es indispensable aumentar la superficie de bosques nativos en las áreas de mayor zona altitudinal, que debía ser casi continuo arriba de los 450msnm hasta los 700msnm. Es indispensable declarar áreas de manejo especial o reservas, grandes áreas de bosque que tengan interacción con las rondas hídricas del municipio (villavicencio, 2015). A nivel mundial los siete criterios más usados para la selección de un área de conservación y en orden de importancia han sido los siguientes (Sanchez & Ovidio, 2006):

- Sitios con ambientes ecológicos, diversidad o riqueza biológica destacados.
- Sitios de concentración o comunidades particulares de fauna.
- Sitios en cuencas hidrográficas importantes.
- Lugares de importancia para especies migratorias.
- Áreas con formaciones, asociaciones o comunidades vegetales representativas.
- Sitios con especies endémicas y recursos genéticos.
- Lugares con alto valor natural geomorfológico o paisajístico.

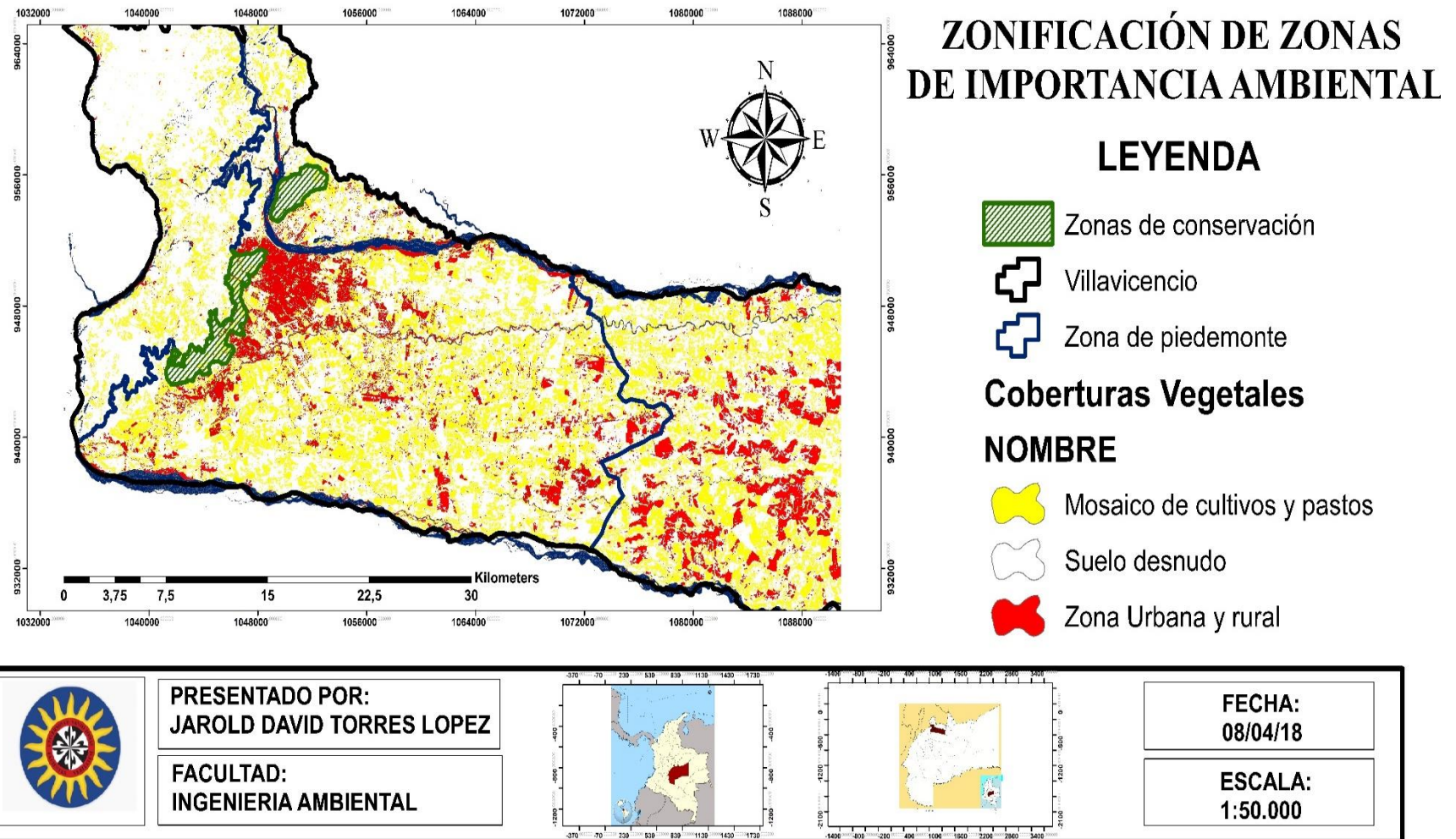


Figura 12. Zonificación de zonas de importancia ambiental para la conservación, restauración y monitoreo en un paisaje de piedemonte llanero de Villavicencio, por Jarold Torres, 2018.

En la figura 12 se presenta el resultado de la zonificación de áreas de importancia ambiental para la conservación, restauración y monitoreo del piedemonte llanero de la ciudad de Villavicencio. Se identificó que el bosque natural en la transición de la temporalidad establecida se encuentra como la cobertura de mayor impacto con respecto a la pérdida de coberturas vegetales en el piedemonte de la ciudad.

