



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAar113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 1 de 7

26.

FECHA viernes, 1 de febrero de 2019

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
BIBLIOTECA
Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Extensión Facatativá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
PÉREZ PARDO	YESICA PAOLA	1073520111
RODRÍGUEZ SEGURA	YURY ANGÉLICA	1016096193

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 7

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
DE LUQUE VILLA	MIGUEL ANTONIO
JIMENEZ	CESAR DIONISIO

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Análisis espacio-temporal del proceso de fragmentación de bosques en la microcuenca "Río Botello", mediante el uso de tecnologías de la información geográfica

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO AMBIENTAL

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
01/02/2019	97 p

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
Fragmentación	Fragmentation
Multitemporal	Multitemporal
SIG	GIS
Coberturas	Coverage
Bosques	Forest
Río Botello	River Botello

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Resumen: La comprensión del proceso de fragmentación de bosques en una zona es un factor importante para formular políticas de protección y planeación en un territorio. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como propósito principal analizar el proceso de fragmentación de bosques a nivel espacial y temporal en la microcuenca Rio Botello durante el periodo de 1985 a 2018. Para dicho análisis se empleó una serie temporal de imágenes de satélite LANDSAT correspondientes a los años 1985, 2001 y 2018, junto con la metodología CORINE LAND COVER adaptada para Colombia; posteriormente, la parametrización de las coberturas identificadas se realizó por medio del software FRAGSTATS y la extensión del software ArcGis "IndiFrag v2.1".

Finalmente, se pudo observar en primera medida que el porcentaje de bosques existentes en la microcuenca pasó de ser de 41% del área total al 31% durante los 33 años del periodo estudiado, también se evidenció que el mayor cambio en pérdidas de área para esta cobertura se dio durante el periodo de 1985 a 2001, el cual se presentó por el crecimiento en área de los territorios agrícolas en la microcuenca, que desplazaron las coberturas de bosques principalmente en los sectores noreste y noroeste del área de estudio. En cuanto a la fragmentación de bosques se pudo observar que desde el año 1985 la microcuenca ha presentado un estado altamente fragmentado, no obstante, se evidencia un proceso de microfragmentación dentro de las coberturas en el periodo evaluado.

Abstract

The understanding of the process of forest fragmentation in an area is an important factor in formulating protection and planning policies in a territory. Therefore, the main purpose of this paper is to analyze the process of fragmentation of forests at a spatial and temporal level in the Rio Botello micro-watershed during the period from 1985 to 2018. For this analysis, a temporary series of LANDSAT satellite images corresponding to the years 1985, 2001 and 2018 was used, together with the CORINE LAND COVER methodology adapted for Colombia; Subsequently, the parameterization of the identified coverages was made through the FRAGSTATS software and the ArcGis extension "IndiFrag v2.1".

Finally, it was possible to observe firstly that the percentage of existing forests in the micro-watershed went from 41% of the total area to 31% during the 33 years of the study period, it also showed that the largest change in area losses for this coverage occurred during the period from 1985 to 2001, which was presented by the growth in the area of agricultural territories in the micro-basin, which displaced forest cover mainly in the northeast and northwest sectors of the study area. With regard to forest fragmentation, it could be observed that since 1985 the microbasin has presented a highly fragmented state, however, a process of microfragmentation within the coverages in the evaluated period is evident.

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación,

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 4 de 7

teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general,

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 5 de 7

contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI **NO**

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 6 de 7

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 7 de 7



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Análisis espacio temporal del proceso de fragmentación.pdf	Texto
2.ANEXO. GDB	GDB
3.ANEXO. MAPAS DE COBERTURAS	Imagen
4.ANEXO. METADATOS	Excel

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
PÉREZ PARDO YESICA PAOLA	
RODRÍGUEZ SEGURA YURY ANGÉLICA	

12.1.50

Análisis espacio-temporal del proceso de fragmentación de bosques en la microcuenca “Río Botello”, mediante el uso de tecnologías de la información geográfica

Pérez Pardo Yesica Paola

Rodríguez Segura Yury Angélica

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ciencias agropecuarias, pregrado en Ingeniería Ambiental

Facatativá, Colombia

2018

Análisis espacio-temporal del proceso de fragmentación de bosques en la microcuenca “Río Botello”, mediante el uso de tecnologías de la información geográfica

Pérez Pardo Yesica Paola
Rodríguez Segura Yury Angélica

Trabajo final presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director:

Ing. Miguel Antonio De Luque Villa

Docente de Ingeniería Ambiental Extensión Facatativá

Codirector:

César Jiménez Rodríguez

Profesor asociado

Grupo de investigación:

Cundinamarca Agroambiental

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ciencias agropecuarias, programa en Ingeniería Ambiental

Facatativá, Colombia

2018

DEDICATORIA

Al ser supremo.

A nuestros padres por creer en nosotras.

A nuestro esfuerzo y dedicación durante el desarrollo de la investigación.

Al profesor Cesar Jiménez por su paciencia durante estos años.

Al Ingeniero Miguel de Luque por ser nuestro guía y compañero en el campo de la investigación.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Guillermo Orjuela por los conocimientos compartidos y su apoyo.

A todos los docentes de la Universidad de Cundinamarca por los conocimientos brindados
durante nuestro proceso de formación.

A todas las personas que fueron, son y serán parte de nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen.....	1
2	Introducción	3
3	Descripción de la problemática.....	6
4	Justificación	8
5	Objetivos.....	11
5.1	Objetivo general	11
5.2	Objetivos específicos.....	11
6	Descripción del área de estudio	12
7	Marco conceptual.....	13
8	Marco teórico	17
9	Marco legal	22
10	Metodología	26
11	Resultados	38
11.1	Clasificación de las principales coberturas presentes en la microcuenca “Río Botello”	42
11.2	Patrones e índices que describen la dinámica de la fragmentación en la microcuenca .	48
11.2.1	Área y borde:.....	48
11.2.2	Forma	52
11.2.3	Agregación.....	54
11.3	Grado de fragmentación.....	59
11.4	Determinación de la transformación de coberturas para los periodos de estudio.	61
11.4.1	Matrices de cambio para los periodos de estudio.	64
11.4.2	Análisis multitemporal del crecimiento de coberturas por periodo estudiado.....	68
11.4.3	Parámetros multitemporales para el periodo de estudio de 1985 a 2001.....	69
11.4.4	Parámetros multitemporales para el periodo de estudio de 2001 a 2018.....	73
12	Análisis	79
12.1	Coberturas actuales en la microcuenca Río Botello.....	79
12.2	Fragmentación de bosques en la microcuenca “Río Botello”	81
13	Conclusiones	87
14	Recomendaciones	91
15	Referencias.....	93
16	Anexos	98

Lista de figuras

Figura 1. Resultado de la corrección radiométrica con ENVI 5.3.	27
Figura 2. Criterios de conformidad aplicados.	28
Figura 3. Aplicación de topología regla “Must Not Overlap”.	31
Figura 4. Aplicación de topología regla “Must Not Have Gaps”.	31
Figura 5. Puntos de control empleados en la digitalización.	32
Figura 7. Tres tipos de crecimiento para análisis del Índice de Expansión (LEI).	37
Figura 7. Áreas hidrográficas de Colombia.	38
Figura 8. Zonas hidrográficas de la Cuenca Magdalena-Cauca.	39
Figura 9 Subzona hidrográfica Río Bogotá.	39
Figura 10. Río principal y red de drenaje para la delimitación de la cuenca.	40
Figura 11. Criterios relevantes para la delimitación de la cuenca.	41
Figura 12. Microcuenca Río Botello.	42
Figura 13. Clasificación de coberturas 2018 detallada microcuenca “Río Botello”	43
Figura 14. Índice CA en la microcuenca “Río Botello” (1985-2018).	49
Figura 15. Índice PLAND aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018).	50
Figura 16. Índice LPI aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018).	50
Figura 17. Índice AREA_MN aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018).	51
Figura 18. Índice SHAPE aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018).	53
Figura 19. Índice NP aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018).	55
Figura 20. Índice PD aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018).	55
Figura 21. Métrica IndiFrag v2.1 (DEM) sobre la microcuenca “Río Botello”	59
Figura 22. Cambio de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 1985 a 2001... 61	61
Figura 23. Cambio de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 2001 a 2018... 62	62
Figura 24. Velocidad de crecimiento anual para las coberturas CLCC en los periodos de estudio en la microcuenca Río Botello.	68
Figura 25. Cambio de Bosques y áreas seminaturales (BOS) en la microcuenca Río Botello para el periodo de 1985-2001.	69
Figura 26. Cambio de Territorios agrícolas (TAG) en la microcuenca Río Botello para el periodo de 1985-2001.	70
Figura 27. Cambio de Territorios artificializados (TAR) para el periodo de 1985-2001.	71
Figura 28. Área de crecimiento por clase para el periodo de 1985 a 2001 en la microcuenca Río Botello.	73
Figura 29. Cambio de Bosques y áreas seminaturales (BOS) en la microcuenca Río Botello para el periodo de 2001-2018.	74
Figura 30. Cambio de Territorios agrícolas (TAG) para el periodo de 2001-2018.	75
Figura 31. Cambio de Territorios artificializados (TAR) para el periodo de 2001-2018.	76
Figura 32. Área de crecimiento por clase para el periodo de 1985 a 2001 en la microcuenca Río Botello.	77

Lista de tablas

Tabla.1 Ficha de verificación de campo.	33
Tabla.2 Código- nivel 3 para coberturas detalladas de la microcuenca “Río Botello” 2018.....	47
Tabla.3 Rangos para calificar el nivel de complejidad Índice PLAND.....	49
Tabla.4 Rangos para calificar la estabilidad del fragmento sobre bosques Índice AREA_MN. ..	51
Tabla.5 Resultados Índice AREA_MN aplicado bosques y áreas seminaturales en la microcuenca “Río Botello” (1985-2018).	52
Tabla.6 Rangos para calificar el nivel de complejidad Índice FRAC.....	54
Tabla.7 Índice FRAC aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018).	54
Tabla.8 Rangos para calificar la cercanía de parches Índice PROX.....	56
Tabla.9 Índice Prox aplicado a la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.	57
Tabla.10 Rangos para calificar la cercanía de parches Índice PROX.....	58
Tabla.11 Índice Prox para la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018. BOS (bosques y áreas seminaturales), TAG (Territorios Agrícolas) & TAR (Territorios artificializados	58
Tabla.12 Rangos grado de fragmentación de bosques sobre la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.	60
Tabla.13 Grado de fragmentación de bosques sobre la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.	60
Tabla.14 Matriz de cambio de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 1985-2001.....	64
Tabla.15 Matriz de cambio de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.....	65
Tabla.16 Transformación de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 1985-2001.	65
Tabla.17 Transformación de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.	65

1 Resumen

La fragmentación de un ecosistema es la transformación de su cobertura natural vegetal, este proceso conduce a una modificación del paisaje que como principal consecuencia lleva a la pérdida de la diversidad biológica del mismo. A causa de ello la comprensión del proceso de fragmentación en una zona es un factor importante para formular políticas de protección y planeación en un territorio. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como propósito principal analizar el proceso de fragmentación de bosques a nivel espacial y temporal en la microcuenca Rio Botello durante el periodo de 1985 a 2018, debido a que se ha visto afectada por diferentes conflictos en cuanto a uso del suelo a causa de la sobreexplotación y utilización de zonas forestales para el establecimiento de cultivos agrícolas. Para dicho análisis se empleó una serie temporal de imágenes de satélite LANDSAT correspondientes a los años 1985, 2001 y 2018, junto con la metodología CORINE LAND COVER adaptada para Colombia, la cual se basa en la identificación y caracterización de coberturas mediante la interpretación de imágenes satélites, haciendo uso del software ArcGIS para su organización; posteriormente, la parametrización de las coberturas identificadas se realizó por medio del software FRAGSTATS y la aplicación IndiFrag v2.1; lo que permitió: Evaluar diferentes aspectos como el tamaño, la forma, la distribución y orientación espacial de los cambios y crecimiento de las coberturas en los periodos analizados dentro de la microcuenca que fueron divididos de 1985 a 2001 y 2001 a 2018. Además, se organizaron las coberturas de manera jerárquica hasta el mayor nivel de detalle permitido para el año 2018, con el fin de realizar el mapa de coberturas existente en la zona, que permite ser empleado en posteriores estudios para manejo y planeación dentro de la microcuenca.

Finalmente, se pudo observar en primera medida que el porcentaje bosques existentes en la microcuenca pasó de ser de 41% del área total al 31% durante los 33 años del periodo estudiado, que se traduce en valores de área al pasar de 4.397 ha a 3.319 ha aproximadamente, también se evidenció que el mayor cambio en pérdidas de área para esta cobertura se dio durante el periodo de 1985 a 2001, el cual se presentó por el crecimiento en área de los territorios agrícolas en la microcuenca que desplazaron las coberturas de bosques principalmente en los sectores noreste y noroeste del área de estudio. En cuanto a la fragmentación de bosques se pudo observar que desde el año 1985 la microcuenca ha presentado un estado altamente fragmentado, no obstante, se evidencia un proceso de microfragmentación dentro de las coberturas en el periodo evaluado.

2 Introducción

La diversidad biológica de nuestro planeta está desapareciendo como consecuencia directa e indirecta de las actividades humanas. Los tamaños de las poblaciones de Flora y Fauna disminuyen y la consecuente pérdida en la diversidad genética reduce la posibilidad de las poblaciones de adaptarse a los cambios en el ambiente (Herrerías & Benítez, 2005). La creciente población humana, la demanda de recursos naturales, la expansión de la frontera agrícola y la cada vez más globalizada economía ocasionan gran deterioro de los ecosistemas debido a la presión sobre el recurso suelo, siendo este el factor que se altera más rápidamente con la fragmentación y puede ser un limitante en la restauración de zonas perturbadas.

La fragmentación de ecosistemas es considerada como una de las principales causantes de grandes cambios en el ambiente físico-biótico, en donde la composición, estructura y funcionamiento original de un ecosistema se han alterado, al modificar la composición y abundancia de las especies de un ecosistema e incrementar su vulnerabilidad (Gomez, Anaya, & Alvares, 2005), asociada a los efectos negativos derivados de las acciones antrópicas que conlleva a una modificación del territorio, que se ve reflejada en una pérdida importante de hábitats naturales e incluso la extinción de algunas especies (Rudas et al., 2007).

El proceso de fragmentación no ocurre al azar; las áreas más accesibles, de topografía poco accidentada, y con alta productividad son las primeras en ser alteradas para utilizar las tierras en agricultura, asentamientos humanos o extracción forestal.(Rudas et al., 2007). Este es el caso de la principal fuente de agua del municipio de Facatativá; la cuenca hidrográfica del río Andes que en las inmediaciones del área urbana toma el nombre de río Botello, recorre aproximadamente 25 kilómetros y vierte sus aguas a las quebradas San Rafael, El Vino, Pozo de La Mirta y Río de la

Pava (FACATATIVA, 2002), en donde se hace evidente como las zonas que anteriormente eran áreas de bosque nativo ahora han sido intervenidas para ser transformadas en cultivos agrícolas que generan un impacto en el ambiente, influyendo sobre el clima, los ciclos biogeoquímicos, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la biodiversidad y la continuidad de los ecosistemas (Paruelo, Guerschman, & Verón, 2005).

Según el POT de Facatativá el área estimada de suelo rural de protección era de 1600 hectáreas para 2012, lo que representó aproximadamente la cuarta parte de las zonas que presentaron vocación agrícola de manera intensiva la cual fue de 6.370 hectáreas. Esto deja en evidencia que en el municipio de Facatativá se ha presentado un conflicto por modificación y sobreutilización del suelo, a causa de que las áreas que tienen una vocación forestal han sido reemplazadas con matrices de pastos con fines ganaderos y, por otro lado, reemplazadas con cultivos principalmente de fresa. En consecuencia, se hace necesaria la identificación, caracterización y cuantificación de las zonas que aún permanecen conservadas en la microcuenca Río Botello, la cual por su cercanía a las zonas de producción agrícola es la fuente más importante de abastecimiento del recurso hídrico en el municipio; lo anterior con el fin de analizar el proceso de fragmentación y determinar las transformaciones que han tenido las coberturas a lo largo del tiempo en la microcuenca.

Para ello, se realiza un análisis espacio-temporal del proceso de fragmentación de bosques en esta zona, con el fin de determinar el porcentaje de cobertura vegetal nativa que allí se encuentra y su transformación desde el año 1985 mediante la interpretación de una serie temporal de imágenes satelitales LANDSAT y el análisis de patrones de fragmentación.

Finalmente, el análisis de fragmentación se realiza mediante la construcción de un índice de fragmentación con los índices de mayor relevancia dentro del proceso, para así realizar el análisis de las transformaciones presentadas por las coberturas en el periodo de estudio seleccionado.

La información obtenida mediante la presente investigación aporta el conocimiento requerido para el desarrollo de estrategias a nivel municipal como base en un adecuado proceso de planificación territorial. Lo anterior, para el control de la expansión de las áreas cultivadas y el monitoreo de las zonas de protección forestal, donde por medio de acciones estatales se guía y controla la operación de los mercados y se asegura que las decisiones económicas privadas tengan en cuenta los efectos que se pueden generar a largo plazo (Paruelo et al., 2005).

3 Descripción de la problemática

La fragmentación de bosques puede interpretarse como un proceso dinámico (Sharma, Areendran, Raj, Sharma, & Joshi, 2016a) en el que un área amplia e intacta de bosque es progresivamente subdividida en pequeños parches geoméricamente alterados y aislados (Carranza, Hoyos, Frate, Acosta, & Cabido, 2015; Y. Liu, Feng, Zhao, Zhang, & Su, 2016; Sharma, Areendran, Raj, Sharma, & Joshi, 2016b). Este proceso es considerado como uno de las principales causantes de grandes cambios en el ambiente físico-biótico, en donde la composición, estructura y funcionamiento original de un ecosistema se han alterado, lo que provoca, dinámicas muy diferentes sobre las poblaciones biológicas existentes, el aumento en la ocurrencia de plagas y la disminución en la polinización de cultivos, entre otras; estos factores modifican la composición y abundancia de las especies de un ecosistema e incrementan su vulnerabilidad (Gomez, Anaya, & Alvares, 2005).

Se estima que la cobertura forestal cubre el 30% de la superficie de la tierra, la cual durante miles años se ha convertido en tierras agrícolas obedeciendo al desarrollo económico. La mayor pérdida en esta cobertura tiene lugar en países tropicales y de bajos ingresos, en el periodo del 2000 al 2010, se registró una pérdida neta de 7 millones de hectáreas en dichos países, la cual se traduce en el 40% a causa de la agricultura a gran escala, el 33% a agricultura local, 10% en infraestructura, al igual que la expansión urbana y finalmente, procesos mineros con el 7% de influencia en estos cambios (FAO, 2016).

En Colombia, según investigaciones realizadas por el Instituto Humboldt se viene presentando un proceso de transformación y pérdida de ecosistemas naturales de manera acelerada, principalmente por las políticas de estímulo a la ocupación y uso del territorio, la consolidación de cultivos ilícitos, desarrollo de proyectos de infraestructura sin consideraciones ambientales, actividad minera,

incendios, introducción de especies foráneas y explotación maderera donde se estima que el 42% de dicha explotación se realiza en el país de manera ilegal. Esto ha ocasionado que por ejemplo, en la región andina se haya perdido más del 74% de la cobertura forestal, obedeciendo al desconocimiento del potencial de la biodiversidad que en conjunto con la poca presencia del estado y baja capacidad institucional, ocasiona que en el país procesos como la fragmentación de ecosistemas sean poco analizados principalmente en la región andina (Rudas et al., 2007).

Debido a esto, se hace necesaria la comprensión de la dinámica de la fragmentación de bosques y los cambios en las coberturas, para entender cómo fue su desarrollo en el pasado, para que esto sirva como base en la planeación y como guía para la conservación en un futuro, en el campo de la gestión del desarrollo (Sharma et al., 2016b).

Una evidencia de esto es el caso de la microcuenca “Río Botello” ubicada en el municipio de Facatativá, en la cual, se presenta un conflicto de sobreutilización y transformación en cuanto a coberturas, esto a causa de que las tierras que en un principio tenían una vocación forestal han sido reemplazadas con matrices de pastos con fines ganaderos y con cultivos como el de la fresa (Administración Municipal de Facatativá, 2002), lo cual tiene efectos significativos que generan cambios físico-bióticos en el entorno como los que se mencionan anteriormente. Debido a la importancia que tiene esta zona como proveedora de recursos para el municipio de Facatativá y a que aún no se ha definido el proceso de fragmentación de la microcuenca, se requiere llevar a cabo un análisis de este proceso mediante la determinación de las coberturas existentes para la descripción de la dinámica que ha dominado a estas coberturas durante el periodo de análisis, por medio de la obtención de patrones e índices de fragmentación de la zona de estudio.

4 Justificación

El hombre ha provocado la transformación del paisaje natural, esto debido a los diversos usos que le da a diferentes escalas tanto espaciales como temporales (Bizama et al., 2011). Este proceso genera impactos en la biodiversidad y sus interacciones biológicas, al alterar los servicios que brinda el ecosistema, conduciendo a cambios microclimáticos, establecimiento de especies invasoras en fragmentos de bosque, aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, degradación-contaminación del agua, aire y suelo, y en general, provoca cambios en las condiciones bióticas y abióticas del paisaje (Zamar, Alessandria, Abril, & Agrícola, 2007).

Según el mapa de ecosistemas del instituto Von Humboldt, la microcuenca "Rio Botello" representa diferentes ecosistemas en los que se observa que existe un alto porcentaje de áreas transformadas en el Municipio de Facatativá, los cuales se encuentran directamente relacionados con el recurso hídrico y en este sentido afectan su cantidad y calidad. Por ende, se puede deducir que los ecosistemas en Facatativá se someten a graves presiones, que conllevan a desequilibrios en el sostenimiento de los recursos, y estas situaciones parten de las diferentes actividades antrópicas que se realizan en la microcuenca. Asimismo, el caudal de agua superficial que oferta la microcuenca no supe la demanda requerida por la población y por las diferentes actividades que se realizan para el desarrollo del territorio, lo que resulta en inequidad en el acceso al uso del recurso hídrico (Vega, 2011).

Sumado a esta problemática no se cuentan con estudios detallados y actualizados que determinen la dinámica del proceso de fragmentación de bosques en el área de estudio, información que es necesaria para la elaboración de herramientas de manejo de esta zona que proporcionen lineamientos para una apropiada toma de decisiones en cuanto políticas de control para el adecuado

manejo de los recursos naturales y prevención de efectos a mediano y largo plazo (Paruelo et al., 2005). Por otro lado, también se hace necesario el conocimiento de dichas características las cuales pueden servir como fundamentación teórica para el desarrollo de diferentes procesos de investigación en la microcuenca, que exploren vacíos sobre el comportamiento y respuesta de las zonas aún conservadas a las presiones generadas por los diferentes usos del suelo.

Para ello, análisis espaciales y temporales de la dinámica de la fragmentación de la microcuenca se convierten en estrategias de estudio perfectamente aplicables a diversos escenarios, con el fin de contribuir al planteamiento y desarrollo de programas de conservación en zonas rurales. Debido a que es difícil entender la dinámica histórica del uso y cambio de las coberturas de la tierra y ayudar a diseñar mejores políticas de gestión forestal y medioambiental para la microcuenca sin cuantificar la tasa y la cantidad de cambio de estas coberturas a través del tiempo, las tecnologías SIG son herramientas que facilitan enormemente el proceso, que, en conjunto con algunos programas de estadísticas espaciales, como FRAGSTAT, pueden utilizarse eficazmente para determinar los cambios en el uso de la tierra y la cubierta forestal (Kadioğulları, 2013), ya que permiten la estimación cuantitativa de las características biofísicas de las áreas de bosque, y facilitan el modelamiento a largo plazo del desarrollo del paisaje de bosque y los procesos que son relativamente largos a escala espacial (Sharma et al., 2016b; Tang, Bu, Yang, Zhang, & Chang, 2012).

Por otro lado, en el marco de los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas, el desarrollo de este proyecto contribuirá al cumplimiento del objetivo #15 que corresponde a gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad. Debido a que aporta al desarrollo de las metas 15.5 y 15.9. Las cuales proponen la adopción de medidas urgentes

y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción; y la integración de los valores de los ecosistemas y la diversidad biológica en la planificación nacional y local, los procesos de desarrollo, las estrategias de reducción de la pobreza y la contabilidad.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

Evaluar el proceso de fragmentación de bosques a nivel espacial y temporal en la microcuenca “Río Botello” en el periodo 1985 a 2018.

5.2 Objetivos específicos

- Definir espacialmente la microcuenca Río Botello.
- Cuantificar y clasificar las principales coberturas presentes en el área de estudio.
- Identificar los patrones e índices que describen la dinámica de la fragmentación en la microcuenca.
- Determinar la transformación de las coberturas identificadas en los diferentes periodos de estudio.

6 Descripción del área de estudio

El área de estudio en la cual se plantea el proyecto es en la microcuenca de la principal fuente de agua para el municipio de Facatativá Cundinamarca, que corresponde al Río Andes, el cual, al llegar al área urbana toma el nombre de río Botello, desde este punto cuenta con diferentes vertientes que son: la quebrada San Rafael, el vino, Pozo de la Mirta, Río de la Pava entre otras (Henaó, 2014). Esta microcuenca tiene un área total aproximada de 10.829 ha, se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca comprendiendo gran parte del área del municipio de Facatativá, debido a que de las 14 veredas que conforman el municipio, 9 hacen parte de esta microcuenca, las cuales son: La tribuna, La selva, Los manzanos, Pueblo viejo, Corito, El prado, Moyano, Mancilla y San Rafael, además, esta microcuenca abarca el 70% del área urbana del municipio.

La microcuenca Río Botello nace en el Cerro Peñas del Aserradero y realiza un recorrido de 25 km aproximadamente, recorrido en el cual sus aguas confluyen con el Río Subachoque y son recibidas aguas abajo por el Río Balsillas, para pasar a ser tributario del Río Bogotá (Vega, 2011).

7 Marco conceptual

A través del tiempo se han abarcado diferentes conceptos sobre la transformación del paisaje y sus consecuencias en los ecosistemas, debido a que estos procesos son muy variables en el tiempo y en el espacio sus definiciones han cambiado para adaptarse a los diversos escenarios. A continuación, se definen algunos de estos conceptos desde la perspectiva de diferentes autores.

Inicialmente se hace necesario entender el concepto de fragmentación, el cual ha sido definido como el mosaico de fragmentos discretos de uso del suelo, en el cual cada uno presenta condiciones ambientales relativamente homogéneas a determinada escala (Gomez, Anaya, Alvares, et al., 2005). Dichos fragmentos se entienden como unidades morfológicas que se pueden diferenciar en el territorio, los cuales son usados como índices que permiten identificar características de un paisaje (Subirós, Varga, Llausas, & Ribas, 2006). Estos índices determinan condiciones como: área, superficie, densidad y variabilidad los cuáles se centran en características de dimensión y cantidad. Índices como los de forma se centran en la geometría de los fragmentos que componen determinado paisaje y los índices de ecotono y hábitat interior, se enfocan en amplitud de hábitat de borde y la relación con fragmentos colindantes. Diferentes autores tienen un concepto bastante uniforme sobre la fragmentación ya que como lo afirmó Rudas G, dicho proceso hace referencia a la división de un hábitat originalmente continuo en relictos remanentes (Rudas et al., 2007) (o los denominados por Gómez como fragmentos) que se encuentran inmersos en una matriz transformada. Esta matriz se entiende como el tejido que conecta la tierra con el fondo, en la cual encajan todos los elementos del paisaje; esta porción es la más conectada, que se compone por el tipo de vegetación más dominante y contigua (Morláns, 2013). Dicha matriz presenta una reducción en su área original que ocasiona grandes cambios en el ambiente físico-biótico, en donde la composición, la estructura y el funcionamiento de un ecosistema se han alterado, ya que la

disposición de los fragmentos en el territorio influyen sobre la movilidad de las especies que lo conforman (Gurrutxaga San Vicente & Lozano Valencia, 2006).

En función a lo anterior, actualmente se ha consolidado el término de fragmentación como un proceso dinámico (Sharma et al., 2016b) en el que un área amplia e intacta de bosque es progresivamente subdividida en pequeños parches geoméricamente alterados y aislados (Carranza et al., 2015; Y. Liu et al., 2016; Sharma et al., 2016b), lo que ocasiona una pérdida en la continuidad del mismo, que genera cambios importantes en la estructura y comportamiento de las poblaciones y comunidades que allí habitan.

