



unl

Universidad
Nacional
de Loja

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del
Medio Ambiente

**“CARACTERIZACIÓN DEL SUBSISTEMA NATURAL PARA EL
DIAGNÓSTICO DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO
TERRITORIAL EN EL CANTÓN ZAPOTILLO, PROVINCIA DE LOJA
EN EL PERIODO 1986 - 2018”**

Tesis de grado previo a la obtención del
título de **Ingeniera en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente**

AUTORA:

Julissa Stefania Carrión Peralta

DIRECTOR:

Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca Mg Sc.

Loja, Marzo-2021

CERTIFICACIÓN DE DIRECCIÓN DE TESIS

Loja, 11 de enero de 2021

En calidad de director de tesis **CERTIFICO** que la Señorita **Julissa Stefania Carrión Peralta**, portadora de la cédula de ciudadanía N° 1105796195, egresada de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja, ha desarrollado la Tesis de Grado titulada **“CARACTERIZACIÓN DEL SUBSISTEMA NATURAL PARA EL DIAGNÓSTICO DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN EL CANTÓN ZAPOTILLO, PROVINCIA DE LOJA EN EL PERIODO 1986 - 2018”**, la misma que ha sido debidamente dirigida y revisada cumpliendo con todas las normas reglamentarias vigentes y dentro del cronograma establecido.

Por tal razón, autorizo la presentación y publicación de la presente Tesis de Grado.

Atentamente,

Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE TESIS

Loja, 11 de Marzo de 2021

En calidad de Tribunal Calificador de la Tesis de Grado titulada “**CARACTERIZACIÓN DEL SUBSISTEMA NATURAL PARA EL DIAGNÓSTICO DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN EL CANTÓN ZAPOTILLO, PROVINCIA DE LOJA EN EL PERIODO 1986 - 2018**”, de autoría de la Señorita **Julissa Stefania Carrión Peralta**, egresada de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja, **CERTIFICAN** que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros, por tal motivo se procede a dar aprobada y calificada su trabajo de Tesis de Grado.

Por lo tanto, autorizamos la Señorita egresada, su publicación y difusión.

Atentamente,

Ing. Raquel Verónica Hernández Ocampo Mg.Sc
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho Mg.Sc
VOCAL DEL TRIBUNAL

Dr. Christian Fernando León Celi Ph.D.
VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Loja, 15 de Marzo de 2021

Yo, Julissa Stefania Carrión Peralta, declaro ser autora de la Tesis de Grado titulada **“CARACTERIZACIÓN DEL SUBSISTEMA NATURAL PARA EL DIAGNÓSTICO DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN EL CANTÓN ZAPOTILLO, PROVINCIA DE LOJA EN EL PERIODO 1986 - 2018”**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de esta.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Julissa Stefania Carrión Peralta
C.I.: 1105796195

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **Julissa Stefania Carrión Peralta**, declaro ser autora de la Tesis de Grado titulada **“CARACTERIZACIÓN DEL SUBSISTEMA NATURAL PARA EL DIAGNÓSTICO DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN EL CANTÓN ZAPOTILLO, PROVINCIA DE LOJA EN EL PERIODO 1986 - 2018”**, como requisito para optar al Grado de Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los diez y seis días del mes de marzo del dos mil veinte y uno, firma la autora.

Autora: Julissa Stefania Carrión Peralta

Cédula de identidad: C.I. 1105796195

Dirección: Loja, calle Catacocha entre 24 de Mayo y Juan José Peña

Teléfono: 0994620951

Correo electrónico: jscarrionp@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Oscar Lenin Juella Sivisaca Mg.Sc

Tribunal de grado: Ing. Raquel Verónica Hernández Ocampo Mg.Sc Ing.
Carlos Guillermo Chunchu Morocho Mg.Sc Dr.
Christian Fernando León Celi Ph.D.

AGRADECIMIENTO

Es inevitable agradecer a ese ser superior que ha cuidado de mí, gracias Dios por la fortaleza que me has dado en cada mañana y por ser esa fuerza interna que nos vuelve guerreros cada día.

Mi eterno agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, quien me abrió sus puertas y me brindó la oportunidad de enriquecer mis conocimientos los mismos que me permitirán desempeñarme de la mejor manera. A los docentes de la Carrera Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente por sus enseñanzas y apoyo. De manera especial quiero agradecerle a la Ecóloga Katusca Valarezo Mg. Sc., por su ayuda.