La cobertura boscosa contaba con 33833,08Ha para el año 2000, las cuales terminaron en 10221Ha mediante la zonificación y aplicación de criterios para el reconocimiento del área de mayor afectación. Teniendo en cuenta la política del ordenamiento territorial que se establece en el capítulo III para el municipio de Villavicencio, la cobertura boscosa se encuentra una zona de importancia que cumple con los componentes del sistema de soporte ambiental, componente de áreas de importancia ecológica del municipio y la clasificación de las áreas para la conservación.

El piedemonte llanero se encuentra dividido y de manera heterogénea, es decir tiene fragmentos de diferente calidad dispersos en un ambiente inadecuado. La cobertura boscosa la cual es la que se encuentra con mayor fragmentación y de mayor enfoque para la conservación se ve modificada mediante las actividades antrópicas, debido a que el área de estudio presenta una clara dominancia de la Cobertura agropecuaria ocupando el 33% del total del paisaje, las coberturas de crecimiento arbustivo tienen un 14% mientras que los bosques densos un 10% y las coberturas antrópicas sumadas ocupan un 43% del área total.

Las coberturas de la zona tienen una estructura de integridad espacial muy definida que puede ser consistente de manera visual con el grado de pendiente del terreno, ya que los fragmentos de coberturas naturales que se encuentran en mejor estado de conservación se ubican en zonas de 450msnm hasta los 700msnm. Las áreas que presentan mayor incidencia como lo son bosques y vegetación arbustiva tienen una incidencia diferente, lo cual retribuye a que los bosques por la cercanía al área periurbana de Villavicencio se ve afectada por la dispersión y crecimiento que se presenta en la línea de tiempo, en cuanto a la vegetación arbustiva que se encuentra como soporte de conectividad hacia los bosques su afectación se presenta por la localización en la cual se presenta, por sus características se presenta en las zonas de uso de mosaico de cultivos.

Se determina así, que los bosques de piedemonte son la cobertura estratégica de restauración ecológica a través de acciones de recuperación y monitoreo de la vegetación, a fin de recobrar la función hídrica que establece el Plan de Ordenamiento Territorial de Villavicencio (villavicencio,

2015). La diversidad de coberturas que se presentan en el piedemonte se puede establecer de acuerdo con su ubicación ya que se presentan en áreas cercanas a áreas de protección establecidas por el municipio, los cuales contarían con los parámetros de conservar la diversidad y utilizar de manera sostenible con fin en promover educación y concienciación para establecer monitoreos de entidades gubernamentales y civiles del piedemonte llanero.

Conclusiones

- La detección de cambios en las coberturas vegetales de piedemonte de Villavicencio se obtuvo mediante el análisis multitemporal de las clasificaciones de la cobertura, en un intervalo de 16 años; con especial atención en los cambios ocurridos a la categoría de cobertura vegetal natural, siendo evidente la pérdida de área perteneciente a la misma. Estimándose un porcentaje de Cambio, la tasa anual de cambio para la cobertura de bosque fue negativa con un porcentaje del -3.88 %, lo que indica una pérdida anual de 3.88 ha de cobertura de bosque natural; en contra posición a este resultado la tasa anual de cambio de la cobertura no vegetal es positiva en 5.88% indicando con ello el incremento de aproximadamente 6 ha generadas por el crecimiento del tejido urbano anualmente.
- La cobertura vegetal para el año 2016, indica que los pastos son aquellos con menor área 11282ha, que corresponden al 8% del total de área de piedemonte llanero, seguido de la cobertura de bosques naturales con un 12% que corresponde a 15946ha; en este orden, la vegetación arbustiva con 23364ha suma un 17%. Estas 3 coberturas se encuentran como las categorías de cobertura vegetal natural que presentan cambios de pérdidas representado en fragmentaciones y disminuciones en áreas de piedemonte. La zona urbana con un 37% de ocupación representado en 39143ha y los mosaicos con 31520ha ocupan los valores más altos en el piedemonte de Villavicencio.
- Dentro del análisis realizado se puede llegar a concluir que la pérdida de coberturas de vegetación natural se encuentra directamente relacionado con el crecimiento del tejido urbano, visto desde un crecimiento en las construcciones e infraestructuras del municipio aunado a las actividades de desarrollo urbano y uso agropecuario que ejercen presión sobre zonas de conservación y monitoreo establecidas por la ciudad de Villavicencio.
- La creación de edificaciones urbanas se encuentra compactas respecto a la dispersión del tejido urbano debido a su aumento de conexiones viales para las infraestructuras presentes en el año 2016. Este resultado se contrasta con el índice de dimensión fractal establecido

en las métricas de paisaje, el cual determino que para la cobertura urbana se encuentra un valor de 1.1 en su rango de compactación, creando una conectividad y continuidad de la cobertura en un aspecto de expansión.

- Teniendo en cuenta la tasa anual de pérdida de piedemonte, es necesario una mejor toma de decisiones ambientales para Villavicencio, de acuerdo con el cambio de cobertura que se evidencia por medio de las dinámicas agrícolas y de expansión urbano rural, se deben desarrollar estrategias de conservación enfocados a la protección de los bosques nativos que no han sido intervenidos por las dinámicas de cambio y así detener la fragmentación. Lo cual asegure la conservación de la biodiversidad y especies endémicas del piedemonte recuperando la conectividad de bosque de piedemonte para áreas vecinas al municipio.