Para el análisis de este proceso actualmente se realiza la evaluación de las coberturas presentes en el área de estudio, para ello se debe tener una visión clara de dicho término el cual es definido como la expresión espacio-temporal de la vegetación que sirve como indicador del estado o condición de un ecosistema, dicha expresión comprende los atributos biofísicos de la superficie terrestre y en general del área de estudio (Velázquez, Duran, Larrazábal, & López, 2010). También se considera como la capa de material vegetal vivo o muerto que aísla al suelo de la atmósfera, este proceso genera interacciones que modifican las condiciones fisionómicas y ambientales del ecosistema (Heuvelop, Pardo, Quierós, & Espinoza, 1986). Por consiguiente, se toma el concepto de cobertura vegetal como la expresión integral de la vegetación, que se caracteriza por las interacciones entre los factores bióticos y abióticos en un tiempo y espacio determinado, para así generar asociaciones entre elementos biológicos que conforman unidades estructurales y funcionales.

Con la clasificación de las coberturas se evidencia cuál ha sido la pérdida de bosque en las diferentes zonas de estudio, esta pérdida se caracteriza por ser el grado en el cual el paisaje impide el movimiento de los organismos y, por tanto, la dispersión de las especies entre los fragmentos

de bosque original transformado a otros usos del suelo como cultivos, potreros o zonas urbanas (Gomez, Anaya, Alvares, et al., 2005).

Hoy en día, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son la herramienta más utilizada en la construcción de mapas de cobertura de la superficie terrestre, y en el proceso de ordenación, procesamiento y análisis de datos temáticos de correlación, proveen al usuario la capacidad de guardar, manipular y visualizar la información acerca de una región (Acuña, 2010). Para este estudio gracias a la disponibilidad de datos de teledetección estos sistemas hacen que sea posible evaluar los patrones del paisaje en múltiples procesos, ya que en conjunto con las métricas del paisaje facilitan la interpretación de los resultados y son más propensos a generar inferencias significativas (Li & Yang, 2015). Esto se hace a partir de la identificación y cuantificación de las coberturas, por medio del sistema de clasificación CORINE LAND COVER que define una metodología específica elaborada para realizar el inventario de la cobertura de la tierra por medio de la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos sobre la cobertura y uso del suelo (Valencia & Anaya, 2009) y de documentación auxiliar integrada por toda la información importante para una buena interpretación de datos satelitales (mapas topográficos, información estadística, datos satelitales de alta resolución, etc), que posteriormente pasarán a consolidar una base de datos, que permitirá describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de las coberturas identificadas (IDEAM, IGAC, & CORMAGDALENA, 2008). Con esta información se procede a realizar el cálculo de los índices de parametrización del paisaje, para ello existe una gran variedad de software desarrollados con la finalidad de cuantificar las características de la estructura del paisaje, para el caso se emplea FRAGSTATS creado en 1995 por el Cr. Kevin McGarigal y Barbara Marks, que funciona esencialmente en formato ráster y es considerado el programa más completo por lo que se refiere a la diversidad y capacidad para

desarrollar cálculos métricos (Subirós et al., 2006), y también el software IndiFrag, el cual utiliza datos en formato vectorial y calcula un conjunto de índices de fragmentación clasificados en cinco grupos según las propiedades medidas como área y perímetro, forma, agregación, diversidad y contraste, y calcula un conjunto de índices multitemporales permitiendo el análisis de cambios en términos de fragmentación y morfología (M. Sapena & Ruiz, 2015).

Esta evaluación de la configuración y composición del paisaje se puede utilizar para el seguimiento de los procesos ecológicos que ayudan en la gestión de los paisajes, ya que la cuantificación y la comparación de los índices del paisaje han sido reconocidos como la forma más eficaz para evaluar la fragmentación de bosques por varios investigadores (Reddy, Sreelekshmi, Jha, & Dadhwal, 2013).

8 Marco teórico

En la actualidad “la fragmentación es un motor de cambio global muy variable en el tiempo y en el espacio. No sólo existen zonas con un grado de fragmentación muy contrastado, sino que la fragmentación del territorio fluctúa en el tiempo: mientras la fragmentación tendió a aumentar durante la mayor parte del siglo XX, a finales de este, el abandono rural llevó a una reconexión de fragmentos y a una desfragmentación en la práctica. En los últimos años se observa un nuevo cambio: la fragmentación comienza a incrementar otra vez en ciertas zonas en las que se están recuperando tierras para la agricultura que habían sido abandonadas.” (Valladares, Flores-Rentería, Forner, Morán-López, & Díaz, 2014).

Existen diversas causas que dan origen a la fragmentación entre las que se encuentran las naturales, sin embargo, el principal agente de perturbación es el hombre el cual ha provocado la transformación del paisaje natural a través de la intensificación del uso del suelo para su desarrollo económico. Estos cambios de uso, asociados a la expansión agrícola, explotación forestal, la quema, tala, junto con el desarrollo de los centros urbano han acelerado la pérdida y degradación de hábitat silvestres en el último siglo (Bizama et al., 2011). La fragmentación desencadena una serie de procesos que deterioran el hábitat, los que pueden estar asociados a efectos de borde (como lo es el establecimiento de especies exóticas invasoras), que generan cambios en las condiciones abióticas del fragmento, y afectan a los procesos de los ecosistemas esenciales como el balance de carbono y agua, lo que conduce a un aumento de la variación de los cambios del microclima en los bordes del bosque y sus alrededores. Otro efecto es el aislamiento progresivo de las poblaciones que habitan estos fragmentos, que dependerá tanto de la conectividad de los fragmentos como de la adversidad de la matriz que los rodea (Chakraborty, Ghosh, Sachdeva, & Joshi, 2017).

La necesidad de identificar el grado de fragmentación es inminente por los procesos antes mencionados por ello en el último siglo se han desarrollado prácticas que permiten la detección del proceso en el que los parches de bosque continuo se dividen gradualmente en fragmentos más pequeños y aislados. La comprensión de la fragmentación forestal y su evolución en el tiempo implica el uso de medidas estadísticas también llamados indicadores o índices que describen la composición del paisaje y la configuración. La cuantificación y la comparación de los índices de paisaje han sido reconocidos como la forma más eficaz para evaluar la fragmentación (Reddy et al., 2013). Dicho lo anterior se presentan estudios a nivel internacional y nacional que emplean dichas metodologías, como es el caso de México en donde se realizó un análisis de fragmentación de la cubierta vegetal mediante técnicas de percepción remota en el Área Prioritaria para la Conservación de Pastizales (APCP) denominada Cuchillas de la Zarca, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat TM y la obtención de métricas del paisaje de la zona. Una vez procesadas y generadas las clases de cobertura para las áreas en estudio, se importaron al software ArcGIS y se generaron las métricas del paisaje mediante el empleo de la extensión de análisis de fragmentación Patch Analysis y finalmente se determinaron las áreas fragmentadas de las zonas evaluadas mediante: El número de parches (NumP), Media del tamaño del parche (MPS), Media del borde del parche (MPE), Coeficiente de varianza del tamaño del parche (PSCoV), Índice de diversidad de Simpson (SDI) e Índice de diversidad de Shannon (SEI), apuntan que el nivel de detalle detectado por los sensores tiene estrecha relación con la comprensión de la dinámica del ecosistema (De León, Pinedo, & Martínez, 2015); el uso de los índices para reconocer y evaluar los cambios de los patrones de distribución también fue usado en la Patagonia-Chile en un estudio de la pérdida y fragmentación del bosque nativo en la cuenca del río Aysén durante el siglo XX (Bizama et al., 2011). Igualmente, Para el análisis de cambios en el hábitat, se examinaron los

siguientes índices de patrones de uso común: número de parches (NP), porcentaje de paisaje (PLAND), índice de parche más grande (LPI), media del índice de forma (SHAPE), medio dimensión fractal (FRAC), la división índice (división), y el cambio total en el área del hábitat de 1991 a 2006. Estos índices, se calcularon a partir del programa de FRAGSTATS 3.3, lo cual se realizó para investigar el grado de cambio de hábitat debido a la expansión de las redes de carreteras y de las ciudades en la provincia de Yunnan, China, lo que indicó que las extensiones de la ciudad y las carreteras serían las fuerzas impulsoras de la pérdida de hábitat; los resultados también verificaron que la pérdida de conectividad sería más severa debido a la construcción de carreteras y la expansión urbana (S. Liu et al., 2014).

Al hablar de los procesos de fragmentación se puede denotar un estudio realizado en Estados Unidos en el que cuantificaron y clasificaron los parches de bosque en uno de los cuatro procesos de fragmentación (perforación, subdivisión, la contracción, y el desgaste). Para la clasificación fue usado un modelo de la fragmentación a través de los módulos de análisis estadístico en ArcGIS (Ren, Lv, & Li, 2017). La mayoría de los estudios limitan su ámbito de aplicación a la identificación de un patrón de fragmentación del paisaje por una ventana de tiempo de interés, sin embargo (Li & Yang, 2015) sugieren que el proceso de fragmentación del paisaje se mide más apropiadamente por los cambios en el valor de un conjunto de métricas del paisaje en dos o más puntos de tiempo, el nuevo método se desarrolla en el ModelBuilder de ESRI © ArcGIS, el cual permite evaluar procesos espacialmente explícitos de fragmentación del paisaje mencionados anteriormente.

El uso de imágenes satelitales como Landsat es uno de los métodos más usados para la detección de los fragmentos, un claro ejemplo es el análisis de los cambios temporales entre 1990-2014 de la deforestación y la fragmentación de los bosques del Himalaya en la región de Kumaon de

Uttarakhand, India. Para la caracterización de los patrones de fragmentación de bosques, se utilizó un Modelo de fragmentación según el cual, los bosques pueden ser clasificadas en seis categorías diferentes de fragmentación, a saber, parche, perforada, de borde, interior, indeterminados, y de transición (Chakraborty et al., 2017); otro estudio que uso imágenes de satélite Landsat ETM para determinar el nivel de fragmentación en la región de Chamela-Cuixmala, México aplicado a enfermedades de las hojas en un bosque seco tropical de temporada generados por la fragmentación del hábitat (García, Trejo, & Sánchez, 2016). Por su parte en el Atlántico del Paraguay se realizó la detección de cambios basados en satélite de la perdida de la cubierta forestal y el análisis de fragmentación entre 2003 y 2013; el cálculo se ha realizado mediante Beta V-Late 2.0, una extensión de ArcGIS desarrollada por Lang y Tiede (2003) , que a su vez se basó en el programa de software FRAGSTATS (Da Ponte, Roch, Leinenkugel, Dech, & Kuenzer, 2017).

A nivel nacional existe un estudio denominado “Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia”; que describió el paisaje en términos de la representación de diferentes tipos de coberturas naturales y antrópicas, así como el número, tamaño y forma de los fragmentos que lo componen y sus relaciones de aislamiento y agrupación respecto a otros parches del mismo tipo, las coberturas fueron analizadas mediante el programa de estadísticas de paisaje Fragstats 3; este software también fue usado en el análisis del estado de conservación de los bosques de niebla Colombiana a partir de la modelación de su distribución potencial en el país. Este obtiene que los bosques de niebla han sufrido considerables niveles de transformación, especialmente en la vertiente Occidental de la cordillera Central, la vertiente Occidental de la cordillera Oriental y la vertiente Occidental del Macizo Central, donde sólo persisten menos de una cuarta parte de los bosques originales (Morales & Armenteras, 2013). Por su parte un análisis multitemporal del cambio de coberturas realizado en la localidad ciudad bolívar evaluó el impacto

ambiental en el cambio de coberturas vegetales por procesos antrópicos a partir de imágenes satelitales Landsat, se realizaron los mapas de coberturas con el uso de la metodología CLC y por último se realizaron los cálculos para la tasa de deforestación y porcentaje de cambio (Quiasua, Corredor, & Sánchez, 2016).

9 Marco legal

Bases legales que aplican en el trabajo de investigación a realizar:

- **CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA:**

En los artículos 8 y 80 dispone como obligación del estado y las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la nación y ordena que el estado debe planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.

- **DECRETO 1257 DE 2017:**

Por medio del cual se crea la comisión intersectorial para el control de la deforestación y la gestión integral para la protección de bosques naturales cuyo objeto será orientar y coordinar las políticas públicas, planes, programas, actividades y proyectos estratégicos que deben llevar a cabo las entidades para el control de la deforestación de bosques naturales en el país.

- **DECRETO-LEY 2811 DE 1974:**

Código Nacional de los Recursos Naturales que define las áreas de manejo especial siendo las Cuencas hidrográficas una categoría dentro de la clasificación. Y establece que se debe asegurar la planeación en todos los niveles para lograr el desarrollo económico del país y la aplicación de la política ambiental y de los recursos naturales.

- **DECRETO 1640 DE 2012:**

Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos. En este decreto se define la nueva estructura de ordenación de cuencas hidrográficas y permite tener más claridad en cuanto a su gestión por parte de autoridades y actores responsables.

- **NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5043:**

Esta norma proporciona los conceptos básicos para describir la calidad de los datos geográficos disponibles en formato digital y análogo; presenta un modelo conceptual que facilita el manejo de la información sobre la calidad de dichos datos geográficos.

Elementos de calidad: Un elemento de calidad es un aspecto de la calidad de los datos que puede ser medido cuantitativamente. El propósito de estos elementos es identificar las inconsistencias de un conjunto de datos con respecto a sus especificaciones de producto. Los siguientes elementos son usados para describir los aspectos cuantitativos de calidad.

- ✓ **Totalidad:** Describe el nivel de veracidad con el cual los elementos capturados, sus atributos y sus relaciones representan el universo abstracto definido en las especificaciones de producto. Maneja los subelementos de comisión y omisión.
- ✓ **Consistencia lógica:** Describe el grado de certidumbre con el cual un determinado conjunto de datos cumple con las especificaciones, en lo que respecta a la estructura interna de los datos y su topología. Maneja los subelementos de consistencia de dominio, de formato y topológica.
- ✓ **Exactitud de posición:** Describe la cercanía en posición de los objetos en el conjunto de datos, con respecto a su posición verdadera (o la asumida como verdadera). Esta categoría de elementos relaciona los subelementos de exactitud absoluta o externa, relativa o interna y de posición de datos de celdas.
- ✓ **Exactitud temporal:** Describe el grado de realidad en la escala del tiempo de los elementos existentes en la base de datos con respecto a las especificaciones del producto. Los subelementos que abarca son la exactitud en el tiempo de medición, la consistencia temporal y la validez temporal.

- ✓ Exactitud temática: Describe el grado de fidelidad de los valores de los atributos asignados a los elementos en la base de datos con respecto a su verdadera característica en el mundo real y la clasificación correcta de los objetos y sus relaciones de acuerdo con las especificaciones de producto. Los subelementos manejados en esta categoría son la exactitud de clasificación, exactitud del valor dado a un atributo cuantitativo y exactitud de un atributo cualitativo, (ICONTEC, 2002).

Todos los elementos de calidad aplicables a un conjunto de datos deben ser identificados previamente (**Anexo 1**). Algunos elementos de calidad pueden no ser aplicables para un tipo de datos (ICONTEC, 2002).

- **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5660**

Esta norma establece los parámetros y procesos necesarios para evaluar a calidad de la información geográfica, con el fin de determinar el grado en que los datos cumplen con los requisitos establecidos en la especificación técnica del producto y que sirvan de base para su perfeccionamiento y esta armonizada con la NTC 5043. El proceso de evaluación de la calidad consta de un conjunto de pasos (**Anexo 2**) que permiten determinar y reportar los resultados obtenidos, este proceso consiste en la aplicación de procedimientos para evaluar la calidad a un conjunto de datos específicos que consta de:

1. Identificar el elemento, el subelemento de calidad aplicable a los datos y el nivel de medición de calidad: El elemento, el subelemento de calidad aplicables, y el nivel de la calidad deben ser definidos de acuerdo con lo establecido en la NTC 5043.
2. Identificar la medida de calidad de los datos: Se debe determinar el indicador para cada una de las evaluaciones que se lleven a cabo, de acuerdo con el nivel de medición de calidad.

3. Seleccionar y aplicar el método de evaluación de la calidad de los datos: Se debe seleccionar el método directo o indirecto de la evaluación de los datos, para cada indicador de calidad identificado
4. Determinar los resultados de la evaluación de la calidad al conjunto de datos: Se debe presentar el resultado de la evaluación de calidad incluyendo la fecha de su obtención.
5. Determinar el nivel de conformidad: Presentar el cumplimiento o no de la conformidad de la calidad de los datos como resultado de la comparación de estos con el nivel de conformidad de la calidad. (ICONTEC, 2010).
6. Reporte general de la calidad (**Anexo 3**).

10 Metodología

Para el desarrollo de la investigación el proceso metodológico se divide en las siguientes etapas:

Etapa I. Adquisición de la información necesaria como la cartografía base del municipio de Facatativá escala 1: 25.0000 suministrada por el IGAC de manera digital en formato file geodatabase, al realizar la descarga accediendo al FTP del IGAC (<ftp://cartobase@cartografialibre.igac.gov.co>); además de la cartografía se adquirieron tres imágenes satelitales LANDSAT 5 TM correspondientes a los años 1985, 2001 y LANDSAT 8 2018, cuyas fechas de toma son las siguientes: 1985-03-22, 2001-01-29 y 2018-03-17 respectivamente con resolución espacial de 30m, que fueron obtenidas a través de la interfaz de Earth Explorer que fue desarrollada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Por otro lado, se adquirió una imagen satelital correspondiente al año 2018-01-24 del satélite Sentinel-2 la cual cuenta con 13 bandas de resoluciones espaciales de 10m, 20m, y 60m, a través de la interfaz Copernicus Open Access Hub, que es un proyecto dirigido por la Agencia Europea de Medio Ambiente y la Agencia Espacial Europea.

Etapa II. Para abordar el primer objetivo, la delimitación de la cuenca se realizó con el software ArcGIS siguiendo la metodología planteada por (Reyes, A; Ulises, 2010) en la Guía básica para la caracterización de cuencas hidrográficas, en la cual establece las siguientes reglas:

- Se identifica la red drenaje o corrientes superficiales y se realiza un esbozo muy general de la posible delimitación.
- Invariablemente la divisoria corta perpendicularmente a las curvas de nivel y pasa estrictamente por los puntos de mayor nivel topográfico.
- Cuando la divisoria aumenta su altitud corta a las curvas de nivel por su parte convexa.

- Cuando la altitud de la divisoria va decreciendo corta a la curva de nivel por las partes cóncavas.
- La divisoria nunca corta una quebrada o río, sea que este haya sido graficado o no en el mapa, exceptuando el punto de interés de la cuenca.

Etapa III. Esta fase comprendió el segundo objetivo de la investigación, en la cual se llevó a cabo el procesamiento de las imágenes satelitales y establecimiento de los puntos de control. El tratamiento de las imágenes satelitales adquiridas se llevó a cabo mediante la realización de correcciones radiométricas, haciendo uso del Software ENVI 5.3 en el cual, por medio de parámetros de conversión que el proveedor de los sensores suministra y que el software maneja por defecto para la mayoría de los sensores, se transforman los números digitales calibrados a unidades físicas, que para el caso fue unidades de radiancia en el sensor, con el fin de obtener mediciones consistentes con las características de la superficie de la tierra (Figura 1) y al ser un requisito previo para la creación de datos científicos, se obtienen productos de nivel superior (Chander, Markham, & Helder, 2009).

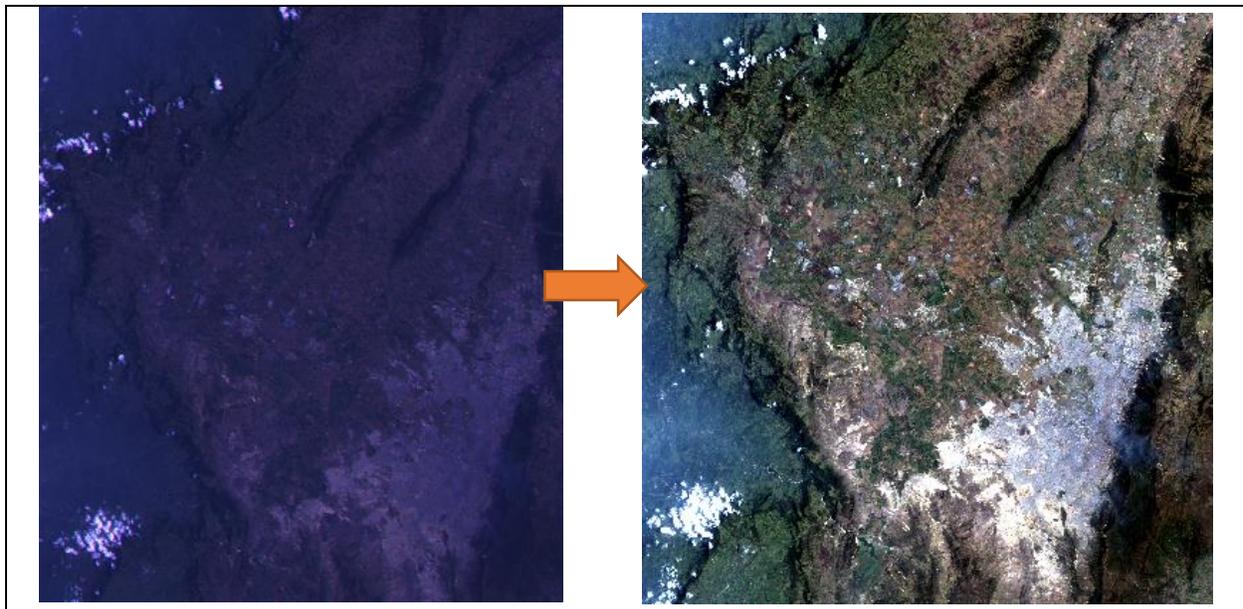


Figura 1. Resultado de la corrección radiométrica con ENVI 5.3. Fuente: Autores, 2018.

Posteriormente, se realizó la fotointerpretación de las imágenes satelitales, para ello se realiza la digitalización de las coberturas haciendo uso del software ArcGIS directamente en pantalla, para luego realizar su caracterización en base a la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia-CLCC (IDEAM et al., 2008), este proceso se realizó para las tres imágenes obtenidas para los años 1985, 2001 y 2018, proceso que fue apoyado por información auxiliar como mapas temáticos de ocupación de suelos a nivel de municipio. Teniendo en cuenta que debido a la resolución espacial de las imágenes solamente se realizó la digitalización del primer nivel de coberturas CLCC correspondientes a 1. Territorios artificializados, 2, Territorios agrícolas y 3. Bosque y áreas seminaturales. Por otro lado, la imagen del 2018 de Sentinel, permitió digitalizar y codificar las coberturas con apoyo de la verificación de campo hasta el nivel tres de la metodología.

Etapa IV. Control de calidad: Es un proceso de revisión, corrección continua y sistemática de seguimiento del avance de las diferentes actividades que se deben adelantar en cada una de las etapas del proceso, con el propósito de garantizar la calidad geométrica, temática y topológica de la base de datos del proyecto, de acuerdo con los siguientes aspectos:

Conformidad del archivo

Este aspecto hace referencia a la revisión del formato del archivo (Shape) y el sistema de proyección de coordenadas (Figura 2).

N1 COBERT	COBERTURA	APOYO	INSUMO	CONFIABILI	AREA ha
2	Territorios agrícolas	Sas Planet, Google earth, POT, Perfil ambiental del municipio & Reseñas historicas	Landsat 8057 2018/03/17	SI	12,821579
3	Bosques y areas seminaturales	Sas Planet, Google earth, POT, Perfil ambiental del municipio & Reseñas historicas	Landsat 8057 2018/03/17	SI	13,370929
2	Territorios agrícolas	Sas Planet, Google earth, POT, Perfil ambiental del municipio & Reseñas historicas	Landsat 8057 2018/03/17	SI	39,844149
2	Territorios agrícolas	Sas Planet, Google earth, POT, Perfil ambiental del municipio & Reseñas historicas	Landsat 8057 2018/03/17	SI	20,205771
3	Bosques y areas seminaturales	Sas Planet, Google earth, POT, Perfil ambiental del municipio & Reseñas historicas	Landsat 8057 2018/03/17	SI	11,262148
2	Territorios agrícolas	Sas Planet, Google earth, POT, Perfil ambiental del municipio & Reseñas historicas	Landsat 8057 2018/03/17	SI	4,365099

Figura 2. Criterios de conformidad aplicados. Fuente: Autores, 2018.

Conformidad semántica: Comprende la revisión de las normas de atributos de la cobertura, las cuales están constituidas por los campos Código, Insumo, Apoyo, Confiabilidad Y Cambio (para reinterpretación), criterios de conformidad que se encuentran en el ANEXO.METADATOS y GDB. Los campos por defecto incluidos son: Shape Has, Shape Legh, Shape Área. A continuación, se describen los atributos requeridos:

- **Código:** Es el código de la Leyenda Nacional. Tiene de 3 a 6 dígitos, y se escribe sin puntos: “321”. Formato de columna tipo “Short Integer”
- **Insumo:** Corresponde a la referencia de la imagen satelital que sirvió para la digitalización de los polígonos. En caso de que un polígono caiga sobre dos imágenes, se precisa la referencia de las dos imágenes. La norma de escritura es: Tipo de imagen Path/Row Año/mes/día “Landsat 953 2008/11/28” Formato de columna tipo “Text”.
- **Apoyo:** contiene las referencias de los datos auxiliares que sirvieron para interpretar el polígono (fotografías aéreas, cartografía temática o básica, otro tipo de imágenes o Google Earth). Formato de columna tipo “Text”
- **Confiabilidad:** Aquí se indica el grado de certeza de la fotointerpretación de un polígono dado por el intérprete se determina con Si o No, si la interpretación es confiable o no lo es. Ejemplo: la duda sobre la interpretación de un polígono se indica con No y si no existen dudas en la interpretación, este campo se debe completar con Si. Formato de columna tipo “Text”
- **Sistema de coordenadas:** El sistema de coordenadas utilizado para la estructuración de los datos en el proyecto Corine Land Cover es Magna Sirgas en geográficas. Los parámetros del sistema son los siguientes:

Tipo de proyección (Projection Type): Geographic (Lat/Lon)

Esferoide (Spheroid Name): GRS 1980

Datum (Datum Name): MAGNA- SIRGAS

Para el traslado de información a coordenadas planas, los parámetros utilizados son los siguientes:

Tipo de proyección (Projection Type): Transverse Mercator

Esferoide (Spheroid Name): GRS 1980

Datum (Datum Name): MAGNA- SIRGAS

Factor de escala (Scale factor at central meridian): 1.0

Longitude of central meridian: 74°04'39.028500" W

Latitude of origin of projection: 4°35'46.321500" N

Falso Este (False easting): 1000000 meters

Falso Norte (False northing): 1000000 meters

Conformidad temática

Corresponde al proceso de revisión y corrección continuo y sistemático que se realiza, sobre las coberturas digitalizadas; con el propósito de evaluar y garantizar la confiabilidad y la exactitud temática del producto. Esta conformidad se refiere a que el polígono interpretado efectivamente corresponda al tipo de cobertura que indica el intérprete en el campo CODIGO y que corresponde al código de la cobertura, de acuerdo con la Leyenda Nacional. Esta conformidad se rige por los criterios establecidos en las reglas de generalización y en la tabla de prioridades. El primero corresponde a reglas básicas de generalización que permiten decidir sobre polígonos que no cumplen el criterio de área mínima de mapeo establecida, es decir mayor o igual a 25 hectáreas (categorías 2 a 5 del nivel 1 de la nomenclatura), mayor o igual a 1 hectáreas (categoría 1 del nivel 1 de la nomenclatura) y ancho mayor a 50 metros (Cormagdalena, FFEM, 2015; IDEAM et al., 2008).

Conformidad topológica

Una vez avalada la calidad temática, se realiza el control de calidad topológico, en el cual se evalúa el proceso de delimitación de las diferentes unidades de cobertura, tras el análisis de los aspectos técnicos alusivos a la relación entre cada una de ellas, especialmente en lo relacionado con posibles inconsistencias asociadas a la presencia de polígonos sin cerrar completamente, existencia de polígonos adyacentes con el mismo código, polígonos con más de un código, polígonos menores a 25 ha, o de 1 ha., en los casos previstos por la metodología. (Cormagdalena, FFEM, 2015; IDEAM et al., 2008). De acuerdo a los requerimientos del proyecto, las dos reglas topológicas que deben ser aplicadas son las siguientes:

- **Must Not Overlap:** no debe existir superposición entre polígonos de la misma clase como se observa en la Figura 3.

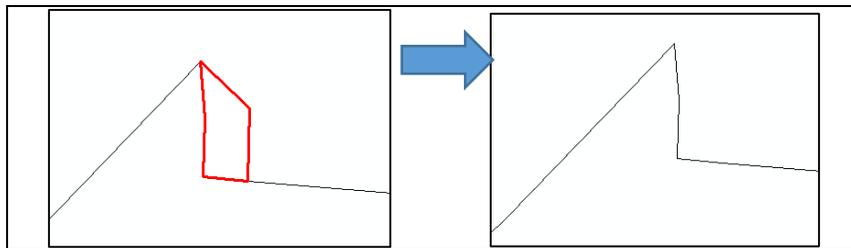


Figura 3. Aplicación de topología regla “Must Not Overlap”. Fuente: Autores, 2018.