Al Ing. Oscar Lenin Juela Sivilaca Mg. Sc. en calidad de director de tesis por su apoyo desinteresado para ser posible la ejecución de esta tesis.

A mis padres Eli Carrión y Blanca Peralta por su apoyo en todo momento, a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron al feliz término, no me queda más que decir gracias.

Julissa Carrión

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico con todo amor y cariño a Dios, por ser el creador de mi vida, fuente de inspiración y sabiduría; a mi madre Blanca Peralta a mi padre Elí Carrión quienes siempre me supieron apoyar, con su amor comprensión, bondad y fortaleza; a mi hija Romina Sofía, por su amor incondicional, a mi esposo José Luis por su apoyo; a mis hermanas Maricela, Leisy, Jéssica, Joselyn y Angie Carrión, a mi hermano Jhon Carrión por su apoyo, paciencia y consejos, a mis amigos y compañeros por su entusiasmo y a todos aquellos seres queridos.

Julissa Carrión

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DE DIRECCIÓN DE TESIS	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE TESIS	III
AUTORÍA.....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Ordenamiento territorial.....	3
2.1.2. Indicadores del subsistema natural.....	4
2.2. Teledetección.....	6
2.2.1. Imagen satelital	6
2.2.2. Clasificación de la imagen satelital	7
2.3. El cambio de uso de suelo y vegetación.....	8
2.3.1. Degradación de los suelos y sus efectos ambientales.....	9
2.3.2. Expansión de la frontera agrícola.....	10
2.4. Mejoramiento de las condiciones de vida a través del implemento de lineamientos estratégicos.....	10
2.5. Detección de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo mediante análisis multitemporal.	11
3. METODOLOGÍA	14
3.1. Área de estudio.....	14
3.1.1. Población y muestra	15
3.2. Métodos para obtención del cambio de uso del suelo.	15
3.3. Cuantificación de los indicadores del subsistema natural	22
3.4. Lineamientos estratégicos	25
4. RESULTADOS.....	27

4.1. Mapas de cobertura vegetal y uso del suelo de los años 1986, 1996, 2006 y 2016 del cantón Zapotillo.....	27
4.2. Indicadores del subsistema natural.....	37
4.3. Lineamientos Estratégicos.....	45
5. DISCUSIÓN	50
6. CONCLUSIONES	58
7. RECOMENDACIONES	59
8. REFERENCIAS.....	60
9. ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Leyenda temática y nivel de trabajo.....	18
Cuadro 2 Valoración del Índice Kappa.....	22
Cuadro 3. Valoración de antropización a cada cobertura.	24
Cuadro 4. Lineamiento estratégico para las Áreas Naturales Protegidas	45
Cuadro 5. Lineamiento estratégico para el sector agrícola	46
Cuadro 6. Lineamiento estratégico para el sector forestal	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Imágenes Landsat y fechas tomadas	17
Tabla 2. Matriz de Confusión para la evaluación de los modelos de clasificación con exactitudes y errores.....	21
Tabla 3. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1986.....	29
Tabla 4. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1996.....	31
Tabla 5. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2006.....	33
Tabla 6. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2016.....	35
Tabla 7. Resultados Precisión Global e Índice Kappa.	37
Tabla 8. Tasa de deforestación de los años en estudio.	38
Tabla 9. Porcentaje tasa de cambio de los períodos 1986-2016, 1986-1996, 1996-2006, 2006-2016.....	38
Tabla 10. Valorización de antropización del período 1986 – 2016.....	40
Tabla 11. Extensión de la frontera agrícola.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa base del Cantón Zapotillo	15
Figura 2. Esquema del desarrollo metodológico para el análisis multitemporal.	16
Figura 3. Esquema de la clasificación supervisada en el software GRASS 7.6.3.....	20
Figura 4. Esquema correspondiente a los lineamientos ambientales.	26
Figura 5. Mapa de cobertura de uso de suelo del Cantón Zapotillo, 1986.....	28
Figura 6. Mapa de cobertura de uso de suelo del Cantón Zapotillo, 1996.....	30
Figura 7. Mapa de cobertura de uso de suelo del Cantón Zapotillo, 2006.....	32
Figura 8. Mapa de cobertura de uso de suelo del Cantón Zapotillo, 2016.....	34
Figura 9. Uso del suelo del Cantón Zapotillo de los años 1986,1996, 2006 y 2016.....	36
Figura 10. Ecosistemas frágiles en el Cantón Zapotillo.....	42
Figura 11. Bosque y vegetación protectora en el Cantón Zapotillo.....	43
Figura 12. Áreas bajo conservación.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa cobertura y uso de suelo del cantón Zapotillo, período 1986.....	66
Anexo 2. Mapa cobertura y uso de suelo del cantón Zapotillo, período 1996.....	67
Anexo 3. Mapa cobertura y uso de suelo del cantón Zapotillo, período 2006.....	68
Anexo 4. Mapa cobertura y uso de suelo del cantón Zapotillo, período 2016.....	69
Anexo 5. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 1986	70
Anexo 6. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 1996	72
Anexo 7. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 2006	74
Anexo 8. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 2016	77
Anexo 9. Tendencia de la cobertura bosque entre los años 1986 a 2016.....	79
Anexo 10. Tendencia de crecimiento de la cobertura agrícola entre los años 1986 a 2016.	80
Anexo 11. Tendencia de la cobertura vegetación arbustiva y herbácea entre los años 1986 a 2016.	80
Anexo 12. Tendencia de la cobertura cuerpos de agua entre los años 1986 a 2016	81
Anexo 13. Tendencia de crecimiento de la cobertura suelo descubierto entre los años 1986 a 2016.	81
Anexo 14. Tendencia de crecimiento de la cobertura zona antrópica entre los años 1986 a 2016.	82
Anexo 15. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1986.....	82
Anexo 16. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1996	82
Anexo 17. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2006	83
Anexo 18. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2016	83
Anexo 19. Mapa de la tasa de Deforestación 1986 – 1996.....	85
Anexo 20. Mapa de la tasa de Deforestación 1996 – 2006.....	86
Anexo 21. Mapa de la tasa de Deforestación 2006 – 2016.....	87
Anexo 22. Mapa de la tasa de Deforestación 1986 – 2016.....	88
Anexo 23. Mapa del Índice de antropización Cantón Zapotillo, 1986	89
Anexo 24. Mapa del Índice de antropización Cantón Zapotillo, 1996	90
Anexo 25. Mapa del Índice de antropización Cantón Zapotillo, 2006	91
Anexo 26. Mapa del Índice de antropización Cantón Zapotillo, 2016	92