Discusión de resultados

Apoyado en la hipótesis se permite afirmar que se presenta un ritmo acelerado de dispersión urbano y rural, siendo este un componente esencial para la interacción de los diferentes elementos comprendido, buscando así sus posibles impactos en el sector de piedemonte sobre la presión en las coberturas naturales, entonces las coberturas clasificadas y analizadas muestran una dinámica de cambio que favorece el tejido urbano y hace constante presión sobre las coberturas vegetales dentro de la temporalidad estudiada, este efecto se extenderá y será progresivo que se evidenciara en próximos estudios con enfoques en las dinámicas de cambio que se presentan.

Teniendo en cuenta las caracterizaciones del piedemonte; y el resultado del incremento de mosaico de cultivos y actividades antrópicas, es probable que la tasa anual de pérdida de bosques y vegetación arbustiva -3.88% durante los años 2000-2016, continúe de manera creciente en los siguientes años. Lo cual concuerda con lo planteado por Grace (2006), el cual determino que las coberturas vegetales están siendo transformadas a tasas mayores de 1%.

Los valores obtenidos respecto a la tasa porcentual de cambios de coberturas y posibles fuerzas direccionales que hacen presión a estas, es de resaltar, que existe la necesidad de desarrollar un mayor número de estudios orientados a temáticas de crecimiento urbano y sus impactos sobre las coberturas vegetales en los Llanos Orientales y así tener un mayor conocimiento con respecto a los diversos procesos de transformación que están teniendo lugar en la región.

El presente estudio corrobora algunos resultados encontrados por otros autores Rodríguez (2011), Abadía (2007) y la universidad de los llanos (2012) con respecto a la caracterización de coberturas que presenta el piedemonte de Villavicencio, de acuerdo con la implementación de metodologías de imágenes satelitales permite evidenciar y ajustar las metodologías de campo como verificación las categorías y tipos de coberturas que se presentan en el piedemonte llanero de Villavicencio como lo son los bosques, vegetación arbustiva, pastos y mosaico de cultivos. Cabe resaltar que para una mayor precisión se podrían realizar estudios de especies específicas de coberturas vegetales para una dimensión de escala nivel detalle (1:10.000).

Por último, en el desarrollo de este estudio no se realizó ningún tipo de proyección de futuros escenarios de pérdida de piedemonte llanero. Sin embargo, esto podría ser de gran valor en futuros estudios llevados a cabo en el área de estudio.

Recomendaciones

Realizar estudios para el piedemonte de Villavicencio teniendo en cuenta no solo la temporalidad establecida anteriormente, sino generar una multitemporalidad a futuro que permita observar el tiempo de transformación y fragmentación total para las coberturas boscosas y de vegetación arbustiva.

Incluir este estudio como un insumo que permita generar estrategias que conjugue las disposiciones legales municipales permeando los cambios en el uso de suelo y verificando que no se realice más presión a estas zonas áreas que presentaron mayor transformación y fragmentación declarando zonas de protección ambiental, visualizando por monitoreos los impactos generados por el efecto en la aplicación de estas disposiciones de ajuste o cambios sobre terrenos establecidos para el crecimiento urbano-rural.

Referencias bibliográficas

- Abadía, J. G. (2007). *Cambios en la cobertura del paisaje y fuerzas conductoras en los llanos orientales de Colombia 1988-2007*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12443/AbadiaJuanGuillermo2011.pdf?sequence=1>
- Aguilera, F. (2010). Aplicación de métricas de ecología del paisaje para análisis de patrones de ocupación urbana en el área metropolitana de Granda. Obtenido de <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/31845>
- Alamo, B. (1991). *Paisaje y educación ambiental: evaluación de cambios de actitudes hacia el entorno*. Obtenido de <https://repositorio.uam.es/xmlui/handle/10486/2311>
- Arango, G., Branch, B., & Botero, F. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos: Landsat - ETM. *Revista Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*, 2611-2634.
- Ausdal, S. (2008). Pasture, profit, and power: An environmental history of cattle ranching in Colombia, 1850–1950 . *Science Direct*.
- Baldi. (1995). WGS.
- Bennett. (1999). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. Obtenido de <https://www.iucn.org/es/content/enlazando-el-paisaje-el-papel-de-los-corredores-y-la-conectividad-en-la-conservaci%C3%B3n-de-la-vida-silvestre>
- BLASCHKE, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, págs. 2-16.
- Chuvieco. (1996). *Fundamentos de Teledetección*. Madrid. Obtenido de <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema01.pdf>
- Colombia, U. N. (2016). *Unal*. Obtenido de <http://ciencias.bogota.unal.edu.co/gruposdeinvestigacion/ecolmod/informacion-de-interes/que-es-ecologia-del-paisaje/>
- Colombo-Alemana, C. (1999). *Guia para determinar unidades de cobertura y uso de la tierra* . Villavicencio.
- Communities, C. o. (1994). *CORINE Land Cover Technical guide*. Luxemburgo.
- CORPOICA. (2005). *Fundamentos biofísicos y socioeconómicos para la formulación de propuestas productivas para la Orinoquia alta Colombiana*.
- DANE. (2017). *DANE*. Obtenido de DANE: <http://www.dane.gov.co/>