- **Must Not Have Gaps:** no debe existir huecos entre los polígonos de la misma clase, la aplicación de esta regla se observa en la siguiente figura:

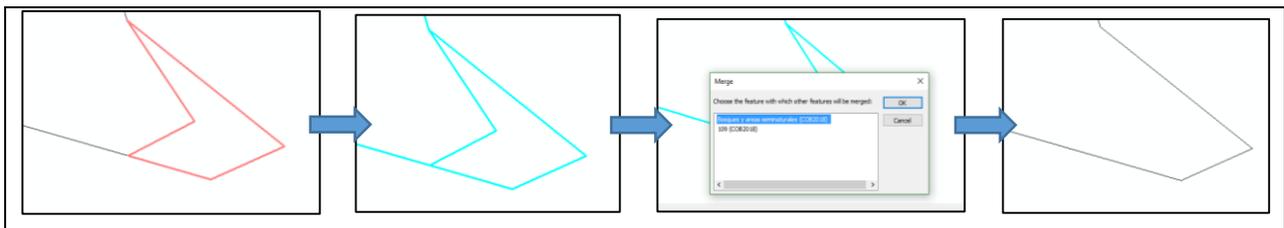


Figura 4. Aplicación de topología regla “Must Not Have Gaps”. Fuente: Autores, 2018.

Etapa V. Para complementar el segundo objetivo y con el fin de constatar la información obtenida se realiza un proceso de verificación de campo, donde se establecen puntos de control con GPS y por medio de la visita a la cuenca se toman evidencias fotográficas (ver ANEXO. FOTOGRAFÍAS) donde se observe el estado actual de las coberturas en la cuenca. Para lo anterior, se realizaron tres visitas de campo, la primera en las veredas: El Prado, Moyano y Mancilla; la segunda se realizó en la vereda la Tribuna, San Rafael y el sector de Cartagenita, y la última visita realizada fue en la vereda de Pueblo viejo. Lugares seleccionados simultaneo a la clasificación de coberturas, ya que presentaron mayor incertidumbre dentro de su clasificación, razón por la cual se procede a tomar evidencia fotográfica, coordenadas con GPS (ver Tabla.1) y debidas observaciones para poder interpretar de manera adecuada la cobertura. Finalmente, se generaron los mapas temáticos donde se encuentra plasmada la información obtenida en los cinco procesos anteriormente mencionados para posteriores análisis (Ver ANEXO.MAPAS DE COBERTURAS).

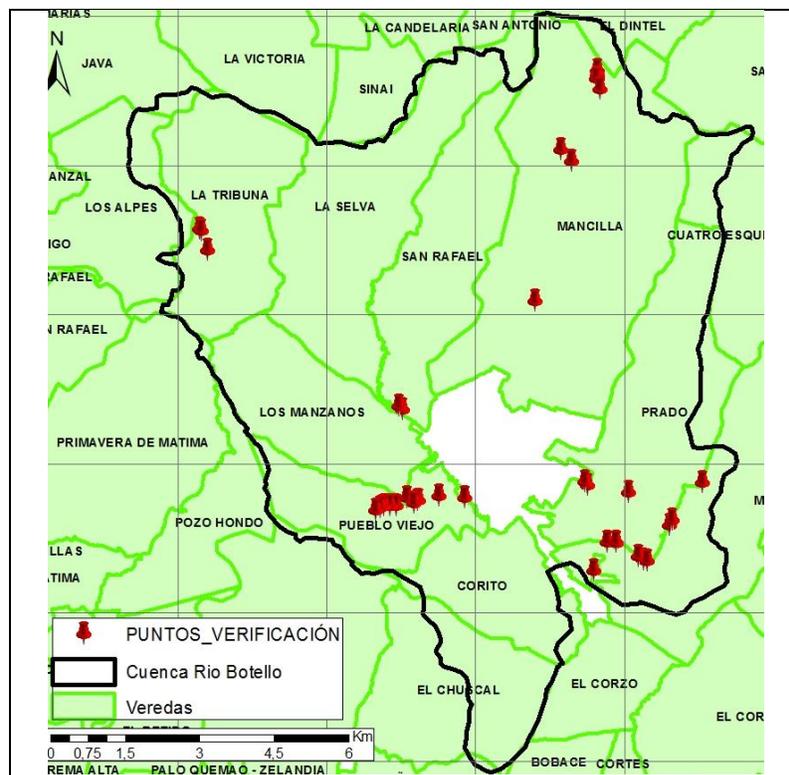


Figura 5. Puntos de control empleados en la digitalización. Fuente: Autores, 2018.

Tabla.1
Ficha de verificación de campo.

N° punto	N° foto	Coordenadas (Magna Sirgas Origen Bogotá)		Observación
		Este	Norte	
1	1-2-3	971650	1022429	Zona de transición entre cultivos y un área de bosque fragmentado por la ronda del río.
2	4	971826	1022426	Cultivos y áreas inundadas.
3	5	971828	1022440	Vista al norte se encuentra la PTAR Santa Marta y al noreste y noroeste pequeñas áreas de bosque.
4	N/A	972382	1022081	Hacia el este se encuentra un centro de reclusión, que limita con industrias y sector agropecuario.
5	7	972277	1022140	Al este se encuentran cultivos de papa y áreas preparadas para siembra, al norte zonas comerciales.
6	8-9	972447	1022053	Al sur se observa un área dispuesta para galpones y al norte áreas con pastos limpios.
7	N/A	972897	1022779	Vista del norte al suroeste de viviendas y pequeñas fincas.
8	N/A	972952	1022890	Se observan extensas áreas de cultivos de maíz a lo largo de la carretera.
9	N/A	973572	1023630	Se observan viviendas y fincas por el recorrido de la vía, más adelante al noreste se observa un fragmento de bosque.
10	13-14	972085	1023432	Al norte se encuentra la empresa Alpina y al sur variedad de cultivos entre papa, maíz y otros
11	15-16-17	971248	1023578	Se observa una amplia área de bosque denso al este y al oeste un conjunto de cultivos y de pastos limpios.
12	18-19	971207	1023651	Se observa que limita con el bosque áreas de pastos y urbanizaciones.
13	20-21-22	967523	1025102	Se observan variedad fincas, un pequeño humedal y una fundación ubicada al noreste.
14	23-24-25	967451	1025181	Al este se observan diferentes cultivos divididos en pequeñas áreas y al oeste se encuentran fincas con amplias zonas de pasto de fines ganaderos que cuentan con algunas áreas de bosque,
15		967462	1025174	
16	26	963598	1028316	Al norte se evidencia áreas de cultivos, pastos y pequeñas zonas de bosque, al este, bosques densos y la oeste áreas menos densas y homogéneas de bosque.
17	27-28-29- 30-31	963444	1028736	En esta zona predominaron las áreas de bosque en la zona sur, para el norte se encontraban áreas amplias de pastos con algunos fragmentos de bosques plantados.
18		963481	1028701	
19	32-33-34- 35	971458	1031833	Se encuentra la bocatoma Asuar en la vereda Macilla, en donde la ronda del río se encuentra rodeada de aplicas zonas de bosque hacia el este.
20	36-37-38	971460	1031846	Se observan áreas de pastos limpios cercadas con diferentes especies arbustivas y cercas muertas.
21	39-40-41	971456	1031936	Pastos dedicados a la ganadería con algunas viviendas, pero no se observan de manera continua.
22	42-43-44- 45	971447	1031770	Se observa parte de un drenaje del río, rodeado de especies arbustivas y algunas zonas de bosque claramente conformadas.
23	46-47-48	971425	1031774	Áreas amplias de pastos de actividad ganadera con vista a la zona de bosque que predomina en la zona.

24	49	971506	1031553	Extensas áreas cultivadas principalmente de fresa en todas las direcciones.
25	50-51-52-53	970720	1030336	Al oeste se observan grandes áreas de pastos limpios, arbolados y algunos cultivos o territorios listos para cultivar, al norte y este se observan viviendas continuas.
26	54	970938	1030108	Zona de viviendas, un colegio y comercio.
27		970193	1027290	Se observa la industria Ecopetrol.
28	55-56	971916	1020783	Se observa un área de extracción de material en la cantera del barrio Cartagenita.
29	57-58	968262	1023367	Punto en la vereda Pueblo Viejo con viviendas de poca infraestructura y distantes del centro.
30	59-60-61	967849	1023282	Áreas de pastos enmalezados y pastos limpios para ganado.
31	62-63-64-65	967833	1023273	Algunas fincas distantes, con presencia de cultivos y algunos invernaderos a la distancia.
32	66-67-68	967394	1023178	Se pueden observar extensas áreas de pastos con algunos cultivos y áreas en preparación para cultivar, así como bosques no tan densos.
33	69-70	967269	1023172	Se observa un conjunto de áreas entre pastos y cultivos de fresa y papa, con vista a algunas áreas de bosque en los puntos más altos.
34	71	967156	1023170	Predominan las áreas de pastos limpios y arbolados por extensión en área.
35	72-73	967088	1023133	Áreas de pastos para ganadería y fincas con viviendas no continuas.
36	74	966990	1023087	Se observan bosques en las zonas de mayor altura en amplias extensiones.
37	75-76	967624	1023334	Al noreste se observa un área de bosques no muy densos, rodeada de amplias zonas de pastos.
38	78	967757	1023223	Áreas de topografía más inclinada donde predominan pastos en extensiones amplias.
39	79-80	968783	1023334	Parte del río Botello rodeado por viviendas, zonas de comercio y algunas áreas de pasto.

Fuente: Autores, 2018.

Etapa VI. Parametrización de las coberturas: Para llevar a cabo el cumplimiento de este objetivo se empleó el software FRAGSTATS que ofrece una amplia gama de métricas y permite analizar la fragmentación describiendo características del paisaje y sus componentes (Çakir, Sivrikaya, & Keleş, 2007), y el software IndiFrag, herramienta ToolBox de ArcGIS que compila diferentes índices de fragmentación, además, permite el cálculo de parámetros multitemporales al comparar los mapas de coberturas de dos periodos diferentes de manera simultánea (Marta Sapena, Ruiz, & Palomar, 2015). A continuación, se mencionan los índices empleados para la parametrización de las coberturas identificadas en los tres años de estudio:

FRAGSTATS: En esta fase se realizó el cálculo de los índices que determinan las condiciones del paisaje con los cuales se caracterizan los parches en función a su tamaño, forma y aislamiento, haciendo uso del programa FRAGSTATS. Para lo cual, fue necesario convertir en formato ráster los polígonos generados en los mapas de coberturas para poder ser interpretado por el software, los índices tomados fueron los siguientes:

- NP: Es igual a la cantidad de parches del tipo de parche correspondiente (clase).
- PD: equivale al número de parches del tipo de parche correspondiente dividido por el área de paisaje total (m²), multiplicado por 10.000 y 100 (para convertir a 100 hectáreas) (PD>0)
- PLAND: Es igual al porcentaje del paisaje compuesto por el tipo de parche correspondiente ($0 < LPI \leq 100$), se acerca a 0 cuando el tipo de parche correspondiente (Clase) se vuelve cada vez más raro en el paisaje PLAND= 100 cuando todo el paisaje contiene un solo tipo de parche
- AREA_MN: Comprende el área media de los parches
- LPI: Es igual al porcentaje de la clase comprendido por el parche más grande ($0 < LPI \leq 100$), se acerca a 0 cuando el parche más grande del tipo de parche correspondiente es cada vez más pequeño
- SHAPE: Equivale al perímetro del parche (m) dividido por la raíz cuadrada del área del parche (m²); adimensional $SHAPE \geq 1$, sin límite, es igual a 1 cuando el parche es cuadrado e incrementa a medida que la forma del parche se vuelve más irregular.
- FRAC: Es igual a 2 veces el logaritmo del perímetro del parche (m) dividido por el logaritmo del área de parche (m²) ($1 \leq FRAC \leq 2$), mayor que 1 para un parche bidimensional indica un alejamiento de la geometría euclidiana (es decir, un aumento en la complejidad de la forma). FRAC se aproxima a 1 para formas con perímetros muy simples, como cuadrados, y 2, para formas con perímetros altamente complejos. adimensional

- **DIVISION:** Es igual a 1 menos la suma del área del parche (m²) dividida por el área del paisaje total (m²) elevado al cuadrado ($0 \leq \text{DIVISIÓN} < 1$), es 0 cuando el paisaje contiene un solo parche y se acerca a 1 cuando el tipo de parche es una única celda pequeña de parche en el área.(McGarigal, 2015).
- **PROX:** Es igual a la suma del área del parche (m²) dividida por la distancia cuadrada más próxima cuadrada (m²) entre el parche y el parche focal de todos los parches del tipo de parche correspondiente cuyos bordes están dentro de una distancia especificada (m) del parche focal ($\text{PROX} \geq 0$), es 0 si un parche no tiene vecinos del mismo tipo de parche dentro del especificado. La búsqueda de radio PROX aumenta a medida que el vecindario (definido por la radio de búsqueda (500m) está cada vez más ocupado por parches del mismo tipo y los parches se vuelven más cercanos y más contiguos (o menos fragmentados) en la distribución.

INDIFRAG: Para la implementación de este software no fue necesario realizar un tratamiento a las coberturas obtenidas ya que esta herramienta trabaja en formato vector, para conservar así las características originales de los polígonos establecidos. Para su uso, se tuvieron en cuenta los siguientes índices:

- **DEM:** (Distancia Euclídea Media del Vecino Más Próximo) Este índice se utiliza para calcular la separación de los objetos entre los de su misma clase, para dar una idea de la distribución de estos en metros.
- **LEI:** (Índice de expansión) Para el análisis multitemporal realizado con la herramienta IndiFrag se empleó el índice de expansión (LEI), el cual mide los tres tipos de patrones espaciales que se tienen en cuenta en los procesos de expansión que son: crecimiento tipo relleno (*infilling*) en donde un parche nuevo crece dentro de una zona amortiguadora correspondiente a otro tipo de cobertura del paisaje antiguo (Figura 6 (A)), el crecimiento de tipo expansivo (*edge-expansive*)

se da cuando el área de la zona de amortiguamiento o cobertura se mezcla con coberturas vecinas del paisaje antiguo (Figura 6 (B)) y finalmente, el crecimiento de tipo aislado (*outlying*) se presenta cuando el parche nuevo ha crecido en una zona en la cual no hay presencia en el paisaje antiguo de esa misma cobertura (Figura 6 (C)) (X. Liu et al., 2010).

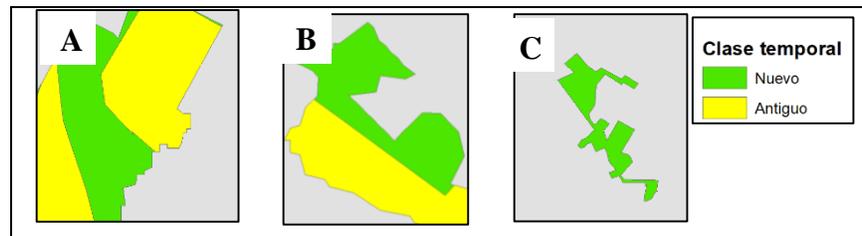


Figura 6. Tres tipos de crecimiento para análisis del Índice de Expansión (LEI). Fuente: Autores 2018.

Este índice se calcula (ver Ecuación 1) de la siguiente manera:

$$LEI = \frac{l_w}{P_w} * 100 \quad (1)$$

Donde, l_w es la longitud del contorno compartido entre le objeto nuevo y el antiguo (m), y P_w es el perímetro del objeto nuevo (m) (Agencia Nacional de Regulación Control y Vigilancia Sanitaria, 2005), el rango de este índice varía de la siguiente manera:

Tipo de crecimiento	Índice
Relleno	$100 \geq LEI > 50$
Expansivo	$50 \geq LEI > 0$
Aislado	$LEI = 0$

Fuente: (X. Liu et al., 2010).

Por último, se realizará el proceso de comparación de los resultados obtenidos para cada periodo de estudio con el fin de determinar el porcentaje de transformación que se ha presentado en la microcuenca y determinar los factores más importantes e influyentes en el proceso de fragmentación de esta, para así poder formular un índice que describa la fragmentación de bosques a través de la estandarización de los resultados de cada uno para los tres años de estudio.

11 Resultados

11.1 Proceso de delimitación de la microcuenca “Río Botello”

Para la definición espacial de la microcuenca primero se estableció su zonificación hidrográfica, para la cual se parte de la identificación del área hidrográfica o macrocuenca a la cual pertenece, que para este caso es la llamada Magdalena- Cauca (Ver Figura 6) (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo, 2014).

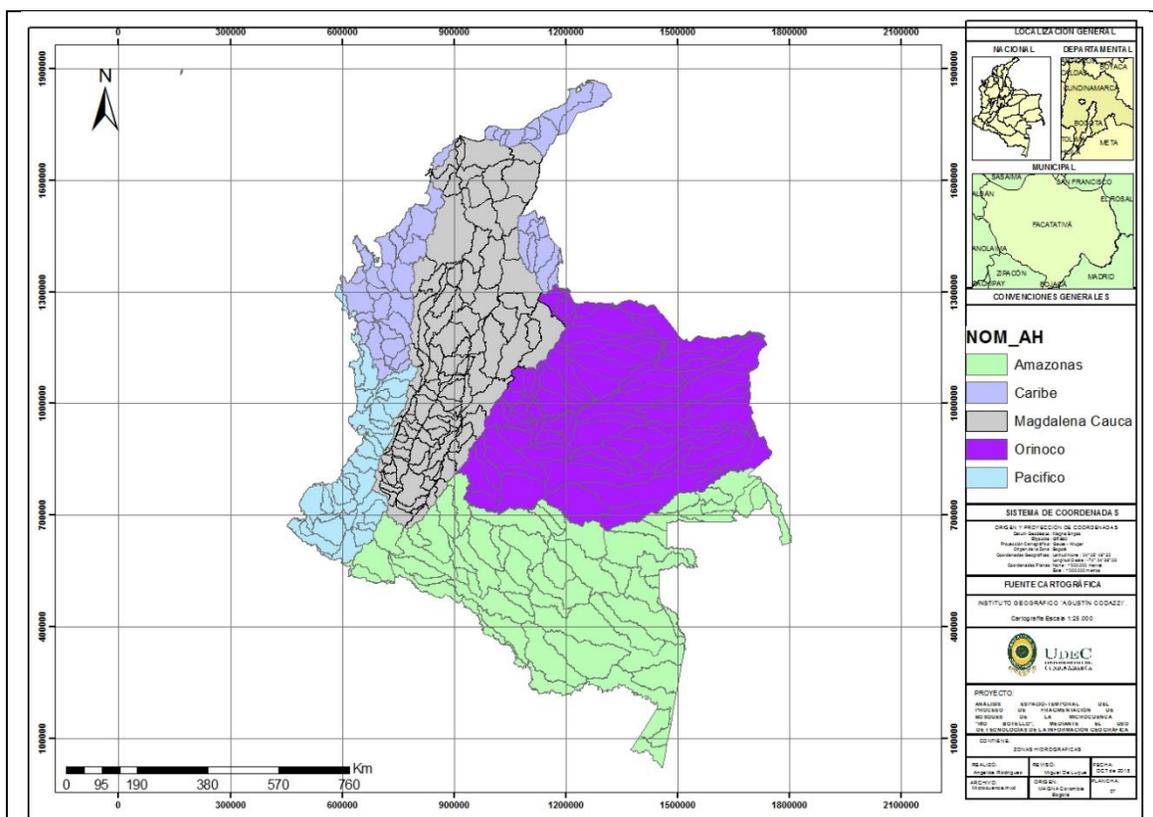


Figura 7. Áreas hidrográficas de Colombia. Fuente: Autores, 2018.

El siguiente nivel de zonificación hace referencia a la Zona hidrográfica, que de las 9 zonas que comprende el área hidrográfica Magdalena-Cauca la que corresponde al área de estudio es la denominada Zona hidrográfica Alto Magdalena como se observa en la siguiente figura:

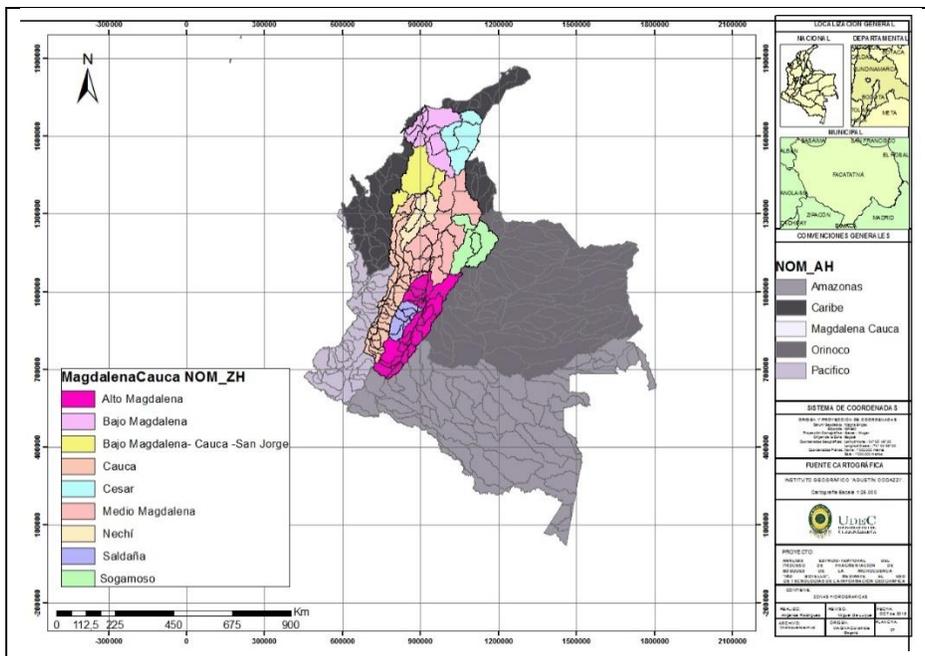


Figura 8. Zonas hidrográficas de la Cuenca Magdalena-Cauca. Fuente: Autores, 2018.

Posteriormente, se identifica la Subzona hidrográfica, que es el siguiente nivel dentro de la zonificación. La cual, para la microcuenca objeto de estudio hace referencia a la Subzona hidrográfica Río Bogotá como se observa en la Figura 9.

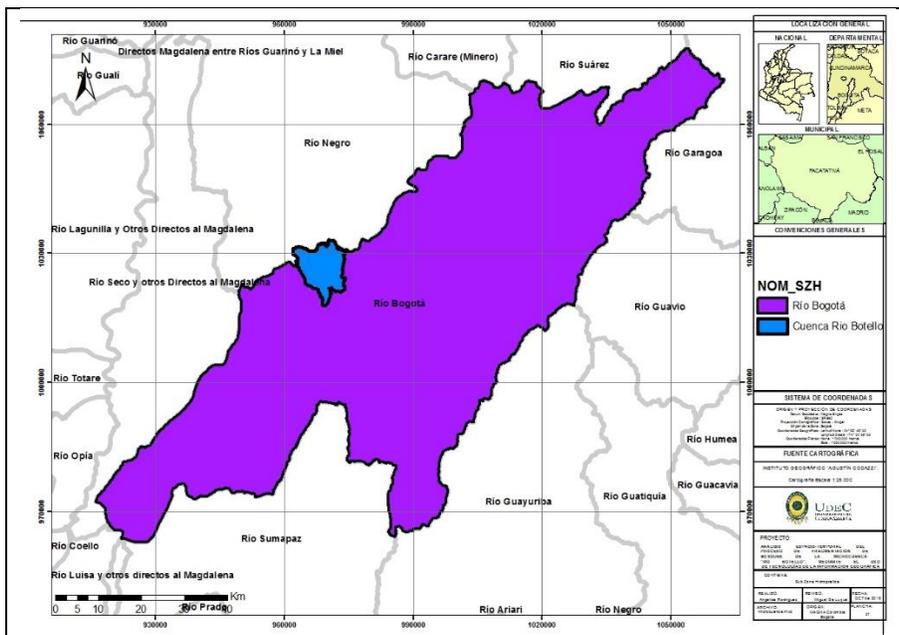


Figura 9 Subzona hidrográfica Río Bogotá. Fuente: Autores, 2018.

Finalmente, se llega al último nivel de zonificación que corresponde al de microcuenca, donde se ubica el área objeto de estudio que es la microcuenca Río Botello. Teniendo en cuenta que no se encuentra disponible la definición espacial de esta microcuenca se procede a realizar su delimitación. Procedimiento que se realizó de manera manual, en donde el río principal se estableció a partir de la cartografía 1:25.000 suministrada por el IGAC, siendo el Río Botello como se observa en la Figura 10, donde se toma como punto principal el punto en el cual el río presenta confluencia con el Río Bojacá a la altura de la vereda el Corzo, así mismo se identificó la red de drenaje y se realizó un esbozo general de la delimitación.

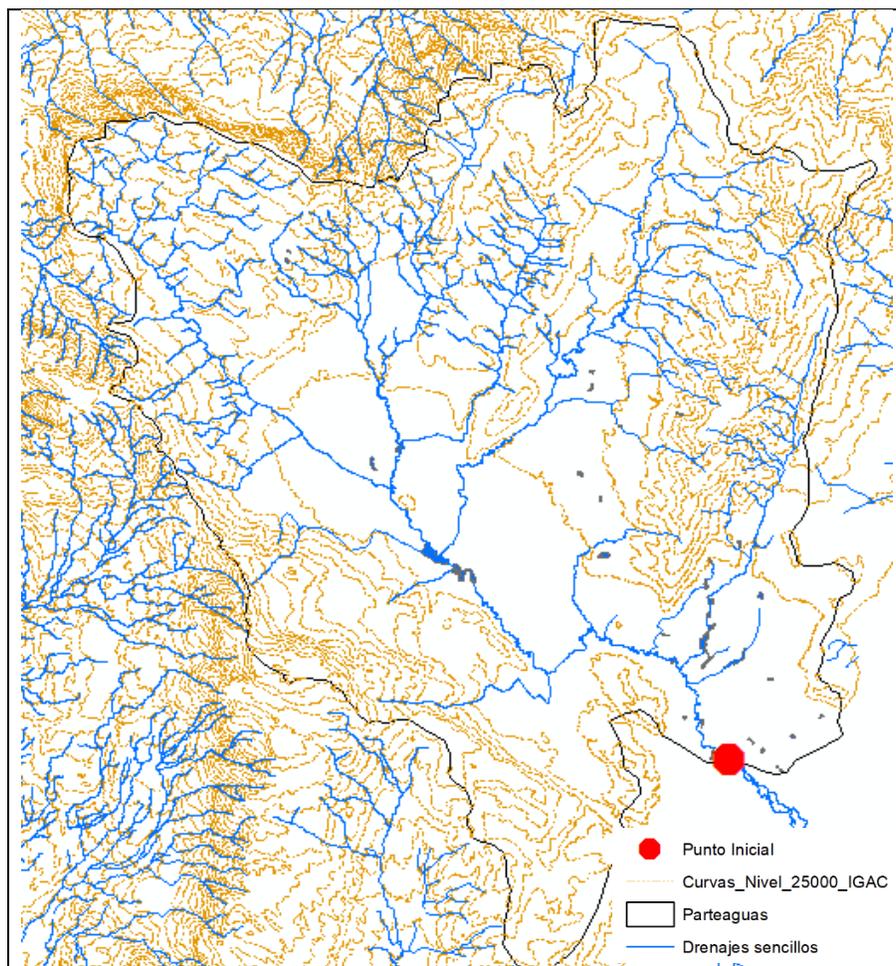


Figura 10. Río principal y red de drenaje para la delimitación de la cuenca. Fuente: Autores, 2018.

Teniendo en cuenta los criterios de delimitación más relevantes donde invariablemente la divisoria debe cortar de manera perpendicular con las curvas de nivel y pasar por los puntos de mayor nivel topográfico se observa la aplicación de dichos criterios en la Figura 11, se debe recordar además que la divisoria al aumentar de altitud debe cortar por la parte convexa y al decrecer cortar por la parte cóncava (Reyes, A; Ulises, 2010).