Anexo 27. Índice de antropización de 1986.....	93
Anexo 28. Índice de antropización de 1996.....	94
Anexo 29. Índice de antropización de 2006.....	95
Anexo 30. Índice de antropización de 2016.....	96
Anexo 31. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a bosque 1986-1996	97
Anexo 32. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a bosque 1996 – 2006.	98
Anexo 33. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a bosque 2006 – 2016.	99
Anexo 34. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a bosque 1986 – 2016.	100
Anexo 35. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a vegetación arbustiva y herbácea 1986-1996	101
Anexo 36. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a vegetación arbustiva y herbácea 1996 – 2006.....	102
Anexo 37. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a vegetación arbustiva y herbácea 2006 – 2016.....	103
Anexo 38. Extensión de la frontera agrícola con respecto a vegetación arbustiva y herbácea 1986 – 2016.....	104
Anexo 39. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a suelo descubierto 1986- 1996.	105
Anexo 40. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a suelo descubierto 1996 – 2006.	106
Anexo 41. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a suelo descubierto 2006 – 2016.	107
Anexo 42. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a suelo descubierto 1986 – 2016.	108

**“CARACTERIZACIÓN DEL SUBSISTEMA NATURAL PARA EL
DIAGNÓSTICO DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO
TERRITORIAL EN EL CANTÓN ZAPOTILLO, PROVINCIA DE LOJA
EN EL PERIODO 1986 - 2018”**

RESUMEN

La presente investigación determinó los diversos cambios de la cobertura y uso del suelo, a través de procesamiento de las imágenes satelitales Landsat 5 (TM), 7 (ETM+) y 8 (OLI), para establecer indicadores del subsistema natural y su relación con el ordenamiento territorial en el cantón Zapotillo, en el período 1986 - 2018, para la aplicación de herramientas de teledetección. Se recopiló la información de la base geográfica Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), complementando la información cartográfica con el Sistema de Información Nacional, Instituto Geográfico Militar y Centro de Investigación Territorial de la Universidad Nacional de Loja (CIT). Las imágenes satelitales fueron sometidas a correcciones y realces que a su vez se utilizaron para la clasificación supervisada, cuyos resultados fueron validados mediante índice estadístico Kappa para medir la concordancia entre lo observado y la realidad. Se demostró los indicadores del subsistema natural para ello se utilizó la información del cambio de uso de suelo, además de algoritmos y superposición de capas; y se plantearon tres lineamientos con fines de conservación, forestal y agropecuario.