- DUPUY. (2007). *Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112007000100007
- Ecology, U. L. (2017). *Fragstats*. Obtenido de <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- EOS. (2017). *Land Viewer*. Obtenido de www.eos.com
- Escribano, E. a. (1987). El paisaje. En *Ministerio de Obras Publicas y Transportes. Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente* (págs. 11-11). Madrid.
- Esri. (2017). Obtenido de Esri: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>
- Esri. (2017). *Arcgis Desktop*. Obtenido de Arcgis Desktop: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/image-classification/what-is-image-classification-.htm>
- Etter, A., & Sarmiento, A. (2005). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia.
- Etter, A., & Villa, L. (2001). *Los sistemas de producción, extracción y asentamiento en el analisis de la transformacion del paisaje*.
- Etter, A., & Wyngaarden, W. (2000). Patterns of Landscape Transformation in Colombia, with Emphasis in the Andean Región. Bogota.
- Fahring, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity.
- Goldewijk. (2004). Land cover change over the last three centuries due to human activities: The availability of new global data sets. En *GeoJournals* (págs. 335-344).
- Goldewijk, K. (2001). Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE database. En *Global Biochemical Cycles* (págs. 417-433).
- Grace, J., San Jose, J., Meir, P., Miranda, H., & Montes, R. (2006). Productivity and carbon fluxes of tropical savannas.
- Gregorio, D. (2005). *Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra Conceptos de Clasificación y manual para el usuario Versión 2 del Programa*.
- Gustafson. (1998). Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art? En *Ecosystems* (págs. 143-156).
- Gutierrez, J. (2000). *Sistemas de Informacion Geografica*. España.
- Gutierrez, N. (2016). Estudio multitemporal para identificar los cambios en la cobertura vegetal del humedal de Tibabuyes. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13712/4/ESTUDIO%20MULTITEMP>

ORAL%20PARA%20IDENTIFICAR%20LOS%20CAMBIOS%20EN%20LA%20COBERTURA%20VEGETAL%20DEL%20HUMEDAL%20DE%20TIBABUY.pdf

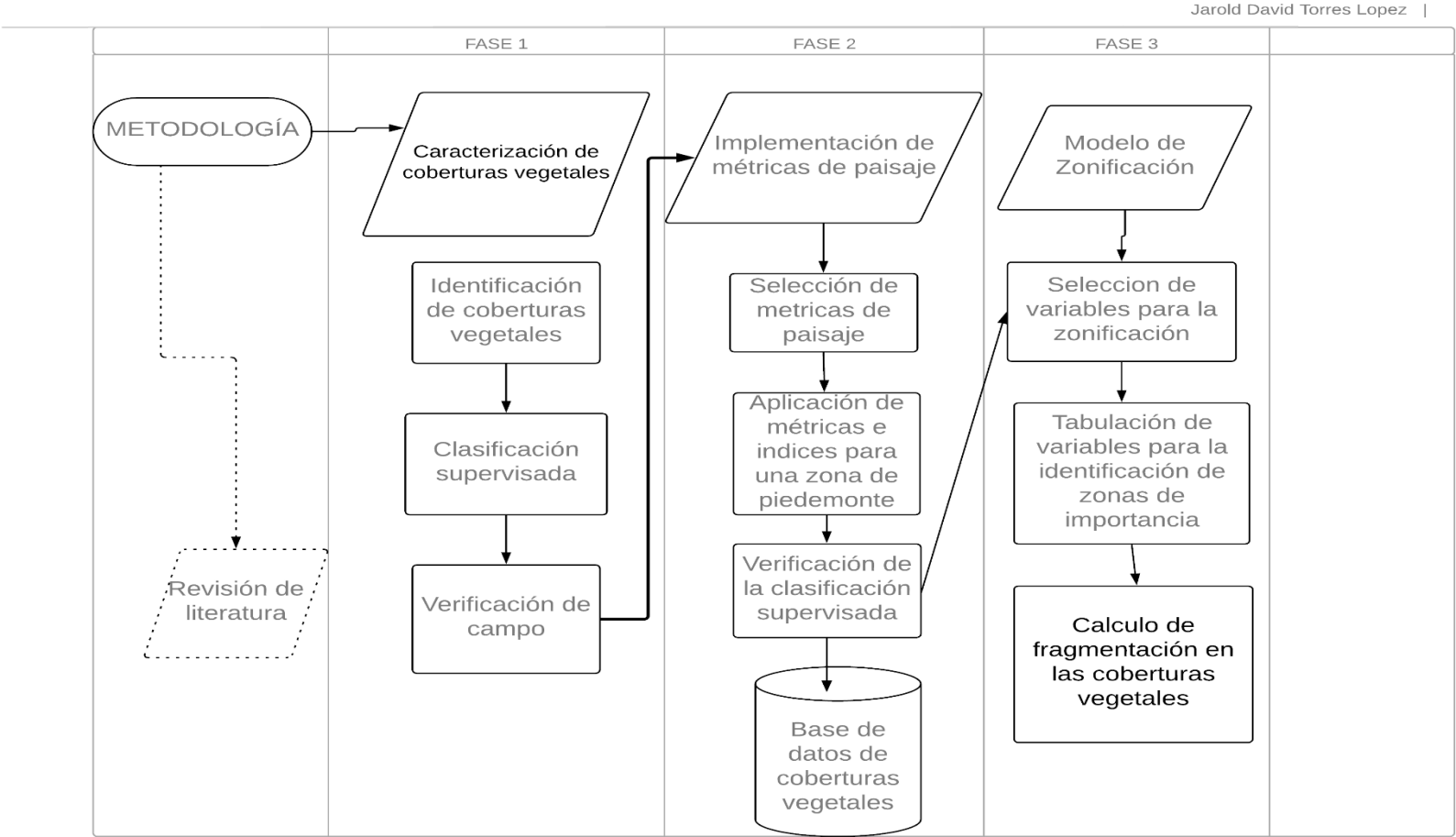
- Hagen, M. (s.f.). Advances in Ecological Research. En Biodiversity, Species Interactions and Ecological Networks in a Fragmented World.
- Hammen, V. D. (1999). Consensos Mundiales de Restauración y Enfoques de Investigación y Monitoreo .
- Harris, J., Higgs, R., & Aronson, J. (2006). Ecological restoration and global climate change. *Restoration Ecology*, 170 - 176.
- Heckadon. (1999). *Deforestación, Urbanización y contaminación*.
- Hernandez, O. (2012). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del distrito central años 1987 Y 2006*. Honduras. Obtenido de http://faces.unah.edu.hn/mogt/images/stories/PDF/Tesis/13_Tesis_Olga_Hernandez_2012.pdf
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá.
- IGAC. (2005). IGAC. Obtenido de IGAC: <http://www.igac.gov.co/igac>
- IGAC, & Gobernación del Meta. (2005). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta*. Bogotá.
- Jong, D., Hornstra, T., & Maas, H. (2001). An integrated spatial and spectral approach to the classification of Mediterranean land cover types: the SSC method. . En *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (págs. 176-183).
- Jordan. (1995). Characterizing spatial structure of forest landscapes. En *Canadian Journal of Forest* (págs. 1830-1849).
- Knor, J., Kozak, J., & Horstert, P. (2009). Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. En *Remote sensing of environment* (págs. 957-964).
- Lambin, E. (2001). The causes of land use and land cover change. En *Global Environmental Change* (págs. 261-269).
- Lang, R. (2008). Optimizing unsupervised classifications of remotely sensed imagery with a data - assisted labeling. *Computers and Geosciences*, 1877-1885.
- Leon, D. (2014). Diagnostico de la fragmentacion antropogenica del paisaje para el municipio de Gutierrez. Obtenido de <https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/10134/Daniel%20Le%C3%B3n%20%28TESIS%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Liu, J. (2011). *Finding Sustainability in Ecosystem Restoration*.