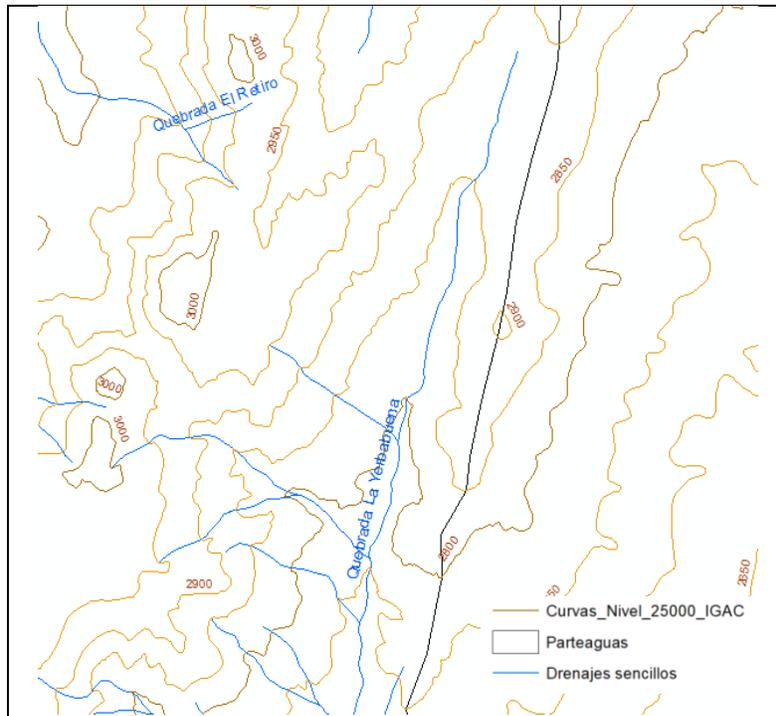


Figura 11. Criterios relevantes para la delimitación de la cuenca. Fuente: Autores, 2018.

Finalmente, se obtiene la delimitación de la cuenca para el establecimiento del área de estudio como se observa en la Figura 12, criterio que es importante ya que actualmente la definición espacial de estas unidades hidrográficas permite un adecuado cuidado de los recursos hídricos (Geraldí, Piccolo, & Perillo, 2010), al facilitar el manejo y ordenamiento de los territorios por su integridad estructural.

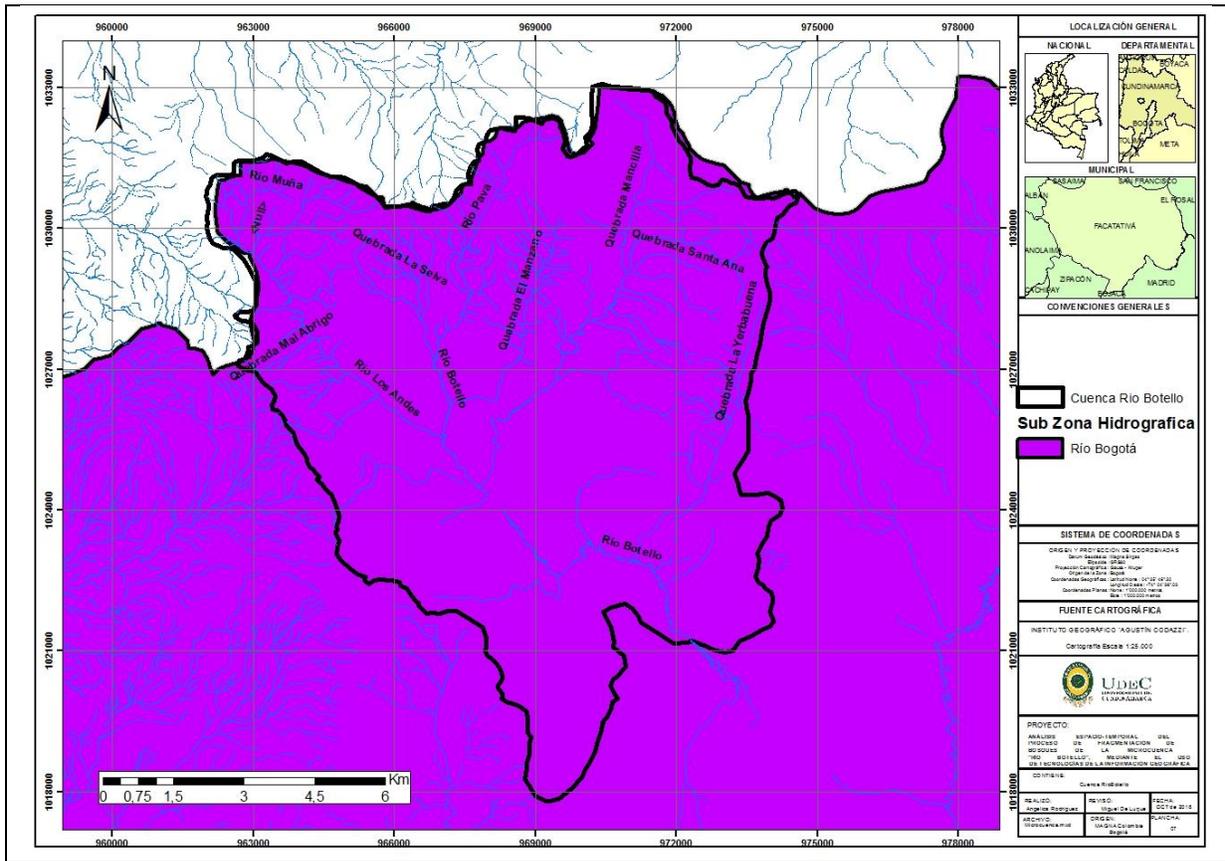


Figura 12. Microcuenca Río Botello. Fuente: Autores, 2018.

11.2 Clasificación de las principales coberturas presentes en la microcuenca “Río Botello”

Se presenta la clasificación de coberturas de la tierra (Figura 13) teniendo en cuenta la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, cuya caracterización fue realizada para el área comprendida por la microcuenca “Río Botello” como resultado de la información obtenida del satélite LIC_T18NWL_A004627_20180124T152632 correspondiente al año 2018 y control de campo realizado en zonas de interés locales que generaban mayor incertidumbre en la interpretación de las coberturas.

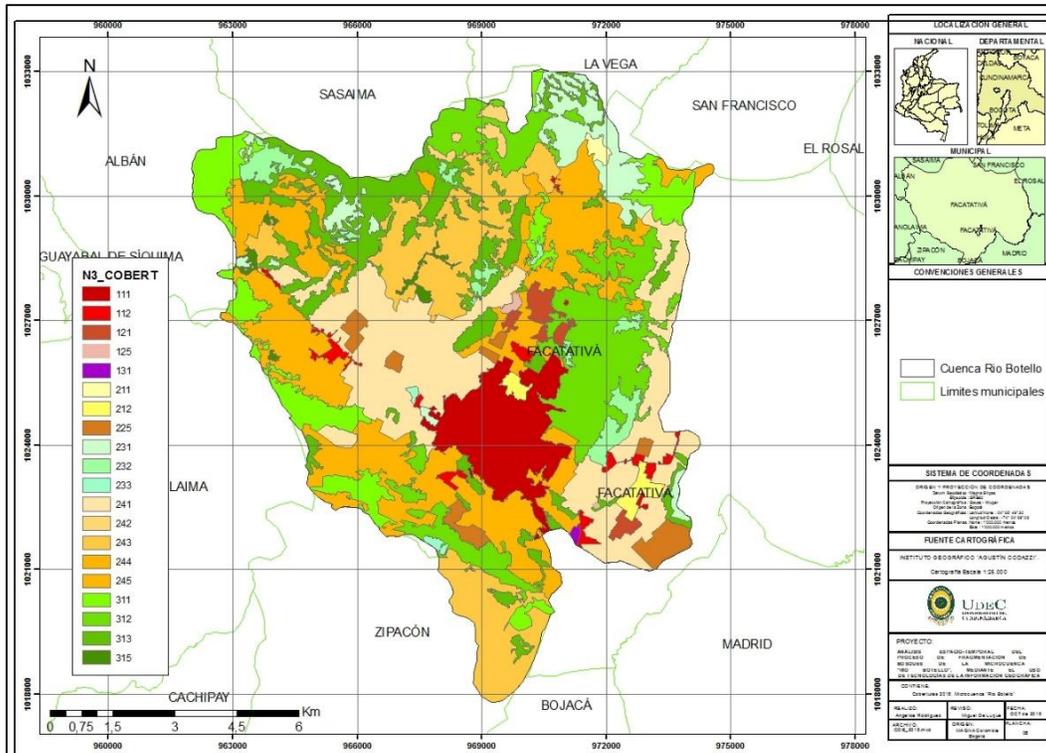


Figura 13. Clasificación de coberturas 2018 detallada microcuenca “Rio Botello”. Fuente: Autores, 2018.

A continuación, se presentan la descripción de las coberturas presentes en el área de estudio de acuerdo a CLCC, sin embargo, la descripción más detallada se encuentra en LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA (2010).

1-Territorios Artificializados: Corresponde a poblaciones y áreas periféricas de las zonas urbanas con fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos agrupados de la siguiente manera.

11- Zonas urbanizadas: Territorios cubiertos por infraestructura urbana y espacios verdes que configuran un tejido urbano.

111-Tejido urbano continuo: Espacios conformados por edificaciones y espacios adyacentes a la estructura edificada, que cubren más del 80% de la superficie del terreno.

112-Tejido urbano discontinuo: Espacios conformados por edificaciones y zonas verdes que cubren la superficie del terreno de forma discontinua.

12- Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación: Hace referencia a los territorios de uso exclusivamente de uso comercial, industrial, de servicios y comunicaciones.

121-Zonas industriales o comerciales: Áreas cubiertas por infraestructura artificial sin presencia de áreas verdes dominantes que se utilizan para actividades industriales y comerciales.

125-Obras hidráulicas: Corresponden a construcciones de área permanente destinadas a instalaciones hidráulicas.

13-Zonas de extracción minera y escombreras: Áreas para extracción o acumulación de materiales asociados a actividades mineras de construcción producción industrial y vertimientos de residuos.

131-Zonas de extracción minera: En estas áreas se extrae material a cielo abierto.

2-Territorios agrícolas: Territorios dedicados a la producción de alimentos y otras materias primas industriales, que se encuentran con cultivos, pastos en rotación y en descanso.

21- Cultivos anuales o transitorios: Zonas ocupadas con cultivos que tienen un ciclo vegetativo igual o menor a un año, en los cuales luego de la cosecha es necesario volver a sembrar para seguir produciendo.

211-Otros cultivos transitorios: Incluye cultivos de fresa.

212- Cereales: Cobertura compuesta principalmente por cultivos transitorios de gramíneas como arroz, maíz sorgo cebada y trigo.

22- Cultivos permanentes: Zonas ocupadas con cultivos que tienen un ciclo vegetativo mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volver a plantar.

225- Cultivos confinados: Comprende las tierras ocupadas por cultivos bajo infraestructura de invernaderos, principalmente dedicados al cultivo de flores, incluye toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes.

23-Pastos: Tierras cubiertas con hierba de composición florística dominada principalmente por la familia Poaceae.

231- Pastos limpios: Comprende tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, escalamiento y/o fertilización).

232- Pastos arbolados: Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa.

233- Pastos enmalezados: Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones vegetales secundarias.

24 -Áreas agrícolas heterogéneas: Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales en un patrón geométrico que hace difícil su separación en coberturas individuales.

3- Bosques y áreas seminaturales: Comprende un tipo de cobertura de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, con poca o ninguna intervención antrópica.

31-Bosques: Áreas constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas.

311- Bosque natural denso: Cobertura constituida por comunidades de elementos típicamente arbóreos con altura superior a 5m sin intervención o intervención selectiva que no altera su estructura original ni características funcionales, cuya área representa más del 70% del área total de la unidad.

312- Bosque abierto: Cobertura constituida por comunidades de elementos típicamente arbóreos con altura superior a 5m, cuya área representa entre el 30% y 70% del área total de la unidad.

313- Bosque natural fragmentado: Territorios cubiertos por bosques naturales que presentan intervención humana, sin embargo, mantienen su estructura original, incluyen áreas transformadas en el interior de la cobertura originando parches debido a la presencia de coberturas como pastos y cultivos que no representan más del 30% de área del bosque.

315- Plantación forestal: Plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal.

La microcuenca está compuesta por coberturas en su mayoría de territorios agrícolas, de los cuales el 6, 9% son pastos, como el pasto kikuyo (Tabla.2, Figura 13). Las coberturas dominantes son mosaicos de cultivos como Fresa, papa y maíz, en menor proporción zonas de extracción minera y obras hidráulica y sólo el 30,5% (3.036,6 ha) del total de la microcuenca corresponde a bosque conformados por asociaciones como el cedro nogal y el cedro de altura, estos en su gran mayoría se encuentran al noroeste, de los cuales según la metodología CLCC el 10,4% (1.122,7ha) corresponde a bosques fragmentados (Tabla.2), se resalta que las plantaciones forestales son principalmente de carácter exótico de especies como el eucalipto; el tamaño de los parches varía de 1 a 961 ha, con un tamaño promedio de 81,4 ha.

Tabla.2

Código- nivel 3 para coberturas detalladas de la microcuenca "Rio Botello" 2018

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	NP	ha	%
1	Territorios artificializados	18		
11	Zonas urbanizadas	12	828,1	
111	Tejido urbano continuo	1	699,9	6,5%
112	Tejido urbano discontinuo	11	128,2	1,2%
12	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	5	133,4	
121	Zonas industriales o comerciales	3	118,5	1,1%
125	Obras hidráulicas	2	14,8	0,1%
13	Zonas de extracción minera y escombreras	1	7,9	
131	Zonas de extracción minera	1	7,9	0,1%
2	Territorios agrícolas	61		
21	Cultivos anuales o transitorios	4	786,3	
211	Otros cultivos transitorios	1	27,1	0,3%
212	Cereales	2	83,5	0,8%
22	Cultivos permanentes	7	228,8	
225	Cultivos confinados	7	228,8	2,1%
23	Pastos	25	749,2	
231	Pastos limpios	15	477,6	4,4%
232	Pastos arbolados	8	251,9	2,3%
233	Pastos enmalezados	2	19,6	0,2%
24	Áreas agrícolas heterogéneas	25	4789,1	
241	Mosaico de cultivos	7	1825,0	16,9%
242	Mosaico de pastos y cultivos	4	61,8	0,6%
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3	1252,6	11,6%
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	9	964,6	8,9%
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	3	1360,95	12,6%
3	Bosques y áreas seminaturales	54		
31	Bosques	54	3306,6	30,5%
311	Bosque denso	10	781,4	7,2%
312	Bosque abierto	8	1348,9	12,5%
313	Bosque fragmentado	32	1122,7	10,4%
315	Plantación forestal	4	53,6	0,5%

Fuente: Autores, 2018

11.3 Patrones e índices que describen la dinámica de la fragmentación en la microcuenca

Las métricas de paisajes se pueden definir en cuatro niveles correspondientes i) métricas a nivel de celda ii) métricas a nivel de parche iii) métricas a nivel de clase iv) métricas a nivel de paisaje. Las primeras representan un contexto espacial local, el segundo nivel que es de parche analiza el carácter espacial de manera individual, mientras que el nivel de clase representa la distribución espacial de un conjunto de parches del mismo tipo, por lo tanto, estas métricas se interpretan comúnmente como índices de fragmentación, y por último, el nivel de paisaje representa un patrón espacial interpretándose como índices de heterogeneidad porque miden la estructura general de un área (McGarigal, 2015).

La elección del nivel a emplear se debe realizar teniendo en cuenta la escala, para así interpretar de una manera adecuada cada índice (McGarigal, 2015), por lo tanto, para el caso particular de analizar el proceso de fragmentación en la microcuenca se usó las métricas a nivel de clase. Las cuales a su vez en función del patrón que miden los estadísticos y sus propiedades, se dividen en diferentes grupos (Área-borde, forma y agregación) y de estos se tomaron los índices más relevantes para su posterior comparación.

11.3.1 Área y borde:

Este grupo representa una colección de medidas que tienen relación con el tamaño de los objetos y su perímetro, es una de las medidas más simples que representa un atributo fundamental del carácter espacial de un parche.

11.3.1.1 Área total (CA):

Este índice calcula la suma de las áreas de todos los parches del tipo de clase correspondiente, para este caso (Figura 14) se observa que del año 1985 a 2018 las hectáreas totales de bosque y

áreas seminaturales disminuyeron de 4.397,4 ha a 3.319,7 ha proporcional al aumento de territorios artificializados y territorios agrícolas, sin embargo, el cambio real de la transformación de las coberturas se evaluará en las matrices de cambio (**Ver sección 11.5.1**).

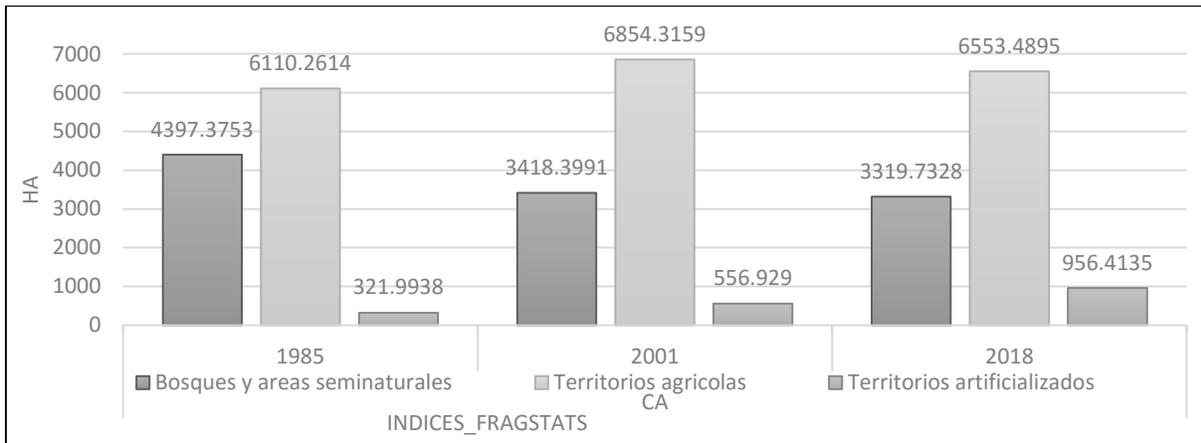


Figura 14. Índice CA en la microcuenca “Rio Botello” (1985-2018). Fuente: Autores, 2018.

11.3.1.2 Porcentaje (PLAND)

Este índice cuantifica la abundancia proporcional de cada tipo de parche (Tabla.3) y se asumen rangos para comprender la influencia del área sobre los procesos de transformación.

Tabla.3

Rangos para calificar el nivel de complejidad Índice PLAND

RANGO	CALIFICACIÓN	ABUNDANCIA PROPORCIONAL
1 – 20	1	Muy bajo
21 - 40	2	Bajo
41 -60	3	Media
61 -80	4	Alto
81 - 100	5	Muy alta

Fuente: Autores, 2018.

La (Figura 15) se traduce en 3 comportamientos puntuales sobre la microcuenca. (i) la disminución de bosques y áreas seminaturales del 41% (Media) del área total para el año 1985 a un 32% (Bajo) en el 2001 y finalizar con 31% (Bajo) de área en el 2018, (ii) La expansión de la

frontera agrícola y (iii) El aumento poblacional relacionado al aumento de territorios artificializados.

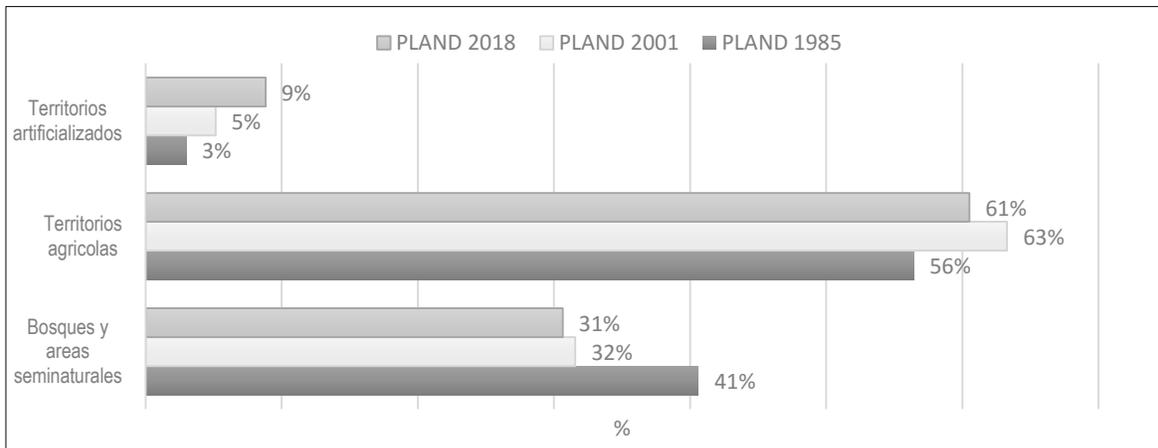


Figura 15. Índice PLAND aplicado a la microcuenca “Rio Botello” (1985-2018). Fuente: Autores, 2018.

11.3.1.3 Índice del parche más grande (LPI)

En 1985 el porcentaje comprendido por el parche más grande para bosques y áreas seminaturales (BOS) era de 8% (Figura 16) con respecto al área total de BOS (4.397 ha) mostrando que el parche más grande era de 351,7 ha y que en el 2018 aumento a 10% con respecto al área total BOS (3.319,73 ha), sin embargo, el área para este año es de 331,97 ha, lo que se traduce en una pérdida de área de parche de 19,81 ha.

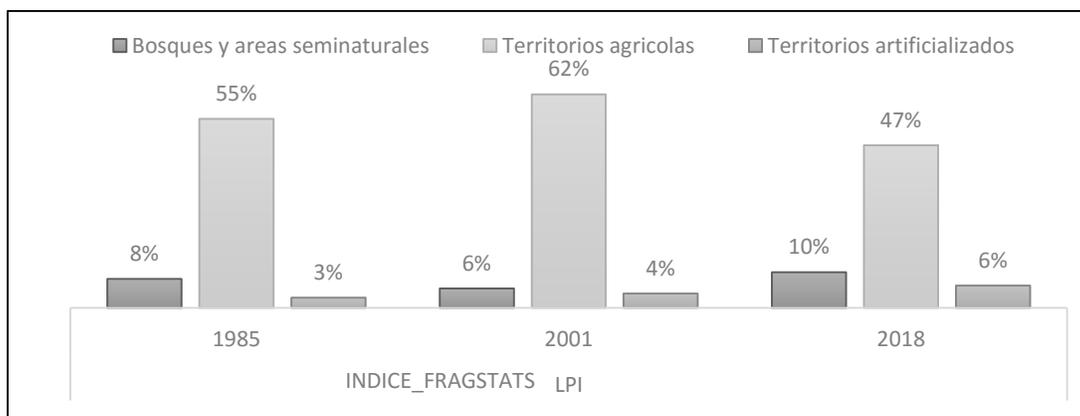


Figura 16. Índice LPI aplicado a la microcuenca “Rio Botello” (1985-2018). Fuente: Autores, 2018.

11.3.1.4 Área media del parche (AREA_MN)

A continuación, se aborda el tamaño medio de los fragmentos del área de estudio, para el caso de los bosques y áreas seminaturales se evidencia una disminución en el periodo 1985-2001 de 12 ha y un aumento de 6 ha promedio para 2001-2018.

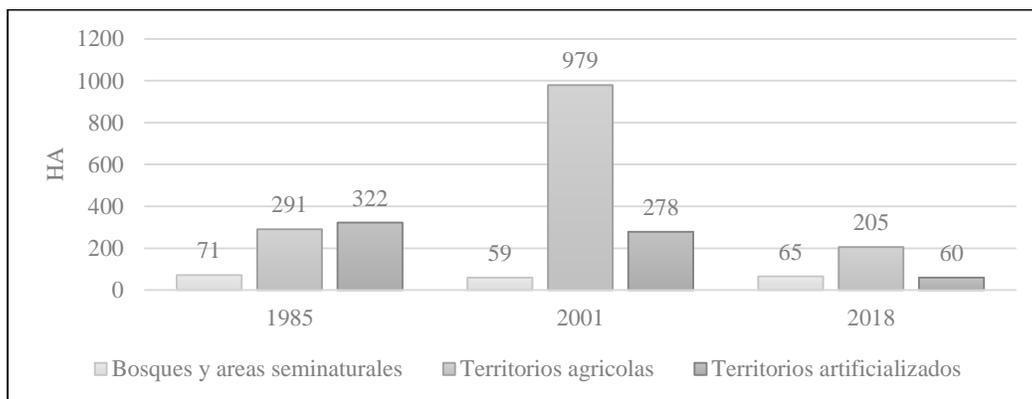


Figura 17. Índice AREA_MN aplicado a la microcuenca “Rio Botello” (1985-2018). Fuente: Autores, 2018.

Para determinar los rangos (Figura 17) se tiene en cuenta que los fragmentos con una extensión menor de 10.000 ha no son adecuados para mantener poblaciones viables de la mayoría de mamíferos grandes (Dinerstein et al., 1995).

Tabla.4

Rangos para calificar la estabilidad del fragmento sobre bosques Índice AREA_MN.

Intervalo (ha)	Estabilidad del fragmento		
	Calificación	Explicación	
>10000	1	Estable	Fragmento capaz de sostener las mayores especies de mamíferos.
1000 a 10000	2	Parcialmente estable	Fragmento capaz de sostener algunas especies de mamíferos grandes y aves de gran tamaño.
500 a 1000	3	Medianamente estable	Fragmento capaz de albergar especies de grandes de aves.
140 a 500	4	Parcialmente inestable	Fragmento capaz de albergar aves carnívoras pequeñas y medianas

Intervalo (ha)	Estabilidad del fragmento		
	Calificación		Explicación
< 140	5	Inestable	Fragmentos que albergan especies pequeñas, alta posibilidad de desaparición

Fuente: Autores, 2018.

En la Tabla.4, se indica la categoría que corresponde para cada cobertura según su tamaño promedio, es así como los bosques y áreas seminaturales se clasifican como inestables (Tabla.5) los cuales pueden albergar especies pequeñas; que hacen parte de la fauna actual de la microcuenca y tiene una alta posibilidad de desaparición si no se toman medidas para la conservación y la protección de estas.

Tabla.5

Resultados Índice AREA_MN aplicado bosques y áreas seminaturales en la microcuenca “Rio Botello” (1985-2018).

COBERTURA	1985		2001		2018	
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Bosques y áreas seminaturales	71	Inestable 5	59	Inestable 5	65	Inestable 5

Fuente: Autores, 2018.

11.3.2 Forma

La complejidad de la forma se refiere a la geometría de los parches, ya sea que sean simples y compactos o irregulares y complejos. Hacen una relación entre el área y el perímetro, las formas compactas son más efectivas en la protección de los recursos que se encuentran al interior del parche contra los efectos del ambiente exterior (Viento, invasión de especies, etc.); las formas irregulares tienen un perímetro más largo por unidad de área y consecuentemente hay mayor interacción del parche con el ambiente exterior (Subirós et al., 2006).

11.3.2.1 SHAPE

Calcula la complejidad de la forma de los fragmentos en comparación con una forma estándar, como sería la circunferencia en el entorno no vectorial, aumenta a medida que la forma se vuelve más irregular por tanto, el ligero aumento de SHAPE refleja que los bosques y áreas seminaturales (Figura 18) estaban compuestos por parches menos irregulares, los territorios agrícolas eran menos irregulares en comparación con el año 1985 pero más irregulares con respecto al 2001 y los territorios artificializados eran más irregulares.

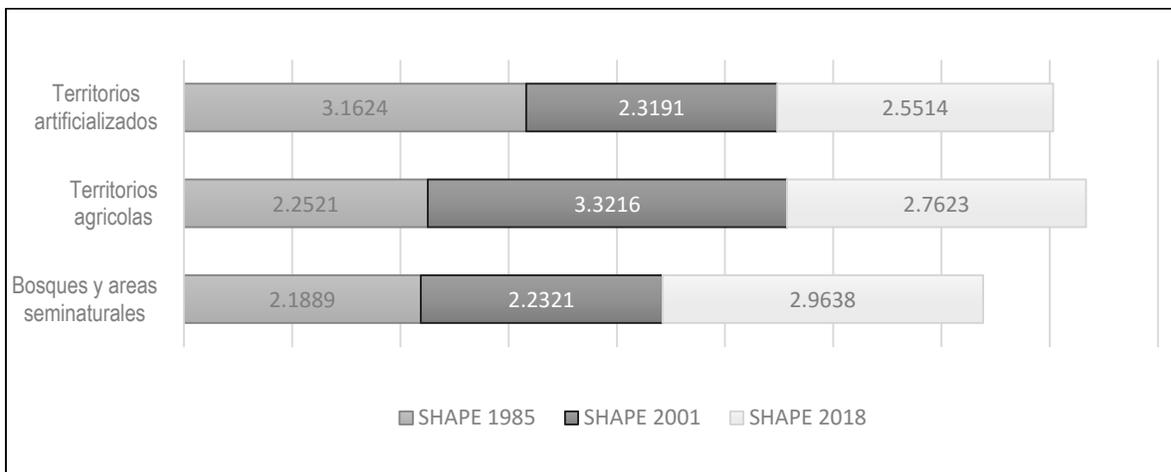


Figura 18. Índice SHAPE aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018). Fuente: Autores, 2018.

11.3.2.2 Dimensión fractal (FRAC)

La dimensión fractal toma valores entre el rango de 1 a 2 donde, una dimensión fractal media mayor a 1 indica un alejamiento de la geometría euclidiana (es decir, un aumento en la forma de la complejidad de la forma de los parches de una clase - ramificadas y autocontenidas) con una mayor susceptibilidad a la fragmentación; valores cercanos a 1 representan una forma euclidiana simple (círculo, cuadrado) mucho más compactos (McGarigal, 2015). Los rangos de calificación para la forma de fragmentos en la microcuenca rieron Botello se pueden ver en la Tabla.6.

Tabla.6
Rangos para calificar el nivel de complejidad Índice FRAC.

	RANGO	CALIFICACIÓN	COMPLEJIDAD
	1,00 - 1,2	1	Muy simple
	1,21 - 1,4	2	Simple
	1,41 - 1,6	3	Complejo
	1,61 - 1,8	4	Muy complejo
	1,81 - 2,0	5	Altamente complejo

Fuente: Autores, 2018.

Los valores obtenidos en la dimensión fractal para cada una de las coberturas analizadas en el área de estudio pueden verse en la Tabla.7. Los bosques y áreas seminaturales presentan para los tres años complejidad muy simple, estos valores muestran una baja sensibilidad por forma debido a que todos los fragmentos presentan formas compactas.

Tabla.7
Índice FRAC aplicado a la microcuenca “Rio Botello” (1985-2018).

COBERTURA	1985		2001		2018	
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Bosques y áreas seminaturales	1,1137	Muy simple 1	1,1166	Muy simple 1	1,1597	Muy simple 1
Territorios agrícolas	1,0977	Muy simple 1	1,123	Muy simple 1	1,1404	Muy simple 1
Territorios artificializados	1,1537	Muy simple 1	1,1127	Muy simple 1	1,1449	Muy simple 1

Fuente: Autores, 2018.

11.3.3 Agregación

Se refiere al grado de agregación o agrupación de tipos de parches de la misma clase. También se conoce como textura, y para el caso de la microcuenca se aplicaron los siguientes índices:

11.3.3.1 Numero de parches (NP)

El número de parches es una medida simple del grado en que se divide el área de estudio, la Figura 19 confirma la pérdida de área de bosques y áreas seminaturales ya que del año 1985 al 2018 hubo

una reducción de 11 parches, sin embargo, su incidencia dentro del proceso de fragmentación debe ser analizada en conjunto con otras variables como el área media del parche.

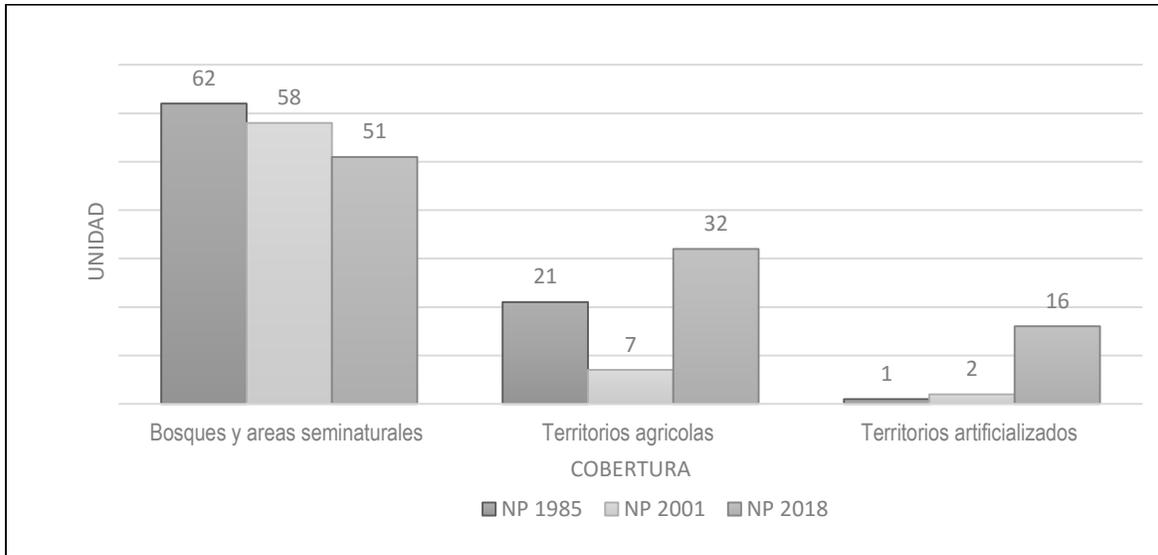


Figura 19. Índice NP aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018). Fuente: Autores, 2018.

11.3.3.2 Densidad de clase (PD)

Expresa el número de parches por cada 100 ha (Figura 20), cuanto mayor es la densidad en una clase menor será su separación. Los Bosques y áreas seminaturales tienen mayor separación en 1985 a diferencia de territorios artificializados que tienen mayor separación en 2018.

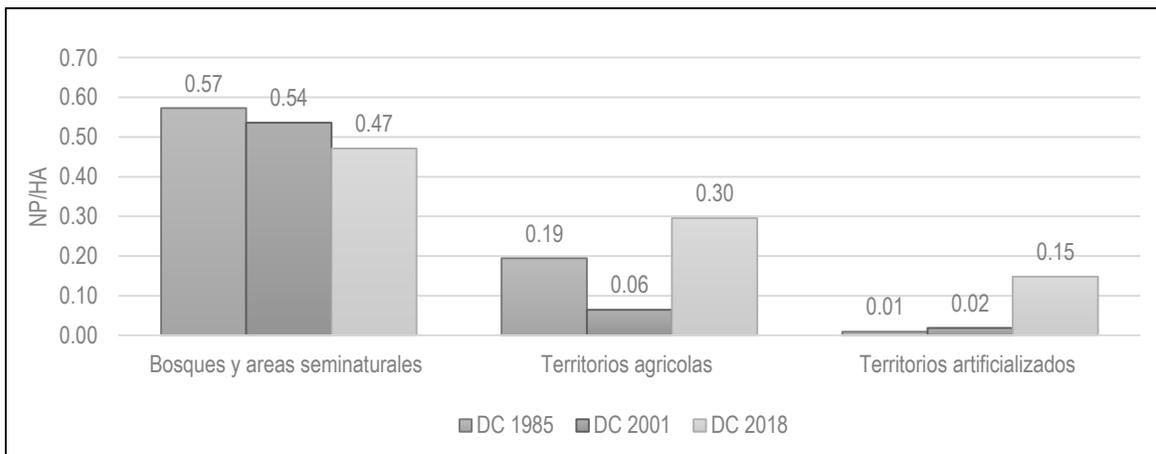


Figura 20. Índice PD aplicado a la microcuenca “Río Botello” (1985-2018). Fuente: Autores, 2018.

Esta variable es directamente proporcional al número de parches siempre y cuando el área total se mantenga estable (McGarigal, 2015), como se realizó en la microcuenca en donde la densidad de bosques y áreas seminaturales decreció para los tres años como respuesta a la disminución del número de parches.

11.3.3.3 PROX

La proximidad de un parche se considera pertinente para evaluar la integridad ecológica de un ecosistema, ya que da información sobre la cercanía o vecindad (en un radio de 500 m) en que se disponen físicamente los fragmentos que forman parte de una clase o tipo de cobertura vegetal. Su análisis permite saber acerca de los problemas estructurales que limitan o favorecen los flujos ecológicos que normalmente ocurren en el área de estudio. Los rangos de calificación para proximidad de coberturas se pueden ver en la Tabla.8.

Tabla.8
Rangos para calificar la cercanía de parches Índice PROX

Rango	Calificación	Descripción
< 10	Conectado	1 Fragmentos en el límite inmediato, separados por una barrera menor, copas cercanas, alta interacción.
10 a 100	Parcialmente conectado	2 Fragmentos próximos, ubicados a una distancia corta para la mayoría de las especies terrestre, no para especies arborícolas, alta interacción.
100 a 500	Medianamente conectado	3 Fragmentos cercanos, posibilidad de movilidad para especies con rangos de hábitat no específicos, posibilidad de recuperación, interacción media.
500 a 2000	Parcialmente aislado	4 Fragmentos lejanos, conectados solo para las especies más móviles, interacción baja.
> 2000	Aislado	5 Fragmentos aislados, se considera interacción nula o poco probable.

Fuente: Autores, 2018.

A partir de la conexión entre fragmentos se realizó la valoración de los parches, se observa en el índice de proximidad que las coberturas TAG (Tabla.9) poseen un valor más alto respecto a las demás para el año 2018, lo que muestra que en un radio de 500 m se pueden encontrar más parches

de la misma clase, indicando una mayor vecindad o contigüidad en estas coberturas. Mientras que las coberturas BOS Y TAR poseen valores más bajos indicando grado de fragmentación ya que son las coberturas con mayor número de parches. Además, las coberturas de bosques y áreas seminaturales poseen fragmentos aislados para los cuales la interacción es nula o poco probable.

Tabla.9
Índice Prox aplicado a la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.

COBERTURA	PROX								
	1985			2001			2018		
	Valor/calificación			Valor/calificación			Valor/calificación		
BOS	1943,519	Parcialmente aislado	4	905,4205	Parcialmente aislado	4	7236,0834	Aislado	5
TAG	49692,4081	Aislado	5	10079,2642	Aislado	5	124403,988	Aislado	5
TAR	0	No aplica	1	224,1885	Medianamente conectado	3	173,5598	Medianamente conectado	3

Fuente: Autores, 2018.

11.3.3.4 La Distancia Euclídea Media del Vecino Más Próximo (DEM)

Se acerca a 0 a medida que disminuye la distancia al vecino más cercano, en la Tabla.10 y Tabla.11 se describe la ponderación para determinar qué tan conectada esta la clase y en la Figura 21 se presentan los resultados en donde se observa que en el año 1985 la desagregación es mayor para territorios agrícolas (TAG) 113m seguido de bosques y áreas seminaturales (BOS) 85m pero el territorio artificializado (TAR) posee un solo parche por tanto, no tiene ningún vecino cercano. En el año 2001 la cobertura más desagregada es TAG con 115m, se empieza a notar la expansión de TAR debido a que aumenta significativamente su división 111m y en el año 2018 la división entre sus iguales es mayor en TAR, esto indica que los vecinos más cercanos a cada parche se encuentran en promedio a 397 m, además, corresponde también al bajo número de parches seguido de BOS 81m y finalmente TAG 36 m.

Tabla.10
Rangos para calificar la cercanía de parches Índice PROX.

Rango	Calificación		Descripción
0-23	Conectado	1	Fragmentos en el límite inmediato, separados por una barrera menor, copas cercanas, alta interacción.
24 a 46	Parcialmente conectado	2	Fragmentos próximos, ubicados a una distancia corta para la mayoría de las especies terrestre, no para especies arborícolas, alta interacción.
47 a 69	Medianamente conectado	3	Fragmentos cercanos, posibilidad de movilidad para especies con rangos de hábitat no específicos, posibilidad de recuperación, interacción media.
70-92	Parcialmente aislado	4	Fragmentos lejanos, conectados solo para las especies más móviles, interacción baja.
> 115	Aislado	5	Fragmentos aislados, se considera interacción nula o poco probable.

Fuente: Autores, 2018.

Tabla.11
Índice Prox para la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018. BOS (bosques y áreas seminaturales), TAG (Territorios Agrícolas) & TAR (Territorios artificializados)

COBERTURA	PROX								
	1985			2001			2018		
	Valor/calificación			Valor/calificación			Valor/calificación		
BOS	85,4	Parcialmente aislado	4	97,1	Aislado	5	80,9	Parcialmente aislado	4
TAG	113	Aislado	5	115	Aislado	5	36,5	Aislado	5
TAR	0	Conectado	1	111	Aislado	5	397	Medianamente conectado	3

Fuente: Autores, 2018.

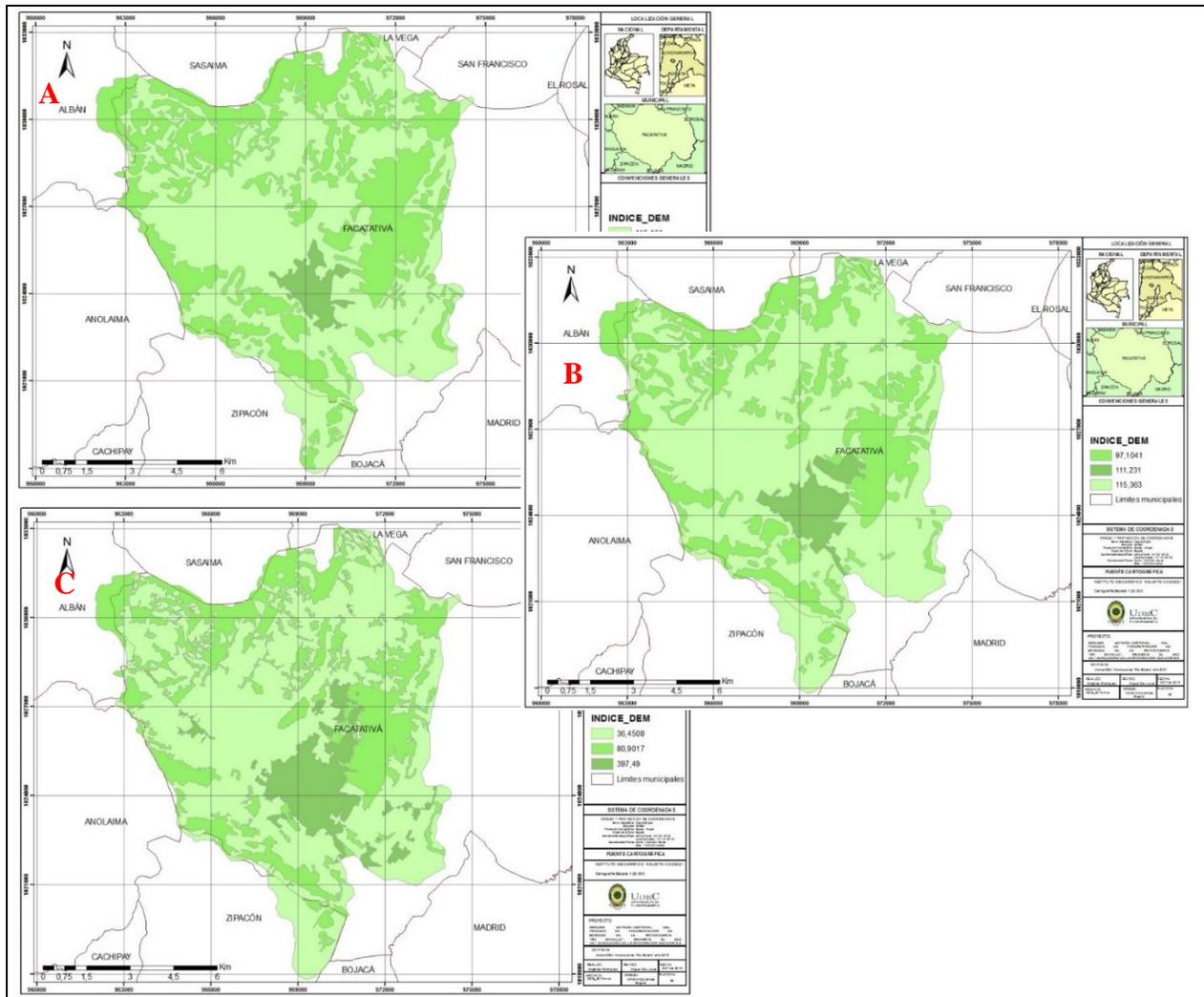


Figura 21. Métrica IndiFrag v2.1 (DEM) sobre la microcuenca “Rio Botello”. (A) 1985 (B) 2001 (C) 2018. Fuente: Autores, 2018.

11.4 Grado de fragmentación

Los procesos de fragmentación de la cobertura natural implican variaciones en el número, tamaño y densidad de los fragmentos en que se divide el paisaje, proceso que puede ser evaluado para detallar hasta donde el grado de fragmentación implica una alta transformación de las características originales de la microcuenca, para ello se valoró la sensibilidad de fragmentación, a través de la selección de los índices más relevantes: PLAND, AREA_MN, FRAC, PROX Y DEM. Para valorar cada índice se procedió a categorizarlos dentro de una escala de 1 a 5, donde uno (1) representa una sensibilidad muy baja o mínima, dos (2) sensibilidad media, tres (3)

sensibilidad moderada, cuatro (4) sensibilidad fuerte y cinco (5) representa una susceptibilidad Muy alta o extrema; una vez se totaliza la categorización por atributos se tiene que la mínima valoración por fragmento puede tener un valor de cinco (5) y la máxima un valor de veinticinco (25), posteriormente se calculan clases respetando el valor cuantitativo de la categoría, permitiendo así que el índice total del estado de fragmentación se encuentre dentro de una misma escala (Tabla.12). El resultado final de la sensibilidad a la fragmentación por suma de pesos se puede ver en la Tabla.13.

Tabla.12

Rangos grado de fragmentación de bosques sobre la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.

Rango	Grado de fragmentación
21-25	Insularizado
16-20	Altamente fragmentado
11-15	Fragmentado moderadamente
5-10	Sin fragmentación

Fuente: Autores, 2018.

Tabla.13

Grado de fragmentación de bosques sobre la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.

AÑO	PLAND	AREA_MN	FRAC	PROX	DEM	Suma de pesos	GRADO FRAGMENTACIÓN
						CALIFICACIÓN	
1985	3	5	1	4	4	17	Altamente fragmentado
2001	2	5	1	4	5	17	Altamente fragmentado
2018	2	5	1	5	4	17	Altamente fragmentado

Fuente: Autores, 2018.

Se evidencia que la microcuenca “Río Botello” desde el periodo 1985 ha presentado un estado altamente fragmentado (Tabla.13), en lo que respecta al periodo evaluado la variación no es significativa sin embargo, existe una micro fragmentación (al interior de las coberturas) traducido en procesos de transformación de estas.

11.5 Determinación de la transformación de coberturas para los periodos de estudio.

Las Figura 22 y Figura 23 muestran los mapas de coberturas correspondientes a los años 1985, 2001 y 2018, además del cambio a gran escala que se puede visualizar en cuatro puntos de control tomados para realizar la correspondiente comparación.

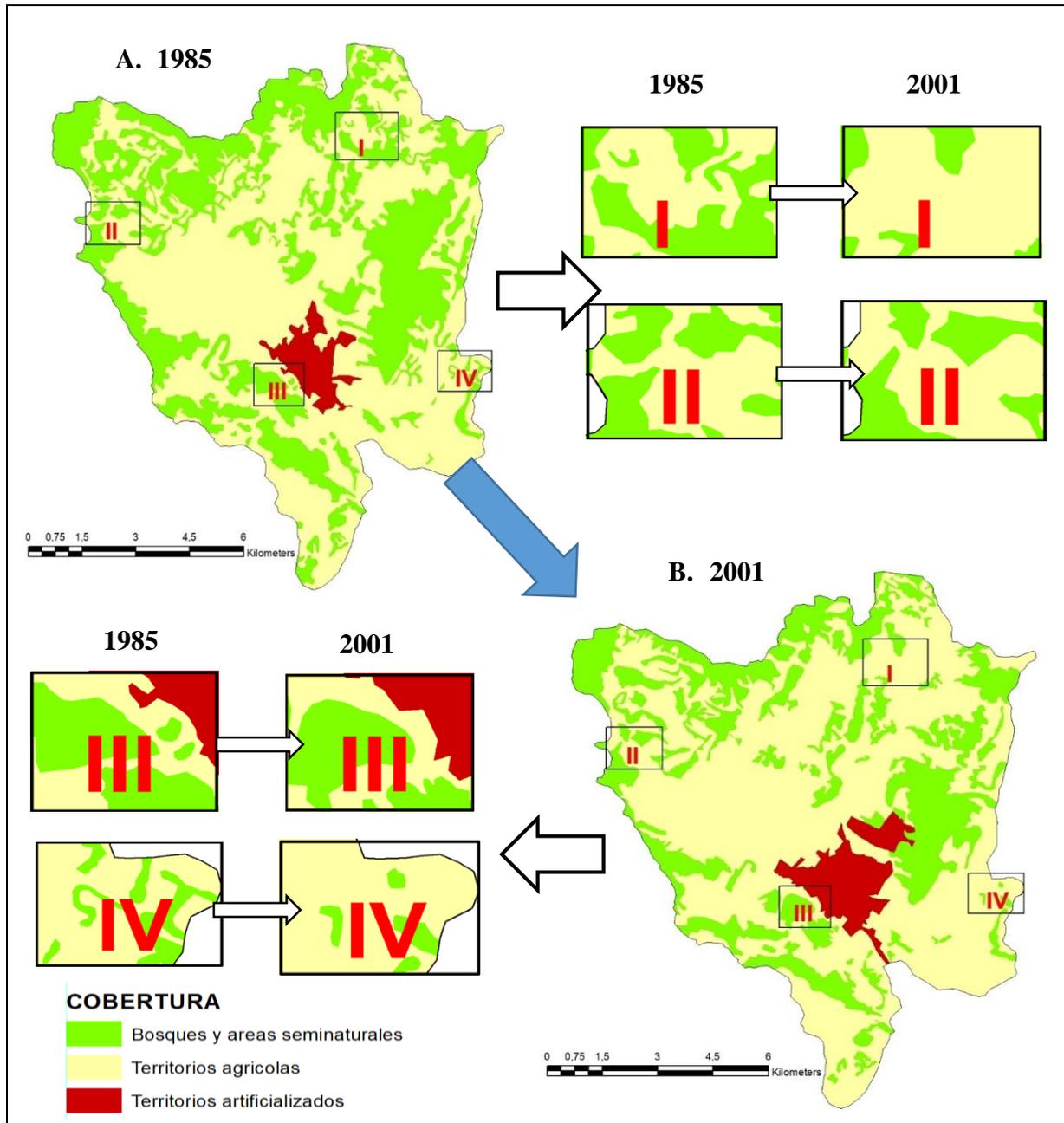


Figura 22. Cambio de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 1985 a 2001.

Fuente: Autores, 2018.

Los cuatro puntos de comparación se tomaron teniendo en cuenta el mayor cambio global percibido a través de los mapas de coberturas de la microcuenca, ya que más adelante, se realiza el análisis puntual de los cambios de cobertura en cuanto a pérdidas y ganancias, y se mencionan las transformaciones ocurridas a lo largo del tiempo de estudio.

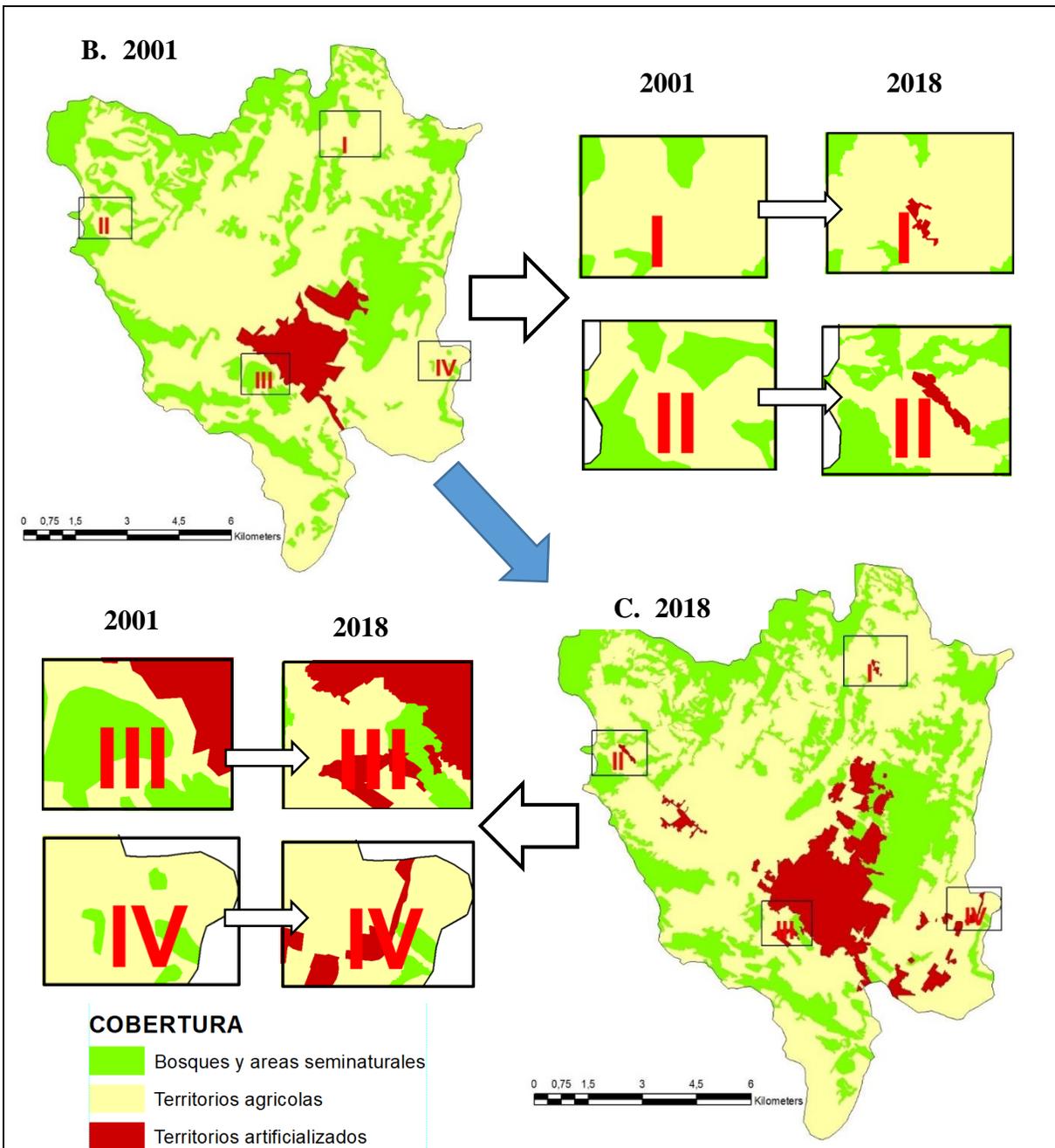


Figura 23. Cambio de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 2001 a 2018.

Fuente: Autores, 2018.

En la Figura 22 y la Figura 23 se observa que las características de la microcuenca cambiaron de acuerdo con la dinámica de las coberturas terrestres para cada año mencionadas en la sección anterior. Para el caso I correspondiente a la parte norte de la vereda Macilla del municipio de Facatativá, se observa que para el año 2001 desaparecieron aproximadamente el 70% de las coberturas de bosque presentes en esta zona en el año 1985, áreas que pasaron a ser principalmente agrícolas y para el año 2018 se observa la presencia de coberturas artificializadas para una pérdida total del 80% de bosque en la zona.

En el caso II correspondiente a la zona occidente de la vereda la tribuna del municipio de Facatativá, se observa una leve disminución del área de bosques y para el año 2018 la aparición de territorios artificializados, para una pérdida de hábitat o zona de bosque aproximada de 20% y el reemplazo por cobertura agrícola y artificializada. Por otro lado, en el caso III ubicado en la zona oriente de la vereda Pueblo Viejo, para el año 2018 se observa una reducción casi total de la cobertura de bosque presente en la zona en el año 1985 en donde aproximadamente el 65% de la cobertura de bosque fue reemplazada por territorios agrícolas y el 35% por territorios artificializados, además, se presenta en la zona central para el año 2018 una pequeña área que de territorio agrícola pasó a ser cobertura de bosque. Finalmente, para el caso IV, que se encuentra en la vereda Moyano, se observan en el año 1985 pequeños parches de bosque que fueron subdivididos para el año 2001 disminuyendo su área y reemplazados por coberturas artificializadas para el año 2018.

La tendencia para los cuatro casos muestra que coberturas de bosque homogéneos fueron subdivididos o separados en pequeños parches para el año 2001 y para el año 2018 algunos de estos parches fueron reemplazados por coberturas de tipo artificializadas como se menciona

anteriormente, de manera que aumenta el área de este tipo de coberturas por toda el área de la microcuenca durante los 33 años que se tomaron como periodo de estudio.

11.5.1 Matrices de cambio para los periodos de estudio.

Los cambios experimentados por las coberturas en los periodos analizados correspondientes a 1985-2001 y 2001-2018, se evidencian en las tablas Tabla.14 y Tabla.15 respectivamente, donde se encuentran las matrices de cambio, transición o tabulación cruzada. En estas matrices se proyectan las transformaciones que sufrieron las coberturas haciendo uso de la superposición de las capas de coberturas en el software ArcGIS correspondientes a los años estudiados, de esta manera se observa en la diagonal de cada matriz el área dada en hectáreas (ha) de coberturas que permanecieron constantes para cada transición, por otro lado, los valores que se encuentran fuera de la diagonal hacen referencia a las transformaciones que se dieron de una cobertura a otra cuantificada en hectáreas y así mismo, la sumatoria de las filas y las columnas reflejan el área total de cada cobertura para los años establecidos.

Tabla.14

Matriz de cambio de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 1985-2001.