- Marangon, F. (2007). *La gestione del paesaggio rurale tra governo e governance territoriale*. Milan.
- Mata, G. D., Pinedo Álvarez, A., & Martinez , J. H. (2014). Application of remote sensing in the analysis of Landscape fragmentation in Cuchillas de la Zarca, Mexico. *ScienceDirect*.
- Matteuci. (2004). *Los indices de configuración del mosaico como herramienta para el estudio de las relaciones patron-proceso*. Obtenido de <http://server.ege.fcen.uba.ar/ecoregional/Docs/teorico/Matteucci%202004%20Metricas.pdf>
- MCGARIGAL, K., & MARKS, B. (1995). a spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure v2.0 (unpublished computer program user manual and guide). En *FRAGSTATS*.
- Neill. (1996). Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. 169-180.
- Orinoquía. (1997). *Reflexiones sobre el uso sostenible de sistemas agrarios*.
- Ortiz, F. (14 de Junio de 2014). *Geoblogmatico*. Obtenido de <http://geofvortiz.blogspot.com.co/>
- Pedrerós, A. M. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*.
- Perea, A., Merono, J., & Aguilera, M. (2009). Clasificación orientada a objetos en fotografías aéreas digitales para la discriminación de usos del suelo.
- Planeación, D. N. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo (2002-2006)*. Obtenido de https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-268932_PLAN_DE_DESARROLLO_20142018.pdf
- Rodríguez, A. (2011). *Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta*. Bogota. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/5241/1/andresfeliperodriguezvasquez.2011.pdf>
- Rodriguez, J. (2005). Analisis multitemporal satelital de los bosques del Carare-Opon, mediante imagenes Landsat de 1991 y 2002. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3054/4611>
- Salamanca. (2000). *Protocolo Distrital de Restauración Ecológica*.
- Samsudin, N., & Bradley , A. (2010). Nearest neighbour group-based classification. . En *Pattern Recognition* (págs. 3458-3467).
- Sanchez, P., & Ovidio, R. (2006). Establecimiento y manejo de áreas protegidas: Notas basicas para la enseñanza. Obtenido de <https://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/223>
- SANTOS, J. (2007). *Extração de atributos de forma e seleção de atributos usando algoritmos genéticos para classificação de regiões*.