Área (ha)		Mapa de coberturas CLCC Landsat LT05 2001			
Mapa de coberturas CLCC Landsat LT05 1985	Matriz de cambio	Bosques y áreas seminaturales	Territorios agrícolas	Territorios artificializados	Total 1985
	Bosques y áreas seminaturales	3.030,82	1.316,59	49,90	4397,31
	Territorios agrícolas	387,58	5.508,72	214,02	6.110,31
	Territorios artificializados	0	28,99	293,00	322,00
	Total 2001	3.418,40	6.854,32	556,89	10.829,63

Fuente: Autores, 2018.

Tabla.15

Matriz de cambio de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.

Área (ha)		Mapa de coberturas CLCC Landsat LT05 2018			
Mapa de coberturas CLCC Landsat LT05 2001	Matriz de cambio	Bosques y áreas seminaturales	Territorios agrícolas	Territorios artificializados	Total 2001
	Bosques y áreas seminaturales	2779,88	629,57	8,95	3418,40
	Territorios agrícolas	539,91	5890,17	424,23	6854,32
	Territorios artificializados	0	33,70	523,23	556,89
	Total 2018	3319,79	6553,45	956,40	10829,63

Fuente: Autores, 2018.

Con la información obtenida en las matrices de cambio se pudieron establecer para las categorías de coberturas CLCC, los valores de ganancia, pérdida, cambio total y cambio neto como se puede observar en la Tabla.16 para el periodo de 1985-2001 y en la Tabla.17 para el periodo de 2001-2018.

Tabla.16

Transformación de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 1985-2001.

Coberturas CLCC	ÁREA (ha)		Estable (ha)	Ganancia (ha)	Pérdida (ha)	Cambio Total (ha)	Cambio Neto (ha)
	1985	2001					
Bosques y áreas seminaturales	4397,31	3418,40	3030,82	387,58	1366,49	1754,07	-978,91
Territorios agrícolas	6110,31	6854,32	5508,72	1345,58	601,60	1947,18	743,98
Territorios artificializados	322,00	556,89	293,00	263,92	28,99	292,91	234,93

Fuente: Autores, 2018.

Tabla.17

Transformación de coberturas en la microcuenca Río Botello para el periodo 2001-2018.

Coberturas CLCC	ÁREA (ha)		Estable (ha)	Ganancia (ha)	Pérdida (ha)	Cambio Total (ha)	Cambio Neto (ha)
	2001	2018					
Bosques y áreas seminaturales	3.418,4	3319,79	2.779,88	539,91	638,52	1178,43	-98,61
Territorios agrícolas	6.854,32	6.553,45	5.890,17	663,27	964,14	1.627,41	-300,87
Territorios artificializados	556,89	956,40	523,23	433,17	33,70	466,87	399,47

Fuente: Autores, 2018.

El comportamiento espacio-temporal de las coberturas presentado del año 1985 a 2001 se puede interpretar de manera que, la categoría correspondiente a Territorios agrícolas es la que mayor porción de área representa en la cuenca para ambos años, seguida de la categoría de Bosques y áreas seminaturales y finalmente, la que menor porción de área representa es la categoría de territorios artificializados respondiendo a la dinámica establecida por los índices expuestos en la sección anterior. Los cambios o transformaciones se dieron en el orden de: Para Bosques y área seminaturales se observó una ganancia de 387,58 ha correspondientes a la transformación de Territorios agrícolas a Bosques, también se observa una pérdida de 1.366,49 ha, siendo esta la pérdida de área más significativa en este periodo, en donde 1.316,59 ha se transformaron en territorios agrícolas y 49,9 ha en Territorios artificializados, lo anterior se traduce en un cambio total de 1.754,07 ha para un cambio neto de -978,91 ha, siendo esta cobertura la única que presenta una pérdida de área para este periodo. Por otro lado, la segunda categoría de cobertura correspondiente a Territorios agrícolas se observa una ganancia de 1345, 58 ha que como se mencionaba para el caso anterior proviene en su mayoría (1.316,59 ha) de lo que anteriormente se tenían como Bosques y áreas seminaturales, se presenta también una pérdida de 601,6 ha, que corresponde al cambio de coberturas a Territorios artificializados y Bosques y áreas seminaturales en 214,02 ha y 387, 58 ha respectivamente; con esta información se obtiene un cambio total de 1.947,18 ha siendo la cobertura con mayor cambio total en este periodo y un cambio neto de 743,98 ha, igualmente siendo la cobertura con mayor cambio neto, básicamente por la cantidad de área ganada en este periodo. Por último, se presenta en la cobertura de Territorios artificializados la menor ganancia de área de 1985 a 2001 con 263,92 ha ganadas, conformadas por 50 ha de Bosques y 214,02 ha de Territorios agrícolas, por otro lado, una pérdida de 28 ha que corresponde a la transformación en territorios agrícolas, lo que representa un cambio total de 292, 91 ha y el menor

cambio neto de las tres categorías correspondiente a 234, 93 ha que se refleja principalmente en el área de Territorios agrícolas transformada.

Para el periodo de estudio de 2001-2018, se observa un comportamiento de la siguiente manera: Para la categoría de Bosques y áreas seminaturales se muestra una ganancia de 539,91 ha que corresponden a zonas transformadas de Territorios agrícolas, por otro lado, esta cobertura presentó una pérdida de 638,52 ha que se reflejan en un cambio neto de -98,61 ha, cambio que se dio principalmente porque en su mayoría (629,57 ha) se perdieron áreas de bosque y se transformaron en territorios agrícolas para el año 2018. Para el caso de los Territorios agrícolas se tiene la mayor ganancia de este periodo de estudio con 663,27 ha principalmente por la transformación de bosques en tierras agrícolas, sin embargo, se presenta también la mayor pérdida reflejada en 964,14 ha, razón por la cual se presenta el valor de cambio total más relevante y un cambio neto negativo de -300,87 ha, debido principalmente a la transformación en Bosques y territorios artificializados para el 2018. Finalmente, se observa para la categoría de Territorios artificializados una ganancia de 433,17 ha que representa la mayor parte del cambio total obtenido para el periodo de 2001 a 2018, por lo tanto, esta cobertura presenta el valor más relevante de cambio neto correspondiente a 399,47 ha, dado principalmente por la transformación de Territorios agrícolas a Territorios artificializados. Los resultados anteriores reflejan una variable importante y es el crecimiento dado durante el periodo de 1985 a 2001 del área de cobertura de territorios agrícolas, que se dio casi que, en su totalidad por la pérdida de bosques y áreas seminaturales, este fue el cambio más significativo dado en este periodo. Mientras que en el periodo de 2001 a 2018, no se observan pérdidas de área de bosques tan relevantes comparadas con el periodo anterior, lo que sí se observa es que la cobertura con mayor cambio neto en este periodo fue la categoría de Territorios

artificializados que tuvieron una ganancia de 433, 17 ha que se representan en su mayoría por la transformación de territorios agrícolas.

11.5.2 Análisis multitemporal del crecimiento de coberturas por periodo estudiado.

Como se menciona anteriormente, la cobertura con mayor cambio total para los dos periodos de estudio es la cobertura de Territorios artificializados, esto se refleja en los resultados obtenidos a través de la herramienta de análisis IndiFrag, en donde la velocidad de crecimiento anual (Ver Figura 24) para los dos casos fue mayor en la cobertura de Territorios agrícolas al alcanzar una velocidad de crecimiento anual de $0,841 \text{ km}^2/\text{año}$, para el caso de los bosques y áreas seminaturales se presentan velocidades de crecimiento para el periodo de 1985-2001 y 2001-2018 de $0,242 \text{ km}^2/\text{año}$ y $0,3285 \text{ km}^2/\text{año}$ respectivamente, para el caso de los territorios artificializados se tienen velocidades de $0,165 \text{ km}^2/\text{año}$ y $0,2657 \text{ km}^2/\text{año}$.

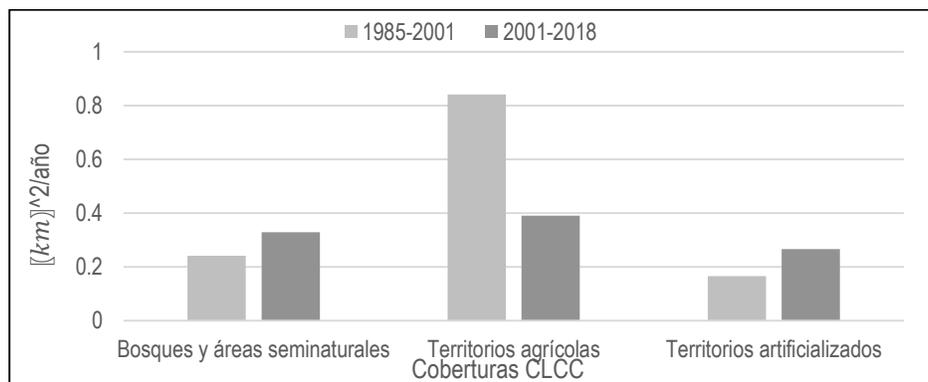


Figura 24. Velocidad de crecimiento anual para las coberturas CLCC en los periodos de estudio en la microcuenca Río Botello. Fuente: Autores, 2018.

Se debe tener en cuenta para el análisis de este parámetro que el software no considera las pérdidas de área para su cálculo, por lo tanto, la cobertura de Bosques y áreas seminaturales puede presentar una mayor velocidad de crecimiento que los territorios artificializados para ambos periodos, mientras que, en términos de área se debe recordar que esta cobertura presentó cambios netos negativos para ambos periodos.

11.5.3 Parámetros multitemporales para el periodo de estudio de 1985 a 2001.

11.5.3.1 Círculo concéntrico y análisis de sectores:

En la Figura 25 (A) se observan los parches de cambio global de Bosques y áreas seminaturales y su ubicación en zonas concéntricas respecto a un punto central de la microcuenca, se evidencia una concentración de parches de cambio a medida que se toma mayor del centro. Como se observa en la Figura 25 (C) se tienen picos de pérdida de área a aproximadamente 7 km de distancia del centro con 8,5 km² (8.500 ha) aproximadas, estas pérdidas se dan principalmente en el noreste y noroeste (Figura 25 (B)) de la microcuenca correspondientes a las veredas Mancilla y La tribuna respectivamente.

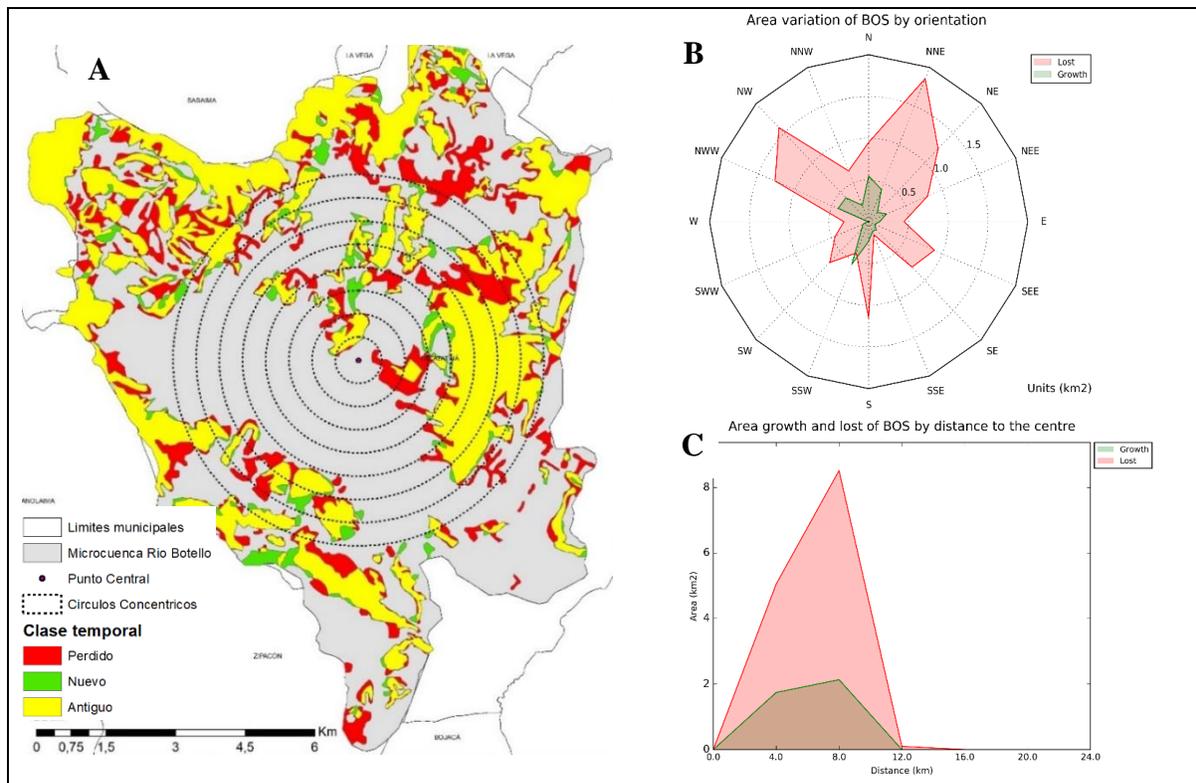


Figura 25. Cambio de Bosques y áreas seminaturales (BOS) en la microcuenca Río Botello para el periodo de 1985-2001. A) Cambios de clase temporal y círculos concéntricos con equidistancia de 500m. B) Orientación espacial de los principales cambios (Pérdida-Rojo y crecimiento-Verde) de la cobertura de Bosques y áreas seminaturales en donde el radio representa el área de cambio en km². C) Variación en el área de cobertura, el eje X representa la distancia desde el centro de la microcuenca y el eje Y representa el área total en km² para pérdida-rojo y crecimiento-verde. Fuente: Autores, 2018.

Para Territorios agrícolas se tienen los parches de cambio global (Figura 26 (A)) con pérdidas significativas ubicadas cerca del centro de la microcuenca (al alcanzar picos de 4 km^2 a una distancia aproximada del centro de 4 km), y con ganancias a mayor distancia se toma del centro, estas ganancias se dan por el orden de $7,5\text{-}8\text{ km}$ de distancia al centro (Figura 26 (C)) para alcanzar en esta transición a territorios agrícolas picos de 8 km^2 , ubicados al noreste, noroeste y sur (Figura 26 (B)) de la microcuenca respondiendo al comportamiento de pérdida de Bosques y áreas seminaturales presentado en estas zonas.

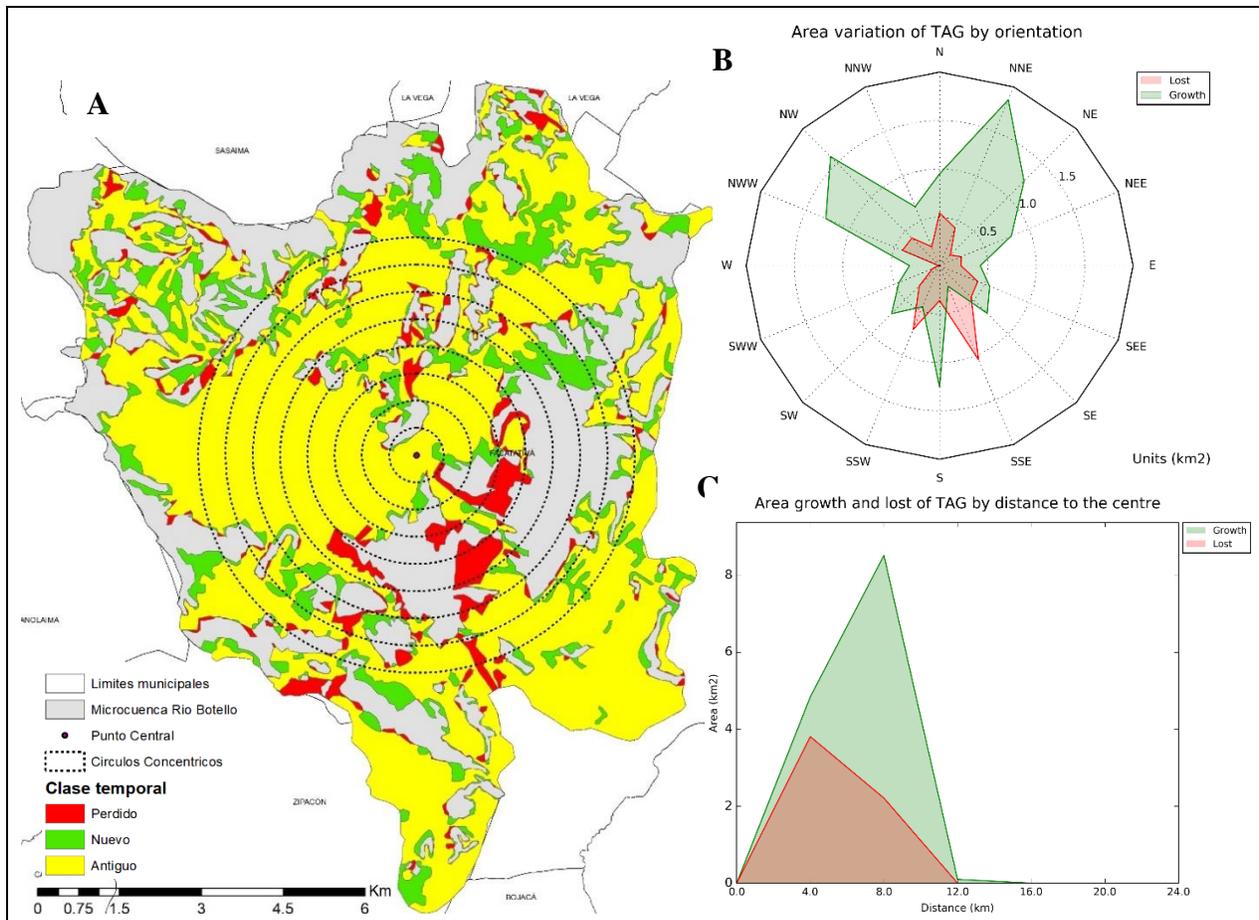


Figura 26. Cambio de Territorios agrícolas (TAG) en la microcuenca Río Botello para el periodo de 1985-2001. A) Cambios de clase temporal y círculos concéntricos con equidistancia de 500m. B) Orientación espacial de los principales cambios (Pérdida-Rojo y crecimiento-Verde) de la cobertura de Territorios agrícolas en donde el radio representa el área de cambio en km^2 . C)

Variación en el área de cobertura, el eje X representa la distancia desde el centro de la microcuenca y el eje Y representa el área total en km^2 para pérdida-rojo y crecimiento-verde.

Fuente: Autores, 2018.

Para el periodo de estudio de 1985 a 2001 en la cobertura de Territorios artificializados se observan los parches de cambio global (Figura 27 (A)) concentrados dentro de los círculos concéntricos más cercanos al centro en la zona sureste (Figura 27 (B)) de la microcuenca, se presentan ganancias aproximadas de 2,5 km² (Figura 27 (C)) correspondientes a las transición de territorios agrícolas a territorios artificializados, lo que justifica la pérdida observada en esas zonas del caso anterior.

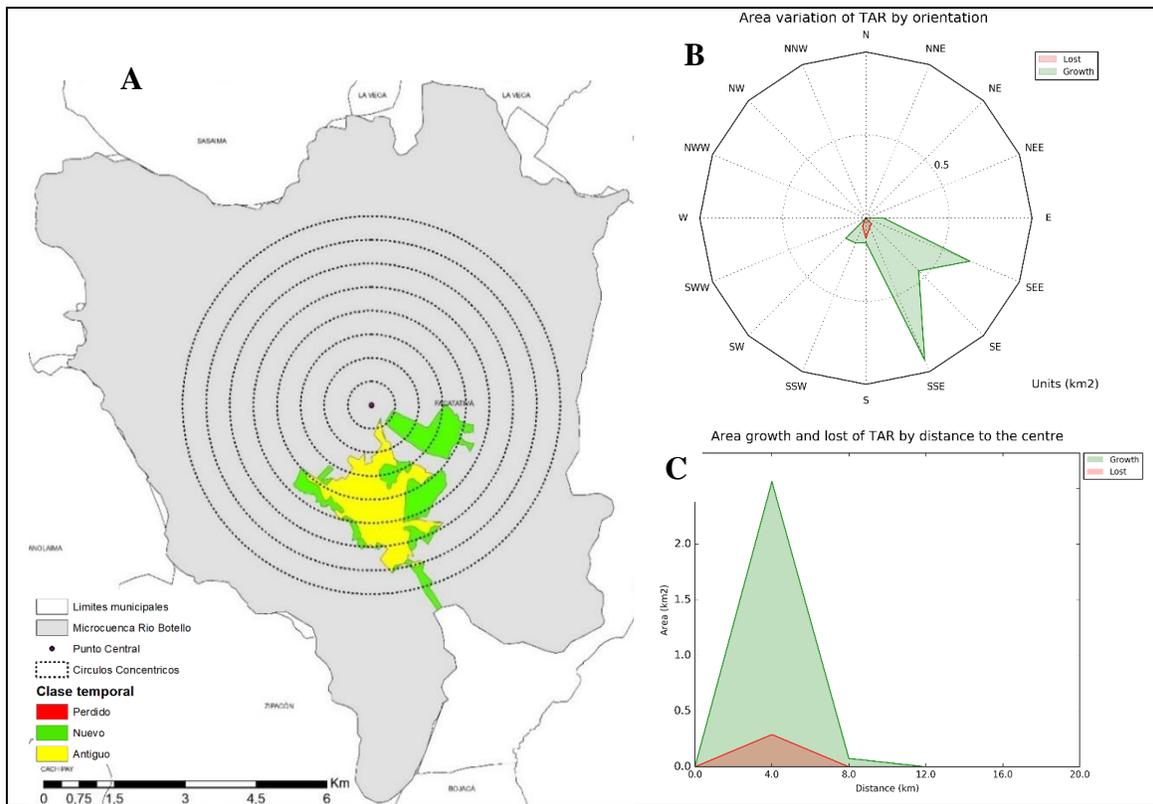


Figura 27. Cambio de Territorios artificializados (TAR) para el periodo de 1985-2001. A) Cambios de clase temporal y círculos concéntricos con equidistancia de 500m. B) Orientación espacial de los principales cambios (Pérdida-Rojo y crecimiento-Verde) de la cobertura de Territorios artificializados en donde el radio representa el área de cambio en km². C) Variación en el área de cobertura, el eje X representa la distancia desde el centro de la microcuenca y el eje Y representa el área total en km² para pérdida-rojo y crecimiento-verde. Fuente: Autores, 2018.

11.5.3.2 Índice de expansión (LEI):

Para el análisis de este índice se debe aclarar que los resultados de crecimiento total obtenidos no tienen en cuenta para su cálculo las pérdidas de superficie ocasionada por las diferentes transiciones de cobertura (Marta Sapena et al., 2015) como se mencionaba para el cálculo de la

velocidad de crecimiento, durante el periodo de 1985 a 2001. Razón por la cual para poder analizar el cambio absoluto se debe tener en cuenta las matrices de cambio y transformación anteriormente expuestas, en las cuales se plantea claramente la superficie de cambio producida entre las tres categorías de CLCC empleadas para el presente estudio. Estos cambios son representados espacialmente en las gráficas de expansión concéntrica, orientación espacial del cambio y variación espacial del área anteriores debido a su utilidad para cuantificar los cambios y conocer su distribución espacial.

Por otro lado, teniendo en cuenta las transiciones de coberturas anteriormente mencionadas y con los resultados obtenidos para el índice LEI (Índice de expansión) para el área total de la microcuenca, se presenta que el crecimiento de las coberturas (Figura 28) fueron principalmente de tipo relleno (*infilling*) y de tipo expansivo (*edge-expansive*). Para los territorios agrícolas se presentó en su mayoría un crecimiento de relleno, en el cual, los parches de bosques del año 1985 que se encontraban dentro, fueron rellenos total o parcialmente para formar un único parche (X. Liu et al., 2010) de territorios agrícolas. También se observa para esta cobertura un crecimiento de tipo expansivo, que se dio por el crecimiento de territorios agrícolas para el 2001 en la frontera de los territorios existentes en 1985. Esta cobertura no presenta crecimiento de tipo aislado (*outlying*) ya que como se observa en la Figura 26 (A) el cambio global en los territorios agrícolas se presentó a lo largo del área para el periodo de 1985 a 2001.

Para los Territorios artificializados se presenta el índice de expansión proporcional para los tres tipos de crecimiento, es decir que el parche territorios artificializados que existía en el 1985, presentó crecimiento expansivo al crecer en área a lo largo de sus bordes; de tipo relleno al hacer parte de él áreas de territorios agrícolas que se encontraban en forma de hueco a su alrededor y

aislado al pasar a tener un mayor número de parches en 2001 (Figura 27 (A)) en áreas donde no existía esta coberturas en 1985.

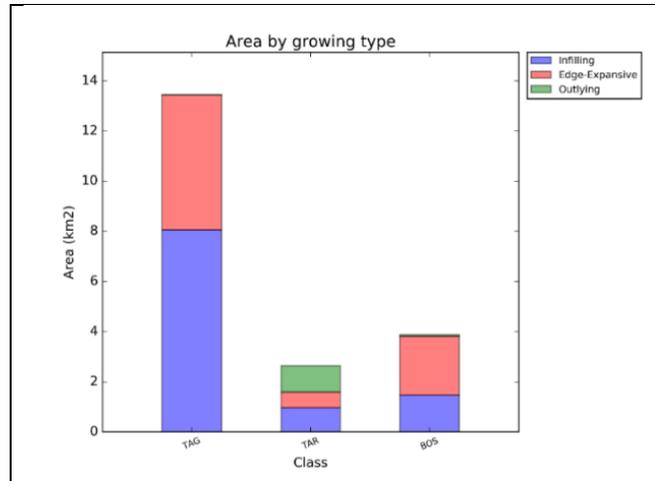


Figura 28. Área de crecimiento por clase para el periodo de 1985 a 2001 en la microcuenca Río Botello. (BOS=Bosques y áreas seminaturales, TAG= Territorios agrícolas, TAR= Territorios artificializados). Fuente: Figura resultado de modelación con el software IndiFrag, 2018.

Por otro lado, los Bosques y áreas seminaturales presentan solamente crecimiento expansivo y de tipo relleno como se observa en la Figura 28, al igual que los territorios agrícolas presentaron un crecimiento de tipo expansivo al aumentar en área su frontera y de relleno al hacer parte de su área pequeños parches de otras coberturas de 1985. Sin embargo, se tiene en cuenta que como se observa en la Figura 25 (C) el área de crecimiento que tuvo esta cobertura fue significativamente menor que sus pérdidas para el año 2001.

11.5.4 Parámetros multitemporales para el periodo de estudio de 2001 a 2018.

11.5.4.1 Círculo concéntrico y análisis de sectores:

A continuación, se observa en la Figura 29 (A) el cambio global de la cobertura de Bosques y áreas seminaturales, en el cual se evidencian las pérdidas más representativas a medida que se toma mayor distancia del centro en las zonas concéntricas. Estos cambios presentan los picos de pérdidas al igual que el periodo de estudio anterior a una distancia aproximada del centro de 7 km, con un

área de pérdida aproximada de 4 km² Figura 29 (C) comparativamente menor al pico de pérdida observado de 1985 a 2001. También se observa que la distribución espacial de las pérdidas de esta cobertura ahora predomina en la zona suroeste de la microcuenca Figura 29 (B), correspondiendo a las veredas Pueblo Viejo y Corito del municipio de Facatativá. Mientras que se observan ganancias importantes de área alrededor de la zona central (pico de 3 km²) con proporciones mayores en los sectores del noroeste al noreste de la microcuenca.

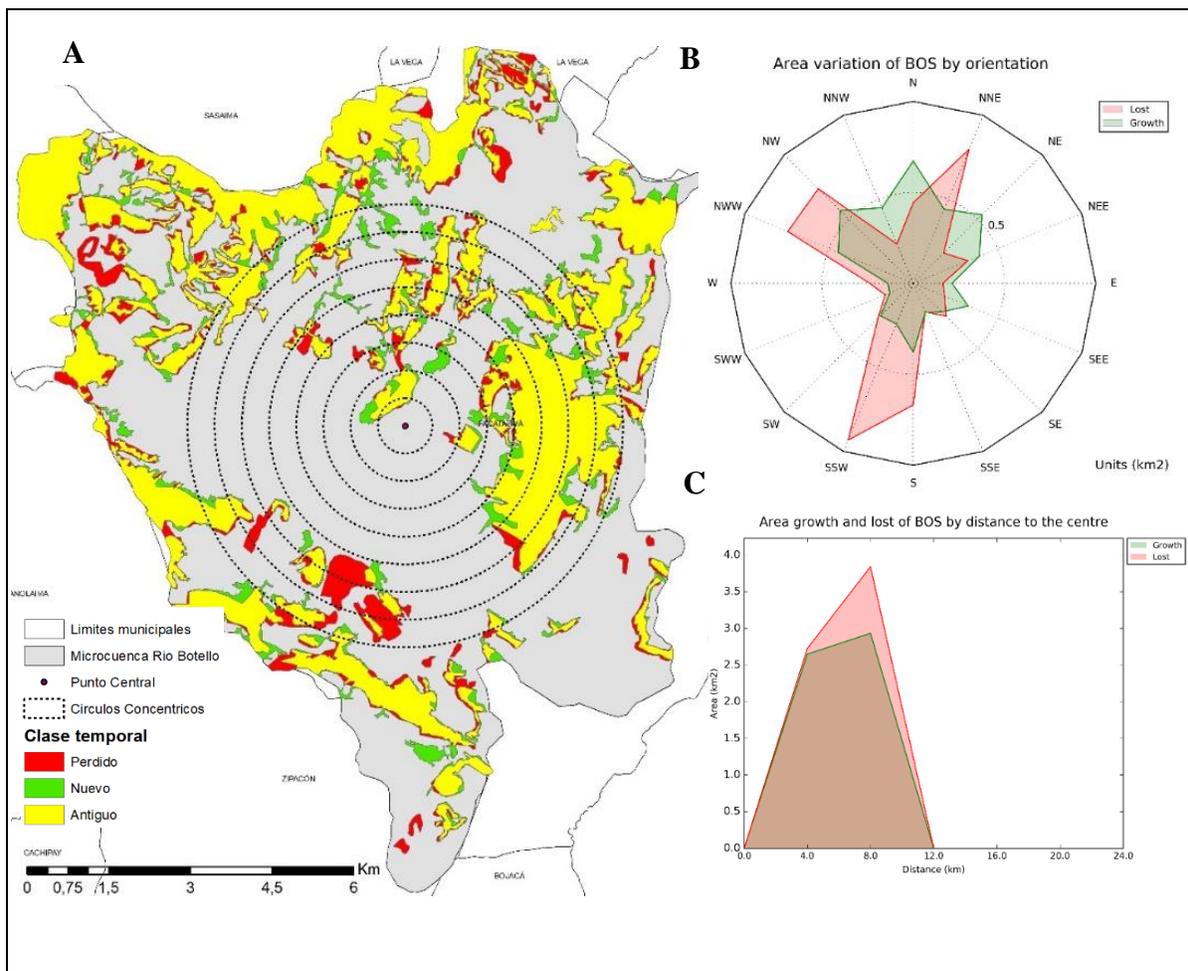


Figura 29. Cambio de Bosques y áreas seminaturales (BOS) en la microcuenca Río Botello para el periodo de 2001-2018. A) Cambios de clase temporal y círculos concéntricos con equidistancia de 500m. B) Orientación espacial de los principales cambios (Pérdida-Rojo y crecimiento-Verde) de la cobertura de Bosques y áreas seminaturales en donde el radio representa el área de cambio en km². C) Variación en el área de cobertura, el eje X representa la distancia desde el centro de la microcuenca y el eje Y representa el área total en km² para pérdida-rojo y crecimiento-verde. Fuente; Autores, 2018.

Para este periodo de estudio como se mencionaba en el análisis de la matriz de cambio de CLCC los Territorios artificializados presentaron pérdidas significativas a causa de la expansión urbana presentada en el municipio de Facatativá durante este periodo, cambio que se representa espacialmente en la Figura 30 (A), en donde se reflejan las mayores pérdidas en las zonas concéntricas más cercanas al centro, estas pérdidas presentan picos de $5,8\text{km}^2$ aproximadamente (Figura 30 (B)) y se orientan espacialmente en los sectores sureste y noreste de la microcuenca. Por otro lado, las ganancias que presentó esta cobertura respondiendo a la pérdida de área de bosques se dio en los sectores noreste, noroeste y en mayor medida en el sector suroeste del área de estudio.

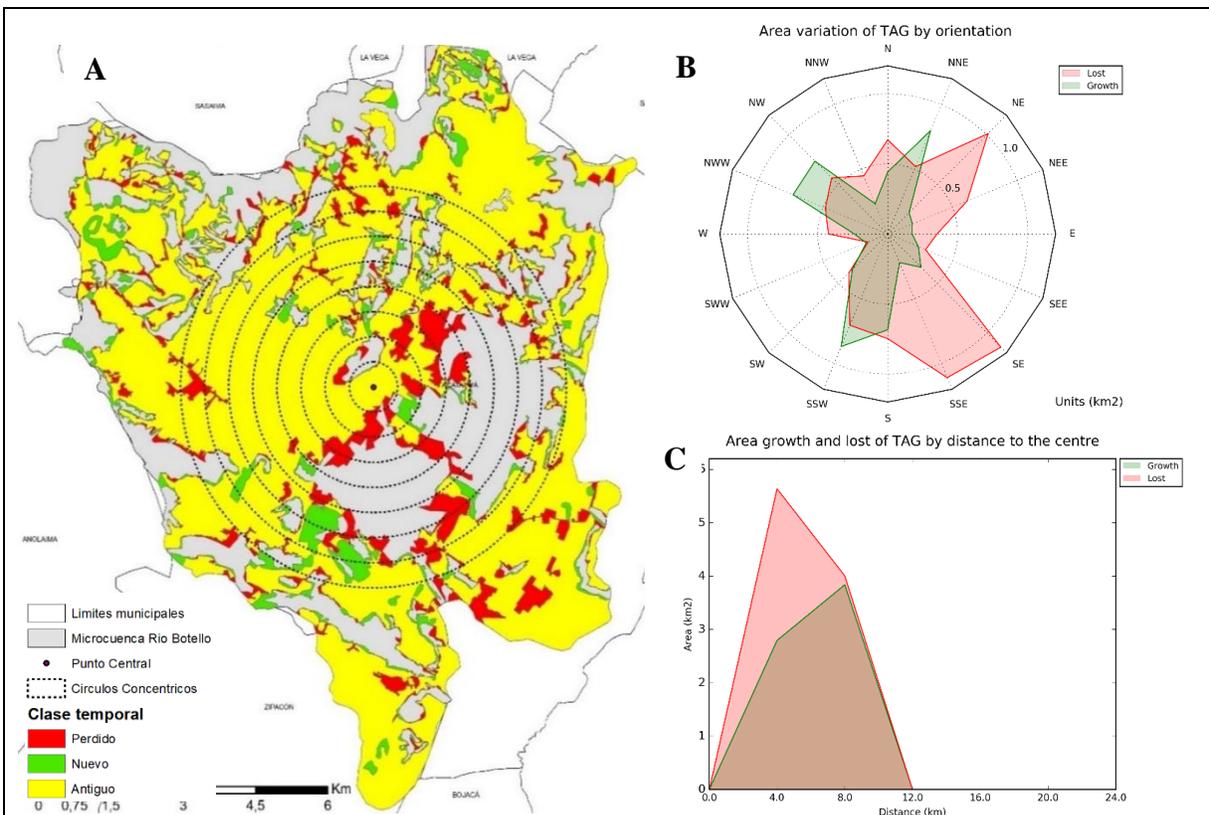


Figura 30. Cambio de Territorios agrícolas (TAG) para el periodo de 2001-2018. A) Cambios de clase temporal y círculos concéntricos con equidistancia de 500m. B) Orientación espacial de los principales cambios (Pérdida-Rojo y crecimiento-Verde) de la cobertura de Territorios agrícolas en donde el radio representa el área de cambio en km^2 . C) Variación en el área de cobertura, el eje X representa la distancia desde el centro de la microcuenca y el eje Y representa el área total en km^2 para pérdida-rojo y crecimiento-verde. Fuente: Autores, 2018.

Finalmente, el comportamiento espacial presentado por los Territorios artificializados en este periodo de estudio responde al comportamiento de las pérdidas principalmente de territorios agrícolas y una pequeña parte de bosques como se evidencia en las matrices de cambio, lo que se observa espacialmente en la Figura 31 (A), donde se observan áreas nuevas de esta cobertura en zonas destinadas anteriormente a actividades agrícolas o protección. El cambio se dio en las áreas concéntricas más cercanas al centro, obteniendo como resultado picos de crecimiento de área cercanos a $3,5\text{km}^2$ (Figura 31 (C)), cambios presentados en los sectores noreste y sureste principalmente de la microcuenca del Río Botello, respondiendo a la expansión del casco urbano del municipio de Facatativá anteriormente mencionada.

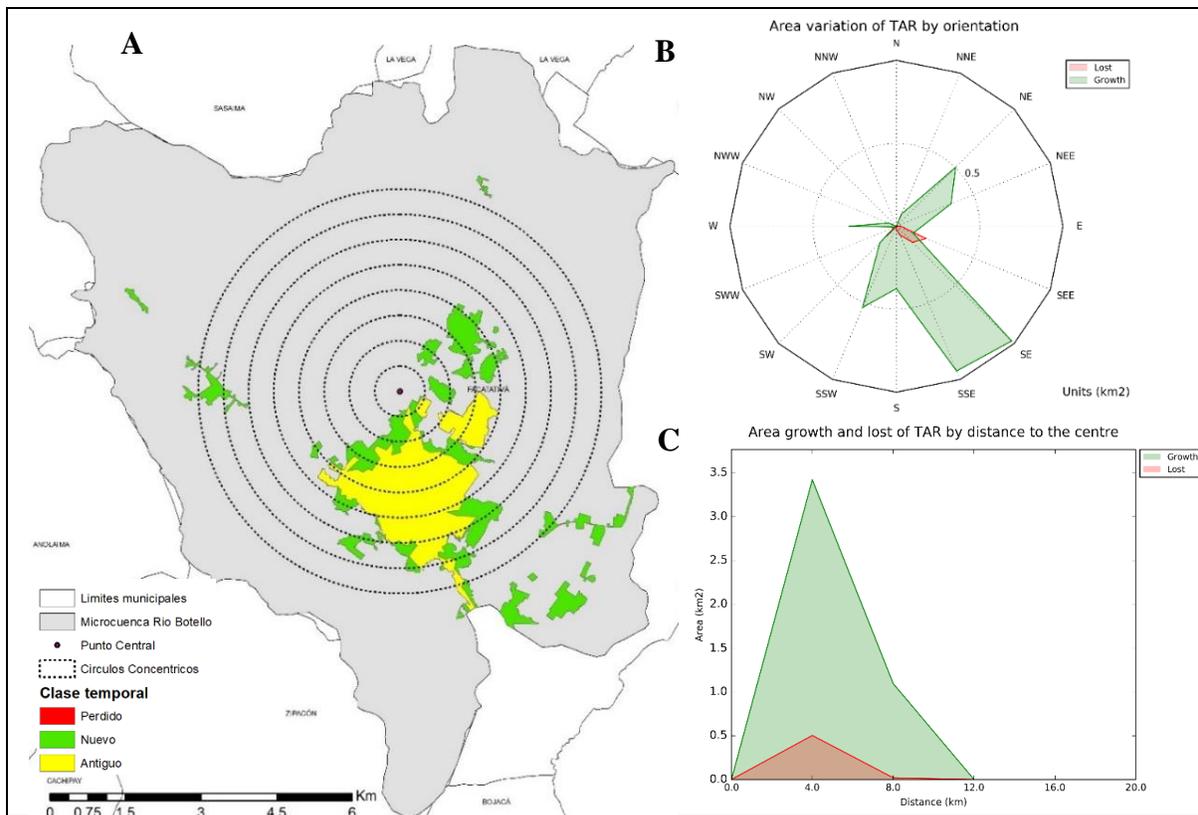


Figura 31. Cambio de Territorios artificializados (TAR) para el periodo de 2001-2018. A) Cambios de clase temporal y círculos concéntricos con equidistancia de 500m. B) Orientación espacial de los principales cambios (Pérdida-Rojo y crecimiento-Verde) de la cobertura de Territorios artificializados en donde el radio representa el área de cambio en km^2 . C) Variación en el área de cobertura, el eje X representa la distancia desde el centro de la microcuenca y el eje Y representa el área total en km^2 para pérdida-rojo y crecimiento-verde. Fuente: Autores, 2018.

11.5.4.2 Índice de expansión (LEI):

Para este periodo, teniendo en cuenta las transiciones de coberturas presentadas y los resultados obtenidos para el índice LEI (Índice de expansión), se observa para esta ocasión la presencia de los tres tipos de crecimiento (Figura 32), que fueron de tipo relleno (*infilling*), de tipo expansivo (*edge-expansive*) y mayor presencia para este periodo de estudio del tipo aislado (*outlying*). Para los territorios agrícolas se presentó en este periodo un mayor crecimiento de tipo expansivo, en contraste con el periodo de 1985 a 2001 que era de relleno; este tipo de crecimiento se da porque el área de amortiguamiento o área anterior de cobertura de territorios agrícolas se mezcla con el paisaje antiguo correspondiente a otras coberturas (X. Liu et al., 2010), que para este periodo al igual que anterior son las coberturas de bosques como se observa en la Figura 30 (A) que existían inicialmente (año 2001).

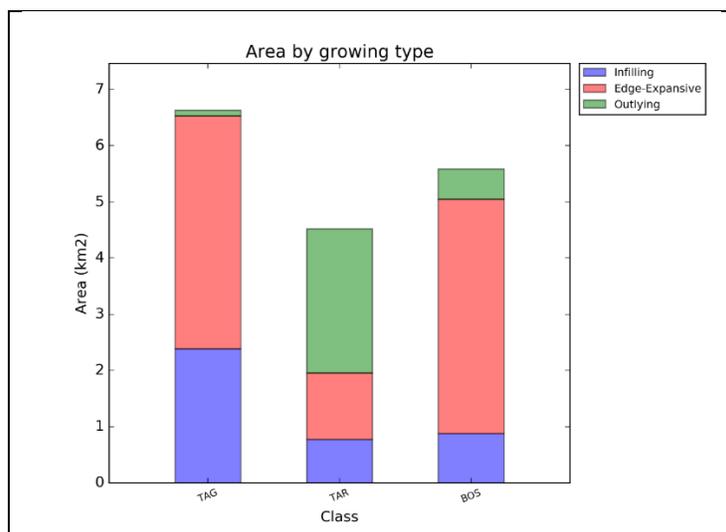


Figura 32. Área de crecimiento por clase para el periodo de 1985 a 2001 en la microcuenca Río Botello. (BOS=Bosques y áreas seminaturales, TAG= Territorios agrícolas, TAR= Territorios artificializados). Fuente: Figura resultado de la modelación con IndiFrag, 2018.

Para los Territorios artificializados, se presenta un mayor crecimiento de tipo aislado, esto dado a que los parches nuevos que se formaron para el año 2018 tuvieron un crecimiento dentro de un área amortiguadora compuesta por otras coberturas, que respondiendo a análisis anteriores se

conoce que eran territorios antiguamente agrícolas (Figura 31 (A)), sin embargo, en orden de magnitud presenta un crecimiento también de tipo expansivo, respondiendo a la expansión del casco urbano presentado en los últimos años por procesos de urbanización en el municipio de Facatativá.

Para el caso de los Bosques y áreas seminaturales, se observa en la *Figura 32* la presencia de los tres tipos de crecimiento (Relleno, aislado y expansivo), por otro lado, como se mencionaba anteriormente, este índice no considera las pérdidas de áreas ocasionadas, por lo tanto, a pesar de presentar los tres tipos de crecimiento, no se puede deducir por este índice que el área de esta cobertura haya aumentado, al contrario, como se muestra en las matrices de cambio de los dos periodos de estudio, las pérdidas de bosques fueron mayores que las áreas recuperadas en ambos casos. Sin embargo, se observa que las áreas de bosque que fueron recuperadas en este periodo tuvieron en mayor medida crecimiento expansivo que como se evidenciaba en la *Figura 29 (B)*, se dio principalmente en los sectores noreste a noroeste de la microcuenca.

12 Análisis

12.1 Coberturas actuales en la microcuenca Río Botello

Mediante la implementación de la metodología de clasificación de coberturas CLCC en la microcuenca Río Botello, se pudo establecer el porcentaje actual de las diferentes categorías de coberturas. Son los Territorios agrícolas quienes representan la mayor parte de la cobertura total, lo anterior se debe a que Facatativá tiene una economía fundamentalmente agrícola justificada en la gran fertilidad del suelo, además, por su ubicación, el municipio es alternativa de localización como centro de producción y suministro de alimentos para la capital del país (Beltran, 2014). Dentro de estas coberturas se incluyen los cultivos que tienen un ciclo vegetativo menor o igual a un año, en la microcuenca se encuentran este tipo de cultivos representados por la papa, el maíz y la fresa; los dos cultivos que tienen mayor representatividad son la papa con 5.460 ton y la fresa con 10.443 ton, con una participación de 0,4% y 12% respectivamente en Cundinamarca.

Por otro lado, se encuentran los cultivos permanentes caracterizados por los cultivos confinados bajo infraestructura de invernadero, en la microcuenca están representados por el cultivo de flores, los cuales son la principal fuente de empleo para los Facatativeños, desplazando a los cultivos tradicionales de productos agrícolas los cuales no encuentran fuentes de financiación para su mantenimiento (Beltran, 2014). Además, cabe resaltar que este tipo de cultivo genera diversos problemas a la salud y al medio ambiente por el uso de grandes cantidades de plaguicidas que se emplean para el cuidado y mantenimiento de las flores. Estos invernaderos al ser denominados como cultivos permanentes pasan a ser parte de la categoría de monocultivos que reducen la fertilidad progresiva del suelo y generan un desequilibrio ambiental en el lugar donde se cultiva (Niño, 2017).

Finalmente, dentro de la cobertura de Territorios agrícolas se evidenció la presencia de pastos, con mayor representatividad dentro de esta categoría, los cuales están constituidos por pastos nativos como el Hortortum, Rabo de Zorro, Llantén, Pajonales, y aquellos que son plantados como son Falsa poa, el Trébol, el Pasto kikuyo que fue introducido a inicios de 1930 y por su rudeza ahora es la matriz de cualquier suelo de la sabana y el Ryegrass introducido a Colombia en los años 20 por su aporte nutricional al ser empleado como heno para el ganado (Henao, 2014).

Para el caso de los bosques y áreas seminaturales, se debe tener en cuenta que constituyen la cobertura más importante para la infiltración, captación y acumulación de agua; generando suelos esponjosos y alta capacidad de regulación del contenido de humedad producido por un colchón de musgo, que forma una esponja que retiene el agua en épocas de lluvia y la libera progresivamente en épocas de sequía, alimentando los acueductos en temporadas de escases. Dentro de esta cobertura se encuentran los bosques densos y bosques abiertos, en donde predominan especies nativas como el Helecho, Palma boba, el Cariseco, el Trompeto, la Fagara, el Duraznillo, el Aliso, el Aguacatillo, el Laurel, el Cedro Nogal, el Roble, el Tuno, entre otros (Perfil ambiental de Facatativá, 2014). Estos se localizan en las laderas húmedas de los cerros circundantes (Noroeste) con pendientes moderadas por encima de los 2.700 m.s.n.m. Por otro lado, se encuentran los bosques fragmentados (territorios que presentan intervención antrópica), los cuales se pueden localizar a manera de mosaico sobre las extensiones de praderas y área de cultivo, y en las riberas de quebradas. Estos bosques permanecen en este estado debido a la presión existente provocada por la incursión de la explotación agropecuaria dentro del municipio, lo que produce graves daños en sus estratos medio y bajo, acompañado de la compactación de suelos y la pérdida de captación y retención de agua, que se refleja en la pérdida y/o desaparición de cobertura de bosques o fragmentación de estos. El último grupo de la cobertura de Bosques y áreas seminaturales son las

plantaciones forestales, que corresponden a las áreas destinadas a actividades de explotación a partir de la siembra de especies exóticas como eucaliptos y pinos, que se encuentran ampliamente distribuidos y en grandes proporciones en la microcuenca, debido a ello se han producido serios daños en los ecosistemas naturales a causa del desplazamiento de especies nativas por la disponibilidad de recursos para su desarrollo.

Por último, la cobertura de Territorios artificializados comprende las áreas de la cabecera municipal y aquellas áreas periféricas en el municipio que están siendo incorporadas en el proceso de urbanización gradual o cambio de uso de suelo con fines recreativos, comerciales, industriales o de servicios. Dentro de las zonas urbanizadas dentro del municipio se pueden encontrar lugares relevantes como el Parque Arqueológico “Piedras del Tunjo”, Parque San Rafael, Parque Lineal Corredor Férreo, Parque Lineal Transversal 15, Parque Embalses Gatillo, Parque Cementerio, Parque los Cerezos y el Estadio Municipal, conocidos en el municipio como parques de recreación tanto activa como pasiva. Las zonas de extracción minera son lugares donde se extraen materiales asociados con actividades de construcción, presentan una baja participación en el área de la microcuenca (0,1 %), sin embargo, según el POT del municipio estas áreas se han establecido sin ningún tipo de normatividad vigente debido a la falta de planes de manejo y control ambiental como lo es la Cantera de Cartagenita que es propiedad de la Gobernación.

12.2 Fragmentación de bosques en la microcuenca “Rio Botello”

Como se observa en los resultados, según el índice de fragmentación construido, la microcuenca “Rio Botello” desde el año 1985 se encuentra en un estado altamente fragmentado, a pesar de no haber sufrido altas variaciones en su estado de fragmentación durante los 33 años del periodo de estudio se evidencia una microfragmentación que se comporta de la siguiente manera:

El número de parches (NP) disminuyó y el índice del parche más grande (LPI) aumentó contrario a lo que se espera para el comportamiento normal de la fragmentación (S. Liu et al., 2014), sin embargo, el presentar una disminución del NP no indica una disminución en la fragmentación sino una pérdida de la población más sensible (Chapa Bezanilla, Sosa Ramírez, & Abraham, 2008) que se encontraba en los parche más pequeños, también se puede contrastar con que una indicación básica de la fragmentación de bosques es el aumento del número de parches con menor área (Çakir et al., 2007), ya que a pesar de que el índice del parche más grande en el año 2018 incremento 2% (del área total de la cobertura de bosques) con respecto a 1985 no hace referencia a que el área del parche más grande haya aumentado, por el contrario, su área disminuyó (20 Ha aproximadamente), lo que se pudo corroborar con los resultados para AREA_MN del parche la cual tuvo una disminución de 6 Ha promedio de 1985 a 2018. El resultado de este incide justifica el proceso de fragmentación detectado al sugerir que la cobertura de bosques se encuentra en un estado de inestabilidad, al ser albergue de especies que tienen alta posibilidad de desaparición generando un ambiente propicio para el proceso de microfragmentación o cambios internos en los parches.

Según los resultados de forma SHAPE, los fragmentos de bosque se volvieron más irregulares, es decir que la relación perímetro-área aumentó, consecuentemente hay mayor permeabilidad ante influencia de ambientes periféricos (Santos & Tellería, 2006) por la tanto, estos fragmentos de bosque de la microcuenca sufren un efecto borde mayor, lo cual conlleva a cambios en las condiciones biológicas y físicas que pueden alterar funciones en las especies que viven en los límites de los fragmentos. Este efecto borde causado por la fragmentación conduce a un aumento de la mortalidad de los arboles al cambiar el entorno para los bosques en los bordes en comparación con el área interior (Barros & Fearnside, 2016), como se puede evidenciar en los parches de bosque existentes en la microcuenca los cuales se ven afectados por la presión ejercida debido a

condiciones ambientales como la exposición a fuertes vientos, disminución de la humedad de los suelos, y factores antrópicos como la deforestación para expansión de la frontera agrícola, esta última es la transformación más representativa en el periodo de estudio seguida en menor medida por el proceso de urbanización.

Por otro lado, los resultados para la dimensión fractal (FRAC) arrojaron que las formas de las coberturas de bosque dentro de la microcuenca tienen una geometría simple, lo que está condicionado principalmente a las actividades antrópicas como las de tipo agrícola que se desarrollan en la microcuenca, actividades que están relacionadas con la representatividad de los diferentes usos del suelo, ya que según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, dentro del municipio de Facatativá se tiene mayor extensión en los suelos clase III con 43% (Tierras arables con capacidad para algunos cultivos) y el 27% son suelos clase II (Tierras arables con capacidad para cualquier tipo de cultivo) (Henao, 2014), lo que incentiva al desarrollo de cultivos generando tensión sobre las fronteras de los bosques. A pesar de ello estas formas compactas pueden facilitar la conservación de valores naturales internos ya que son más resistentes a efectos negativos que pueden afectar la dinámica de un ecosistema (Subirós et al., 2006).

El índice de proximidad mostró que la categoría de bosques y áreas seminaturales para el periodo 1985-2018 pasó de presentar una interacción baja a una poco probable entre parches de su misma categoría, esto debido a que dentro de la misma distancia pasaron a encontrarse en promedio, menor cantidad de vecinos de la misma clase. Por otro lado, el índice de distancia euclidiana media del vecino más cercano (DEM) presentó un comportamiento particular, en el cual de encontrarse en un estado de desagregación alta en el año 1985 paso al 2001 a un estado muy alto y para el 2018 se encuentra nuevamente en un estado de desagregación alta, este comportamiento puede obedecer a que, como este índice se calcula en función de la distancia desde el centro de un

parche hasta el centro de sus iguales cercanos, en la microcuenca parches que disminuyeron en área y desplazaron su centro (aumentando así el valor de distancia promedio a parches vecinos) para el periodo 1985-2001, en el periodo 2001-2018 sufrieron una disminución en área que llevó a su desaparición, por lo cual, estos parches que desaparecieron disminuyeron el valor de distancia promedio entre vecinos, al no generar valores de distancias extremas para el cálculo (desaparición de parches aislados).

Para un análisis de las transformaciones generadas se tienen en cuenta los resultados de área, porcentaje, pérdidas y ganancias, de manera que, el área total de las coberturas de bosque y áreas seminaturales como se observa en los resultados para CA y PLAND en 1985 era de 4.397 Ha y 41% respectivamente, dándose una transformación cuantificada en las matrices de cambio en donde para el año 2001 se presentó un cambio neto negativo de -978,91 Ha y para el 2018 de -98,61 ha, estas transformaciones se pueden visualizar gráficamente en el análisis por sectores y círculos concéntricos, que permiten determinar que el cambio neto presentado para el 2018 se dio a causa de que en el año 2002 según el POT se establecieron zonas de amortiguación de áreas protegidas y áreas de restauración, morfológica y rehabilitación, que como se evidenció en la disminución de áreas perdidas en los dos periodos comparados, fue una herramienta que mitigó la pérdida de bosques, pero que, sin embargo, no fue suficiente para cubrir en su totalidad las áreas de bosques perdidas en este periodo. Además, según el Perfil Ambiental de Facatativá dichas políticas han causado en el municipio la sustitución de amplias extensiones de bosque nativo por especies exóticas con la finalidad de obtener resultados visibles a corto plazo.

La dinámica presentada por las diferentes categorías de coberturas respondió a diferentes procesos que tuvieron lugar en el municipio de Facatativá para cada periodo además del mencionado anteriormente. Como es el caso de los territorios agrícolas, donde se tiene que el crecimiento

acelerado de esta cobertura genera conflictos de sobreutilización severa, ya que tierras de vocación forestal de protección y producción dentro del municipio de Facatativá han sido reemplazadas con pastos que dan a entender que estas áreas ahora presentan una vocación ganadera, situación que se repite para la mayoría de los conflictos de uso del suelo dentro del municipio (Figuroa, 2015). Y como se observa en el análisis por sectores este crecimiento se da en el noroeste y noreste de la microcuenca que corresponden a las veredas de Macilla y la Tribuna, las cuales por las características del suelo que favorecen el desarrollo de estas actividades son zonas de crecimiento agrícola intensivo establecidas por el POT. Este crecimiento responde a la velocidad de crecimiento anual obtenida, que alcanzó esta cobertura en el primer lapso del estudio que fue de $0,841 \text{ km}^2/\text{año}$, periodo en el cual se dieron los mayores cambios para las áreas de bosques existentes.

Por último, para los Territorios artificializados se encontró que el incremento de la demanda en los proyectos de construcción, es un factor detonante para los dos periodos, este comportamiento está ligado al crecimiento demográfico en la ciudad de Bogotá, ya que por la cercanía del municipio a la ciudad capital se dan procesos de desplazamiento de poblaciones (Figuroa, 2015) que se han visto reflejados en su mayoría en la última década. Además, el municipio de Facatativá en los últimos años ha albergado población provenientes de otros municipios del departamento ya sea por desplazamientos, fenómenos naturales o difíciles oportunidades de empleo. Estas personas llegan al municipio gracias al incremento de la oferta en la industria de flores, que como es conocido emplea masivamente mano de obra no calificada (Rubiano, 2010), razón por la cual los proyectos urbanísticos responden a la demanda de población que tuvo un incremento de 84.040 habitantes para los 33 años evaluados y sigue en aumento en el municipio.