- SER. (2012). *Society for Ecological Restoration International*.
- SINGH. (1989). Change detection techniques using remotely. 989-1003.
- South, S. (2004). Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices. En *Remote Sensing of Environment* (págs. 90-97).
- Suarez , L. (2014). Breve mirada al proceso de urbanización en el Meta y Villavicencio, desde la nueva presión económica y social. *Revistageon*.
- Subiros, J., & Linde, D. (2006). *Conceptos y metodos fundamentales de la ecologia del paisaje* .
- Tovar. (2013). Monitoring land use and land cover change in mountain regions: An example in the Jalca grasslands of the Peruvian Andes. En *Landscape and Urban Planning* (págs. 40-49).
- Troll, C. (1990). *La ecologia del paisaje*.
- Turner, M. (1989). *Ecología de paisaje: efecto de procesos y patrones. Revisión anual de ecología y sistemática*.
- Unillanos, Ecopetrol, & Nuffic. (2012). Ciencias ambientales de la orinoquia Colombiana.
- USGS. (2016). *Landsat.USGS*. Obtenido de <https://landsat.usgs.gov/>
- Valous. (2010). Supervised neural network classification of pre-sliced cooked pork ham images using quaternionic singular values. En *Meat Science* (págs. 422-430).
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Restauración Ecológica: Biodiversidad y Conservación*, 221 - 246.
- Vazquez, G. (2012). Análisis de la fragmentación de los bosques templados usando sensores remotos de media resolución espacial en Pueblo Nuevo, Durango.
- Viewer, L. (2017). *Land Viewer*. Obtenido de <https://eos.com/landviewer/?s=Landsat8>
- villavicencio, C. m. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial*. Villavicencio. Obtenido de <http://www.concejodevillavicencio.gov.co/normograma/category/152-plan-de-ordenamiento-territorial>
- Weng, Q. (2009). *Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications*.
- Zhang. (2012). *Assessing the fragmentation of construction land in urban areas: An index method and case study in Shunde, China*.
- Zonneveld. (1979). Landscape ecology and its applications. *Landscape Ecology and Management*.

Anexos

Anexo 1. Esquema metodológico para la caracterización de cambios de cobertura vegetal en el paisaje de piedemonte llanero de Villavicencio



Anexo 2. Cobertura vegetal de Bosque natural en la vereda buena vista del piedemonte llanero



Anexo 3. Cobertura de vegetación arbustiva ubicada en la vereda san Luis de Ocoa de Villavicencio



Anexo 4. Vegetación de mosaico de cultivos ubicado en la vereda la llanerita de Villavicencio



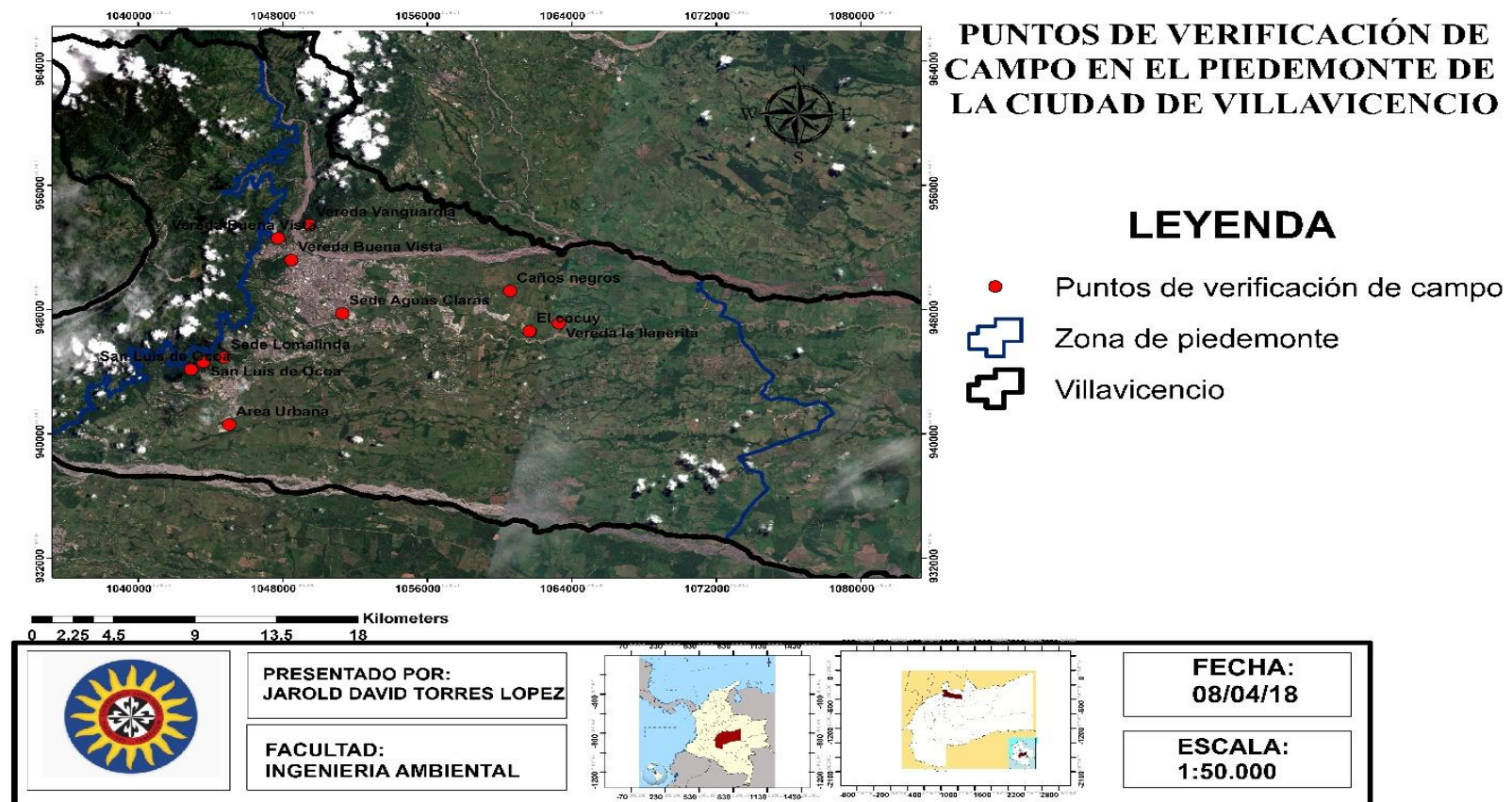
Anexo 5. Cobertura de pastos de piedemonte llanero en la vereda de Apiay de Villavicencio