Por otro lado, según el perfil ambiental del municipio de Facatativá en el 2014 se estableció, partiendo de las estimaciones de crecimiento de la población, que para el año 2020 se habrá utilizado el 100% y el 3% de más de la capacidad total que tienen estos territorios , con lo cual se prevé que para ese año la demanda de Facatativá no podrá cubrirse con el área actual, razón por la cual se puede esperar una mayor expansión de territorios artificializados en el municipio en los próximos años, lo que traerá consecuencias negativas para la preservación y disponibilidad de los recursos. Por lo tanto, se deben establecer planes de manejo y prevención de riesgos que enmarquen las áreas susceptibles a urbanización para evitar emergencias futuras por inundaciones, deslizamientos y falta de cobertura en servicios públicos.

Finalmente, se observa la influencia directa que tienen las actividades antrópicas en torno al río Botello y sus diferentes quebradas en los procesos de microfragmentación y degradación, principalmente por el establecimiento de actividades de tipo agrícolas, que afectan la calidad y la oferta del recurso hídrico prestado, lo que conlleva a disminuir la prestación de servicios en cuanto a necesidades básicas en el municipio de Facatativá (Monroy & Antonio, 2015).

13 Conclusiones

- La microcuenca “Rio Botello” al ocupar aproximadamente el 70% del área total del municipio de Facatativá, debe ser tomada en cuenta como una unidad de ordenamiento territorial base por lo que se recomienda la formulación de un plan de manejo por parte de la administración municipal y autoridades competentes como prioridad para la ejecución de proyectos y actividades de preservación, restauración y uso sostenible de la microcuenca. Lo anterior teniendo en cuenta que la normatividad colombiana considera necesaria su elaboración al momento en que se prevea o presente situaciones que desencadenen desequilibrios físicos, químicos o ecológicos, además cuando sea fuente abastecedora de acueductos como en este caso y se prevea la afectación a causa de fenómenos antrópicos como los mencionados en la presente investigación, lo anterior es establecido en el decreto 1640 de 2012.
- En la actualidad, solo 30% del área total de la microcuenca corresponde a bosques, de los cuales el 10% están fragmentados, el 19,5% presentan baja intervención antrópica y el 0,5% restante pertenece a plantaciones forestal. Razón por la cual se recomienda que las áreas de bosque fragmentado no sean intervenidas por actividades antrópicas de manera que su susceptibilidad a desaparecer no se incremente.
- El tratamiento que se le realiza a las imágenes satelitales en este tipo de estudios es de vital importancia ya que permite identificar de forma más asertiva las coberturas de la tierra.

- El nivel de detalle al que se quiere llegar al digitalizar coberturas depende de la resolución espacial de las imágenes satelitales como es el caso de un estudio multitemporal como en este caso donde la principal limitante fue la disponibilidad de imágenes con alta resolución para los dos primeros años de estudio; se recomienda apoyar la interpretación con información secundaria de manera que se asegure el menor error posible.
- Gracias a la comparación de los Softwares utilizados se observa una desventaja de FRAGSTATS frente a INDIFRAG debido a que al trabajar en formato ráster se generan limitaciones de escala y alta dependencia del tamaño del pixel en los resultados ya que el formato vectorial trabaja con relaciones topológicas y no se pierde la relación entre objetos de la misma clase ni las características espaciales y temporales de las coberturas identificadas.
- Las tecnologías de información geográfica como sensores remotos, Sistemas de Información Geográfica SIG, en la actualidad se han convertido en herramientas fundamentales para el análisis de procesos ecológicos como es la dinámica de la fragmentación de las coberturas de un territorio en aspectos fundamentales como orientación espacial, crecimiento anual y transformaciones, debido a su eficiencia y practicidad que permite su aplicación en diferentes campos.
- Con el análisis de los índices pertenecientes a la forma del parche se evidenció que la composición de las coberturas de bosques y áreas seminaturales en el periodo evaluado 1985-2018 poseen una forma geométrica compacta, lo que indica que son más efectivos en la

protección de recursos, manteniendo sus valores naturales por ello se recomienda desarrollar actividades de monitoreo para la protección de los parches de bosques existentes en la microcuenca ya que son necesarios para la conservación de los recursos.

- La microcuenca cuenta con un efecto de borde inestable, asociado a que posee un tamaño medio de parche “pequeño”, lo que se traduce en la reducción progresiva del tamaño de poblaciones mantenidas por cada uno de los fragmentos, aumentando el riesgo de que la fauna alcance un umbral debajo del cual su desarrollo sea inviable, por lo tanto, se recomienda el mantenimiento de la diversidad de las especies que dependen directamente de la conservación de los bosques especialmente los límites siendo los más susceptibles a desaparecer.
- La proximidad que se presenta entre la cobertura de bosque y los territorios agrícolas generan un efecto borde por el aprovechamiento agrícola intensivo. en la medida en que provoca contaminación del suelo por el uso de fertilizantes, la ocurrencia de plagas, la alteración del hábitat natural de diversas especies, por lo cual, se amenaza directamente la variabilidad genética de las que aún se conservan en los fragmentos, como la Tinaja, el perezoso de tres uñas, el armadillo de nueve bandas y el colibrí rutilante.
- Gracias al análisis de círculos concéntricos y orientación por sectores, se permitió establecer que los sectores en los cuales se presentaron los mayores cambios en la cobertura de Bosques (1895-2018) fue en el noroeste y noreste de la microcuenca, correspondiendo a las veredas de

Macilla y la tribuna las cuales actualmente corresponden a zonas de desarrollo agrícola intensivo dentro de POT del municipio que por sus condiciones topográficas son zonas adecuadas para el desarrollo de estas actividades.

- El análisis mediante la implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió conocer en un periodo de 33 años el proceso de fragmentación al cual fueron sometidos los bosques y áreas seminaturales de la microcuenca, esto a causa de procesos como la expansión de la frontera agrícola, reflejada en los conflictos de sobreutilización actuales en el territorio, para así cuantificar el cambio neto y las pérdidas de área total que sufrieron estas coberturas, así como el cambio global reflejado en la variación del número de parches, en la disminución de la cobertura de bosque y en general, la heterogeneidad del paisaje evidenciado en los mapas de coberturas donde se observa a nivel espacial un dominio de la matriz de territorios agrícolas en la microcuenca.

14 Recomendaciones

- Según los resultados obtenidos, la cobertura CLCC correspondiente a Bosques y áreas seminaturales fue la cobertura que presentó mayor cambio neto negativo para el periodo total de estudio de 1985 a 2018 con 1077, 52 ha pérdidas durante los 33 años, es importante resaltar que de éstas 1.018,08 ha es decir casi el 95% fueron la transformación de áreas de bosque a territorios empleados para actividad agrícola, el 5% restante fue transformado en territorios artificializados. Por lo tanto, se recomienda tener en cuenta las especies más adecuadas para el manejo forestal, ya que de no realizarse de manera apropiada puede generar resecaamiento, esterilización, desecación de humedales, zonas de nacederos y captación de agua, pérdida de la capacidad de los suelos para infiltrar y retener agua, acumulación de gruesas capas de hojarasca que difícilmente se descomponen impidiendo alelopatías quedando expuesto el suelo a la acción de los factores meteorológicos, lo cual resulta en erosión de diferentes grados.
- Se recomienda dentro de los planes de ordenamiento del territorio y planes de desarrollo próximos para el municipio establecer un mayor número de hectáreas para amortiguamiento y protección debido a que las actividades de recuperación establecidas a pesar de que han sido una herramienta importante para evitar la disminución de áreas de bosque en la microcuenca evidenciado en los resultados para el segundo periodo de estudio, aún es mayor el número de hectáreas perdidas que de recuperadas.
- Teniendo en cuenta la importancia de la comprensión del proceso de fragmentación de bosques que ahora tiene mayor relevancia en el ordenamiento y planificación del territorio a nivel mundial, se recomienda emplear los resultados de esta investigación como base en la

identificación de zonas de interés para diseñar estrategias de conservación y áreas vulnerables para la prevención de riesgos en el municipio.

15 Referencias

- Acuña, C. (2010). Identificación de áreas prioritarias de conservación enfocadas hacia la conectividad estructural del corredor encenillo. *Pontificia Universidad Javeriana*, 1–113.
- Agencia Nacional de Regulación Control y Vigilancia Sanitaria. (2005). Guía de Usuario- IndiFrag v2.1. *Manager*, (Julio), 1–64.
- Barros, H. S., & Fearnside, P. M. (2016). Soil carbon stock changes due to edge effects in central Amazon forest fragments. *Forest Ecology and Management*, 379, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.002>
- Beltran, J. R. A. G. D. R. B. R. (2014). La economía de Facatativa. *Universida Minuto de Dios*, 561–563.
- Bizama, G., Torrejón, F., Aguayo, M., Muñoz, M. D., Echeverría, C., & Urrutia, R. (2011). Perdida y fragmentacion del bosque nativo en la cuenca del río Aysen (patagonia-chile) durante el siglo xx. *Revista de Geografía Norte Grande*, 138(49), 125–138. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000200008>
- Çakir, G., Sivrikaya, F., & Keleş, S. (2007). Forest cover change and fragmentation using Landsat data in MaÇka State Forest Enterprise in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 137(1–3), 51–66. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9728-9>
- Carranza, M. L., Hoyos, L., Frate, L., Acosta, A. T. R., & Cabido, M. (2015). Measuring forest fragmentation using multitemporal forest cover maps: Forest loss and spatial pattern analysis in the Gran Chaco, central Argentina. *Landscape and Urban Planning*, 143, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.006>
- Chakraborty, A., Ghosh, A., Sachdeva, K., & Joshi, P. K. (2017). Characterizing fragmentation trends of the Himalayan forests in the Kumaon region of Uttarakhand, India. *Ecological Informatics*, 38, 95–109. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.12.006>
- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Chapa Bezanilla, D., Sosa Ramírez, J., & Abraham, A. A. (2008). Estudio multitemporal de fragmentación de los bosques en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Madera y Bosques*, 14(1), 37–51. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v14n1/v14n1a4.pdf>
- Cormagdalena, FFEM, O. international. (2015). Adaptación de la metodología “Corine Land Cover” para Colombia y producción de la cobertura “Corine Land Cover Colombia” para la cuenca del río Magdalena – Cauca. *Adaptación de La Metodología “Corine Land Cover” Para Colombia y Producción de La Cobertura “Corine Land Cover Colombia” Para La Cuenca Del Río Magdalena – Cauca.*, 1, 1–27. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Da Ponte, E., Roch, M., Leinenkugel, P., Dech, S., & Kuenzer, C. (2017). Paraguay’s Atlantic Forest cover loss – Satellite-based change detection and fragmentation analysis between 2003 and 2013. *Applied Geography*, 79, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.005>
- De León, G. D., Pinedo, A., & Martínez, J. H. (2015). APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS EN EL ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE EN CUCHILLAS DE LA ZARCA, MÉXICO. *Investigaciones Geográficas*, 0(84). <https://doi.org/10.14350/rig.36568>
- Dinerstein, E., Olson, D., Graham, D., Webster, A., Primm, S., Bookbinder, M., & Ledec, G. (1995). *Aconservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean*.

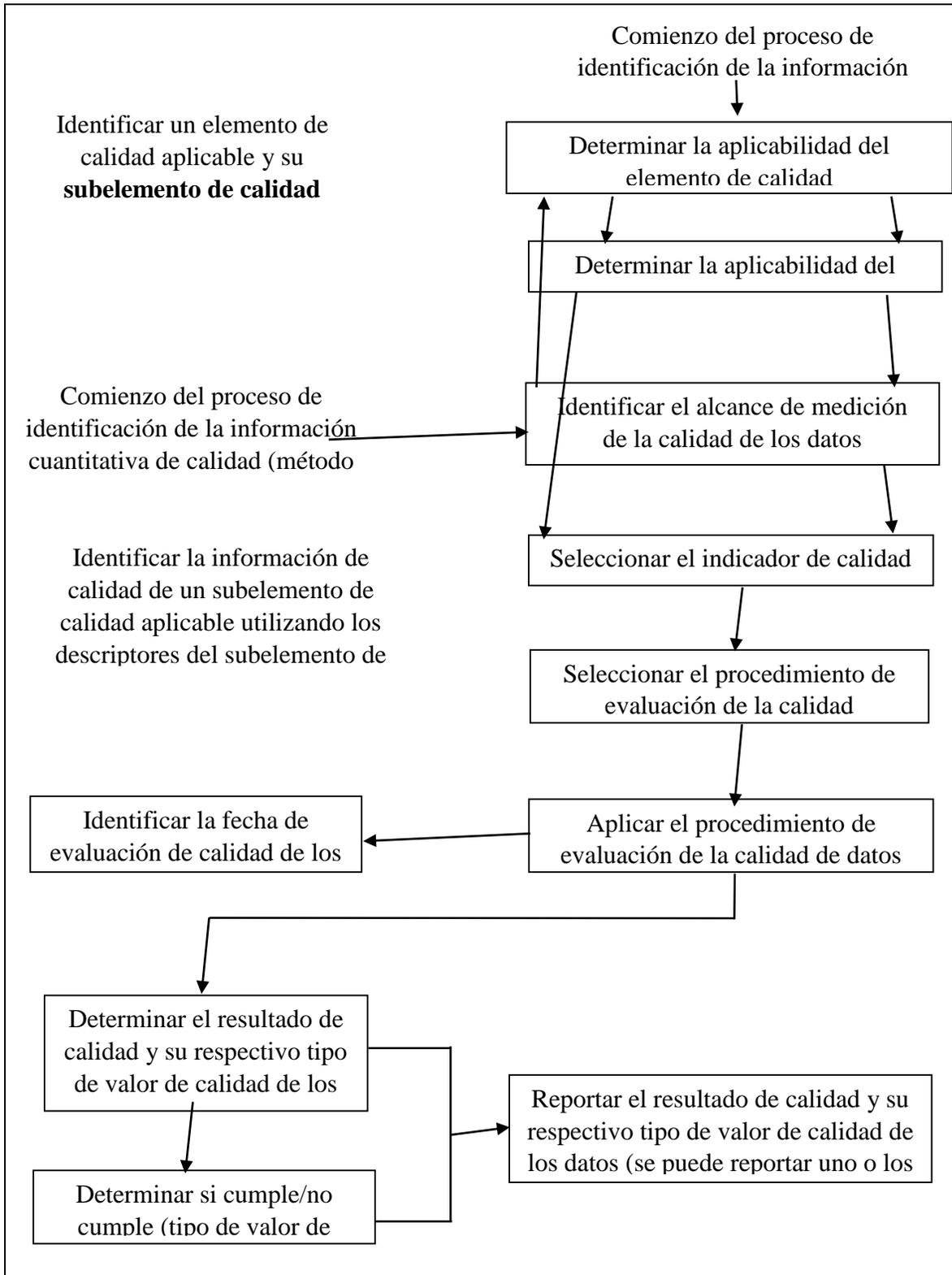
- FACATATIVA, A. M. DE. (2002). Plan de ordenamiento territorial 2001-2021 Facatativa.
- FAO. (2016). Estado de los bosques del mundo, 50.
- Figueroa, E. (2015). EVLUACION DEL ESTADO DE LOS CONFLICTOS DEL USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOTELLO DEL MUNICIPIO DE FACATTIVA.
- García, G., Trejo, I., & Sánchez, M. E. (2016). Foliar diseases in a seasonal tropical dry forest: Impacts of habitat fragmentation. *Forest Ecology and Management*, 369, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.043>
- Geraldi, A. M., Piccolo, M. C., & Perillo, G. (2010). Delimitacion y estudio de cuencas hidrograficas con modelos hidrológicos, (52), 215–225.
- Gomez, A., Anaya, J., & Alvares, E. (2005). Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central de los andes colombianos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4(5), 13–27. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/750/75004702.pdf>
- Gomez, A., Anaya, J., Alvares, E., Gómez, A., Anaya, J., & Alvarez, E. (2005). Análisis De Fragmentación De Los Ecosistemas Boscosos En Una Región De La Cordillera Central De Los Andes Colombianos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4(7), 13–27. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2005.v160.36>
- Gurrutxaga San Vicente, M., & Lozano Valencia, P. J. (2006). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Polígonos Revista de Geografía*, 16, 35–54. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i16.410>
- Henao, A. (2014). Capitulo 4 Reconocimiento Físico del Territorio. In I. Habitat (Ed.), *Habitat integral* (pp. 1–78). Facatativa.
- Herrerías, Y., & Benítez, J. (2005). Temas sobre ecológica. *Temas Sobre Restauración Ecológica*, (05), 113–126. Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=7oZix0puXbgC&oi=fnd&pg=PA7&dq=Temas+sobre+restauración+ecológica&ots=ZOgeqVIsZE&sig=9lpW17rbeuQMqbV8c6G-QVpATiY>
- Heuvelop, J., Pardo, T., Quierós, S., & Espinoza, L. (1986). *Agroclimatología Tropical* (EUNED). Costa Rica. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=DD05AfVeRs0C&pg=PR9&lpg=PR9&dq=Heuvelop,+Agroclimatología+tropical&source=bl&ots=bCXhTlgQfR&sig=mrS7EYqKRko8nzWcKZUoUJKlrQg&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiohfOxrOHTAhWIEsYKHZRiDO4Q6AEIITAA#v=onepage&q=Heuvelop%2C%20Agro>
- ICONTEC. (2002). NTC 5043 Conceptos básico de calidad de los datos geográficos.
- ICONTEC. (2010). NTC 5660 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD. PROCESOS Y MEDIDAS.
- IDEAM, IGAC, & CORMAGDALENA. (2008). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de la Magdalena (Vol. 1).
- Kadioğulları, A. I. (2013). Assessing implications of land use and land cover changes in forest ecosystems of NE Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(3), 2095–2106. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2691-0>
- Li, S., & Yang, B. (2015). Introducing a new method for assessing spatially explicit processes of

- landscape fragmentation. *Ecological Indicators*, 56, 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.031>
- Liu, S., Dong, Y., Deng, L., Liu, Q., Zhao, H., & Dong, S. (2014). Forest fragmentation and landscape connectivity change associated with road network extension and city expansion: A case study in the Lancang River Valley. *Ecological Indicators*, 36, 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.018>
- Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S., & Ai, B. (2010). A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 25(5), 671–682. <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9454-5>
- Liu, Y., Feng, Y., Zhao, Z., Zhang, Q., & Su, S. (2016). Socioeconomic drivers of forest loss and fragmentation: A comparison between different land use planning schemes and policy implications. *Land Use Policy*, 54, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.01.016>
- McGarigal, K. (2015). FRAGSTATS HELP. *Department of Environmental Conservation*, (April), 1–8. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201200111>
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. (2014). Guía Técnica para la formulación de los POMCAS, 104.
- Monroy, E., & Antonio, A. (2015). Modelación hidrodinámica y determinación de la calidad del agua en el río Botello , Facatativá , Cundinamarca , Colombia Hydrodynamic modeling and determination of the water quality in the river Botello , Facatativá ,. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 169–184.
- Morales, M., & Armenteras, D. (2013). Estado De Conservación De Los Bosques De Niebla De Los Andes Colombianos, Un Análisis Multiescalar. *Boletín Científico - Centro de Museos - Museo de Historia Natural*, 17(1), 64–72.
- Morlans, M. C. (2013). Estructura del paisaje (Matriz, parches, bordes, corredores) sus funciones fragmentacion del habitat y su efecto borde. *Área Ecológica*, 2–12.
- Niño, A. (2017). FACTORES CRÍTICOS Y DE ÉXITO EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE LOS MUNICIPIOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE BOGOTÁ. *Colegio Mayor Nuestra Señora Del Rosario*, 1(1), 1188–1197. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02280.x>
- Paruelo, J., Guerschman, J., & Verón, S. (2005). Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy*, 15(87), 14–23. Retrieved from [http://ced.agro.uba.ar/gran-chaco/sites/default/files/pdf/sem6/Paruelo et al 2005.pdf](http://ced.agro.uba.ar/gran-chaco/sites/default/files/pdf/sem6/Paruelo%20et%20al%202005.pdf)
- Quiasua, A., Corredor, Z., & Sánchez, D. (2016). ANALISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURAS DE LA LOCALIDAD CIUDAD BOLIVAR CON TECNOLOGIA CLASlite. *Semillas Ambientales*, 10(2), 38–45.
- Reddy, C. S., Sreelekshmi, S., Jha, C. S., & Dadhwal, V. K. (2013). National assessment of forest fragmentation in India: Landscape indices as measures of the effects of fragmentation and forest cover change. *Ecological Engineering*, 60, 453–464. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.064>
- Ren, X., Lv, Y., & Li, M. (2017). Evaluating differences in forest fragmentation and restoration between western natural forests and southeastern plantation forests in the United States. *Journal of Environmental Management*, 188, 268–277. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.068>
- Reyes, A; Ulises, F. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. (Universidad del valle, Ed.). Retrieved from <http://www.librosyeditores.com/tiendalemoine/ingenieria-ambiental/452-guia-basica-para-la-caracterizacion-morfometrica-de-cuencas-hidrograficas-9789586708555.html>

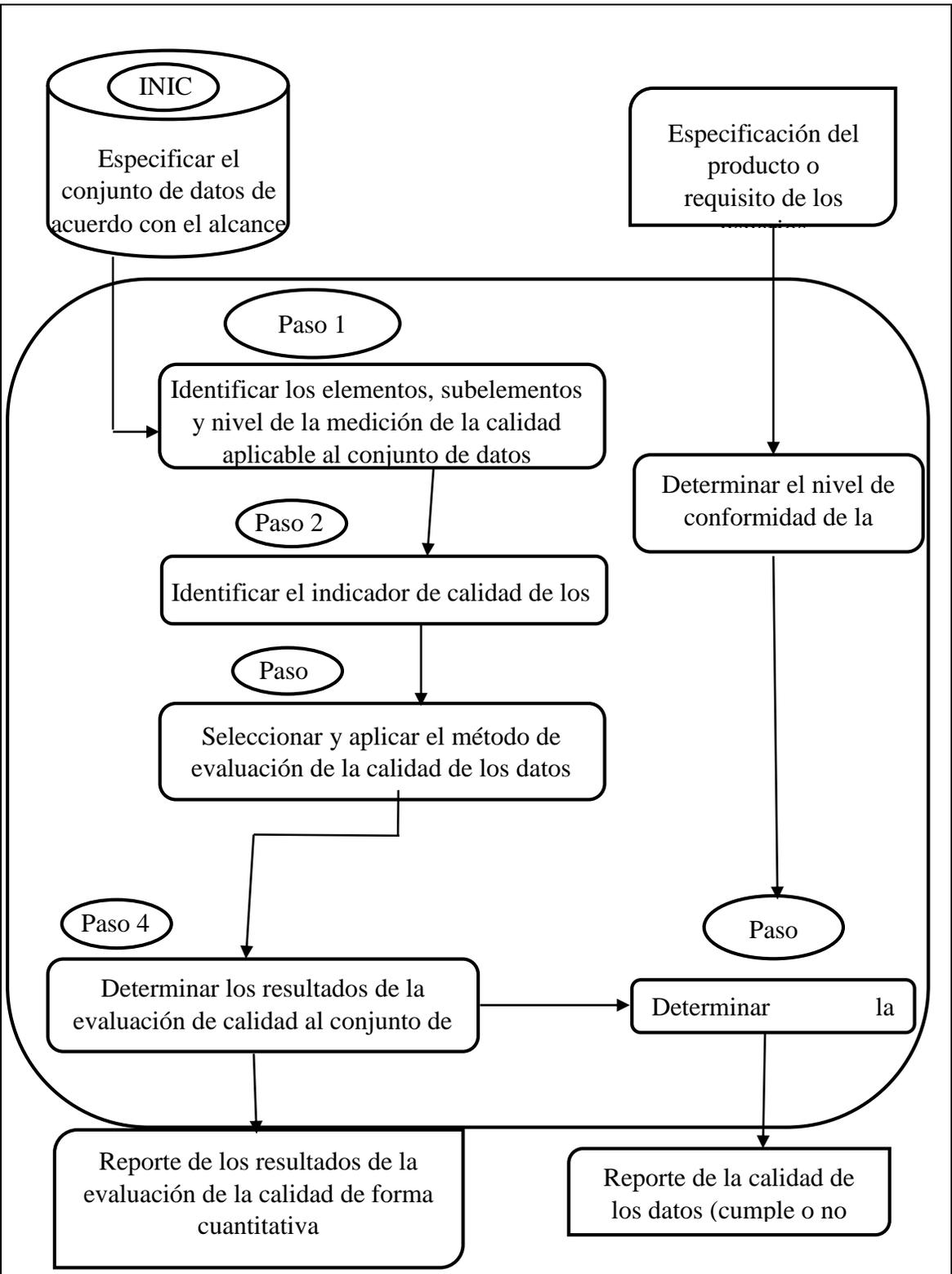
- Rubiano, R. M. (2010). Facatativá Fortaleza De Piedra Cruce De Caminos, 1–211. Retrieved from <http://www.facatativateamo.com/pdf/recopilacion-de-la-historia-de-Facatativa.pdf>
- Rudas, G., Marcelo, D., Armenteras, D., Morales, M., Delgado, L. C., & Sarmiento, A. (2007). *Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia*. Instituto Humboldt.
- Santos, T., & Tellería, L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat : efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15(2), 3–12. <https://doi.org/10.7818/re.2014.15-2.00>
- Sapena, M., & Ruiz, L. (2015). Analysis of urban development by means of multi-temporal fragmentation metrics from LULC data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(7W3), 1411–1418. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1411-2015>
- Sapena, M., Ruiz, L. A., & Palomar, J. M. (2015). Estudio evolutivo de los usos del suelo urbano mediante índices de distribución espacio-temporal. *XVI Congreso de La Asociación Española de Teledetección*, (Octubre, 21-23), 1–4.
- Sharma, M., Arendran, G., Raj, K., Sharma, A., & Joshi, P. K. (2016a). Multitemporal analysis of forest fragmentation in Hindu Kush Himalaya—a case study from Khangchendzonga Biosphere Reserve, Sikkim, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5577-8>
- Sharma, M., Arendran, G., Raj, K., Sharma, A., & Joshi, P. K. (2016b). Multitemporal analysis of forest fragmentation in Hindu Kush Himalaya—a case study from Khangchendzonga Biosphere Reserve, Sikkim, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5577-8>
- Subirós, J., Varga, D., Llausas, A., & Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 48, 151–166. Retrieved from [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Conceptos+y+m?todos+fundamentales+en+ecolog?a+del+paisaje+\(+landscape+ecology+\)+.#3](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Conceptos+y+m?todos+fundamentales+en+ecolog?a+del+paisaje+(+landscape+ecology+)+.#3)
- Tang, J., Bu, K., Yang, J., Zhang, S., & Chang, L. (2012). Multitemporal analysis of forest fragmentation in the upstream region of the Nenjiang River Basin, Northeast China. *Ecological Indicators*, 23, 597–607. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.012>
- Valencia, G., & Anaya, J. (2009). Implementación de la metodología CORINE LAND COVER con imágenes IKONOS, 90(15), 39–52.
- Valladares, F., Flores-Rentería, D., Forner, A., Morán-López, T., & Díaz, M. (2014). Influencia de la fragmentación y el clima en procesos clave para la regeneración del encinar. *Ecosistemas, Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 23, 37–47. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-2.06>
- Vega, H. (2011). Propuesta Para Promover el Manejo Eficiente del Recurso Hídrico en la Microcuenca Alta del Río Botello en el Municipio de Facatativá, Desde el Marco de la Gestión Integral del Agua. Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/3644/VegaMendozaHelmer2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zamar, J. L., Alessandria, E. E., Abril, E. G., & Agrícola, E. (2007). REDUCCIÓN Y FRAGMENTACIÓN DE BOSQUES DE LA REGIÓN DEL ESPINAL EN LA CUENCA RAFAEL GARCÍA-LOZADA, CÓRDOBA* Reduction and fragmentation of forests from the Espinal region in the Rafael Garcia-Lozada watershed in Cordoba. *Revista Científica Agropecuaria*, 11(1), 23–31. Retrieved from <http://ns1.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes>

Anteriores/Vol Ante 11/rca_11_pdf/23_31.pdf

16 Anexos



Anexo 1. Identificación de elementos de calidad aplicables Fuente: (ICONTEC, 2002)



Anexo 2. Flujo del proceso de evaluación de calidad de datos y la presentación del reporte de resultados de calidad. Fuente: (ICONTEC, 2010).

COMPONENTES DE LA CALIDAD DE LOS DATOS	
Nombre	
Nombre alternativo	
Alcance o nivel de medición de la calidad	
Elemento de la calidad	
Subelemento de la calidad	
MEDIDA DE LA CALIDAD	
Medida básica de calidad	
Definición	
Descripción	
Parámetro	
Identificador de la medida	
MÉTODO DE EVALUACIÓN	
Tipo de método de evaluación	
Descripción del método de evaluación	
RESULTADO DE LA CALIDAD	
Tipo de valor	
Fuente de referencia	
Ejemplo	
Valor	
Unidad	
Fecha	
Nivel de conformidad	
Interpretación del resultado	

Anexo 3. Reporte general de la calidad. Fuente: (ICONTEC, 2010).