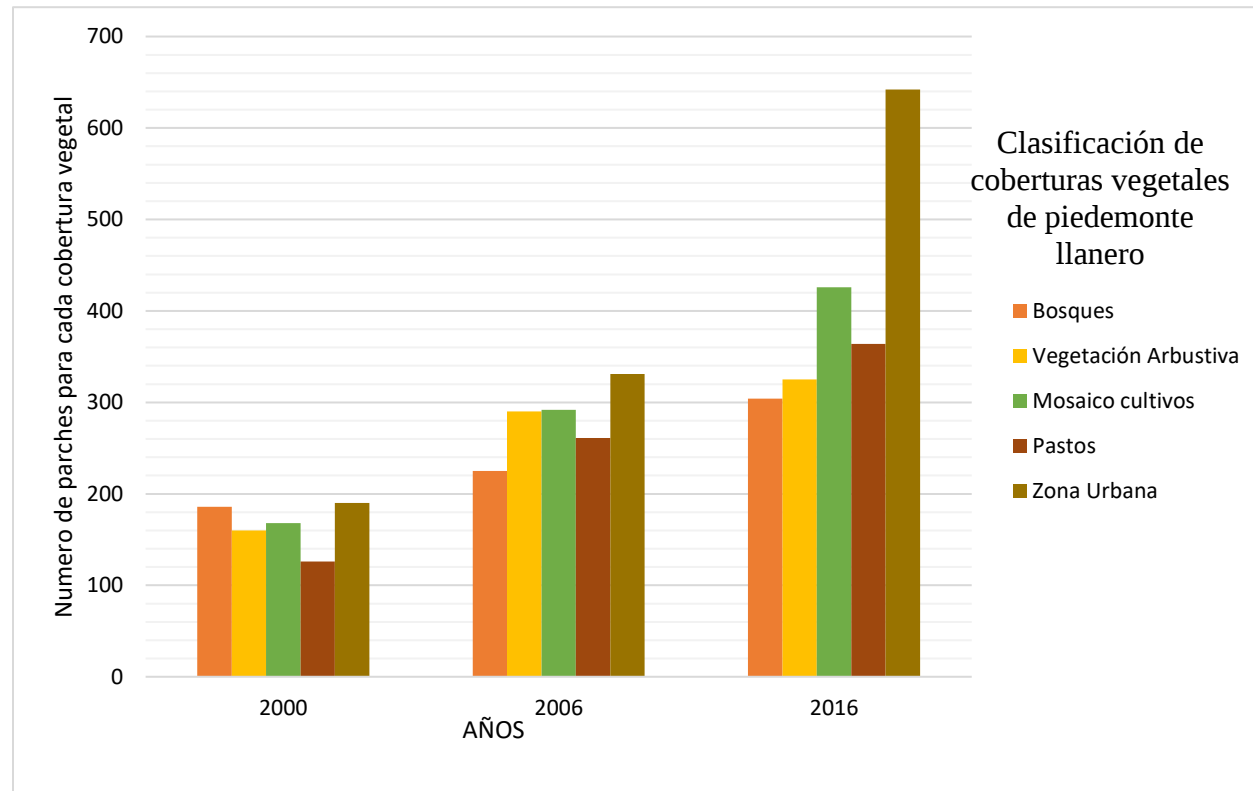
Anexo 6. Ejercicio de toma de puntos de GPS en predios de la Universidad Santo Tomas sede Loma Linda, Villavicencio, Meta.



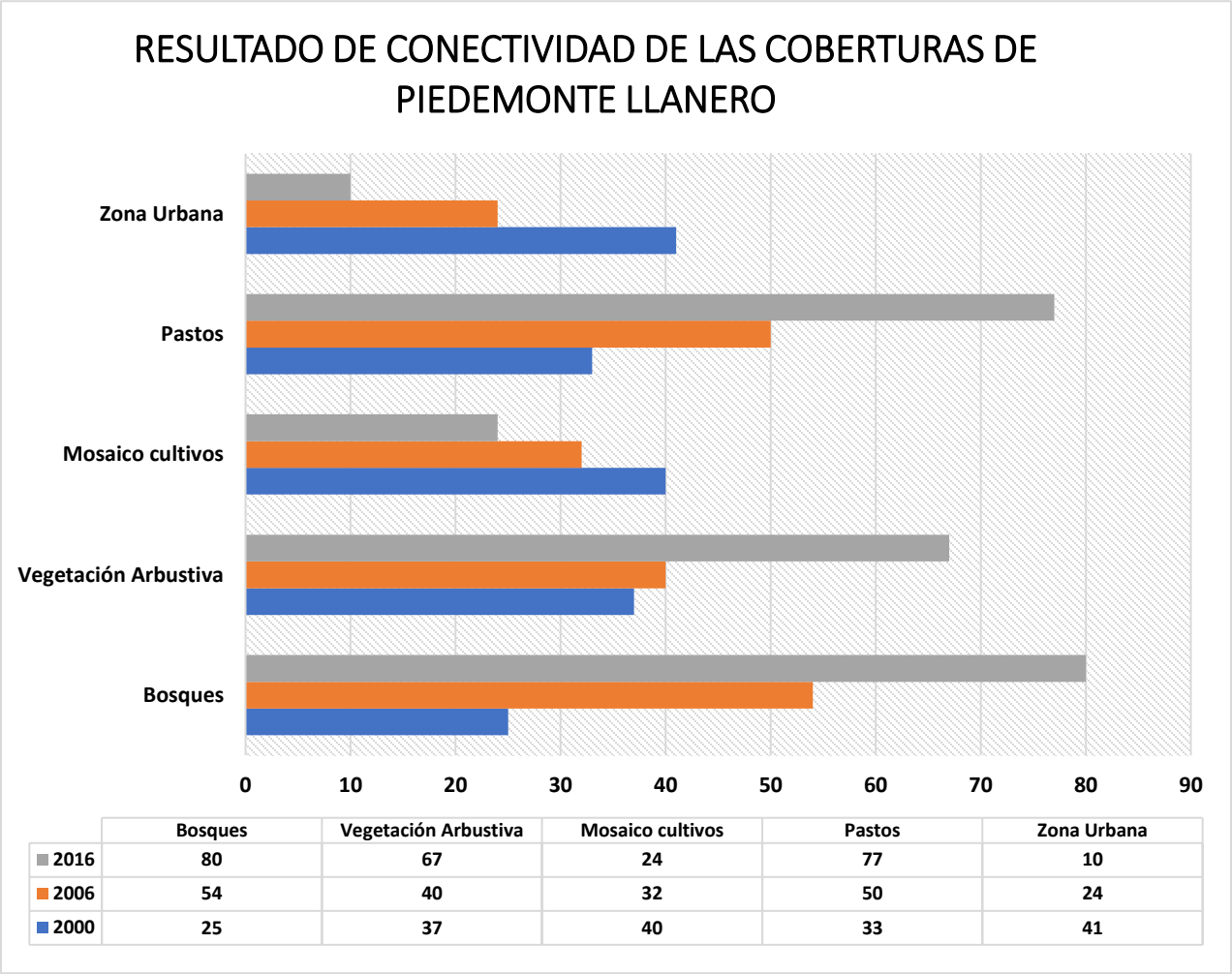
Anexo 7. Mapa de localización de puntos de verificación de campo en el piedemonte llanero de Villavicencio



Anexo 8. Resultado del número de parches para los años 2000, 2006 y 2016 para las coberturas de bosque, vegetación arbustiva, mosaico de cultivos, pastos y zona urbana para el piedemonte llanero de Villavicencio



Anexo 9. Resultado de distancia media del vecino más cercano para las coberturas de bosque, vegetación arbustiva, mosaico de cultivos, pastos y zona urbana para el piedemonte llanero de Villavicencio en los años 2000-2006-2016



Anexo 10. Tabla de Métricas de paisaje para una zona de piedemonte llanero

	DISTANCIA ENCLUIDA AL VECINO MAS CERCANO (ENN)			CLASE DE AREA (CA)			NUMERO DE PARCHES (NP)			DENSIDAD DE BORDE (ED)		
COBERTURA	2000	2006	2016	2000	2006	2016	2000	2006	2016	2000	2006	2016
Bosques	326	405	432	23833,08	27637,35	15946,25	298	347	196	58,3333	21,024	20,1009
Vegetación Arbustiva	201	358	411	35258,31	29199,46	23364,11	317	290	223	12,31682	33,6793	22,4436
Mosaico de pastos y cultivos	159	452	558	35824,68	31823,41	39520,08	268	203	353	11,85197	36,1223	76,6163
Pastos	963	358	422	23872,32	26026,19	21282,31	325	261	212	75,798	27,8872	15,0653
Zona Urbana	111	377	621	12468,24	15439,64	31145,28	191	298	415	25,6485	13,6939	53,0057
	RADIO DE GIRO (GYRATE)			INDICE DE FORMA (SHAPE)			INDICE DE DIMENSION			SHANNON EVENENES (SHEI)		
COBERTURA	2000	2006	2016	2000	2006	2016	2000	2006	2016	2000	2006	2016
Bosques	39	129	155	1,3	1,2	1,8	1,0501	1,0265	1,0716	0,9636	0,9839	1
Vegetación Arbustiva	37	143	146	1,4	1,3	1,4	1,0541	1,0353	1,0746			
Mosaico de pastos y cultivos	40	146	124	1,4	1,3	1,2	1,0572	1,0362	1,0558			
Pastos	40	143	151	1,4	1,3	1,4	1,057	1,0332	1,0768			
Zona Urbana	43	137	160	1,3	1,2	1,2	1,0478	1,0266	1,0581			