Los resultados obtenidos para la cobertura bosque, muestran que en el año 1986 ocupó una superficie de 69 575,640 ha en el año 2016 disminuyó a 55 307,016 ha, la cobertura agrícola de 2 221,598 ha en 1986 aumentó a 5 771,081 ha en 2016. La tasa de deforestación tiene una pérdida de 0,76 % de cobertura; la tasa de cambio ha disminuido el 3,33 % de la superficie de bosque; el indicador antrópico acrecienta 5,65 % en la zona. Esta depreciación se debe a la influencia de actividades antrópicas en la ocupación de los territorios con cobertura boscosa y vegetación, tomando en cuenta que el cantón Zapotillo, sigue conservando un importante porcentaje de cobertura natural. Se muestra un diagnóstico de los planes de ordenamiento territorial en cuanto a la toma de decisiones mostrando la situación de deficiencias y potencialidades del cantón Zapotillo

Palabras claves: Ordenamiento Territorial, Subsistema Natural, Efectos de las actividades humanas

ABSTRACT

This research determined the various changes in land cover and use, through the processing of Landsat 5 (TM), 7 (ETM+) and 8 (OLI) satellite images, to establish indicators of the natural subsystem and its relationship to territorial ordering in the canton of Zapotillo, in the period 1986 - 2018, for the application of remote sensing tools. Information from the U.S. Geological Survey (USGS) geographic base was collected, supplementing cartographic information with the National Information System, Military Geographic Institute and Territorial Research Center of the National University of Loja (CIT). Satellite images were subjected to corrections and highlights that in turn were used for supervised classification, the results of which were validated by Kappa statistical index to measure the concordance between observed and reality. Demonstrated natural subsystem indicators for this purpose land use change information was used, as well as algorithms and layer overlay. And three guidelines were put forward for conservation, forestry and agriculture purposes.

The results obtained for forest cover show that in 1986 it occupied an area of 69,575,640 ha in 2016 decreased to 55 307,016 ha, agricultural coverage of 2 221,598 ha in 1986 increased to 5 771,081 ha in 2016. The deforestation rate has a loss of 0.76% coverage; the exchange rate has decreased by 3.33% of the forest area; the anthropic indicator increases by 5.65% in the area. This depreciation is due to the influence of anthropic activities on the occupation of territories with forest cover and vegetation, taking into account that the canton Zapotillo, continues to retain a significant percentage of natural coverage. A diagnosis of territorial planning plans for making is shown showing the situation of deficiencies and potentials of the canton Zapotillo.

Keywords: Spatial planning, Natural Subsystem, effects of human activities.

1. INTRODUCCIÓN

El ordenamiento territorial es de gran importancia porque contribuye a la organización, el aprovechamiento de los recursos disponibles y a la protección del territorio. Es, por tanto, la solución a problemas y aprovechamiento de las oportunidades territoriales de acuerdo con los objetivos planteados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (Benabent y Vivanco, 2019).

El uso del suelo es de vital importancia para la vida, en un estudio realizado por Montanarella *et al.* (2016) de cambio de uso de suelo a nivel mundial se menciona que el 35 % del planeta está destinado a la parte agropecuaria por ende existe aumentos de la erosión, pérdidas de carbono en el suelo, nutrientes y biodiversidad. El crecimiento de las ciudades y su industrialización también es un factor de ocupación y contaminación de suelos como acidez, metales pesados y compactación, a nivel mundial los ecosistemas terrestres sufren modificaciones por la intensificación y degradación del suelo, aumentando áreas agrícolas que afectan directamente a la superficie de coberturas con alta vulnerabilidad a procesos de erosión y baja productividad (Montanarella *et al.*, 2016).

En Ecuador los suelos se encuentran en degradación por erosión ya sea por sobrepastoreo o cultivos continuos en un 47,9 %, siendo la tasa de deforestación anual una de las más altas en América Latina, lo que ha provocado que la cobertura vegetal disminuya un 36,0 % a escala nacional (PDOT Provincial Loja, 2015). A nivel provincial, los problemas de desertificación y sequía cubren un 17,45 % del territorio, los procesos erosivos comienzan por el mal manejo y utilización de los suelos, existiendo una morfología irregular, se dan las actividades agropecuarias en lugares con pendientes mayores al 40 % acelerando el proceso de erosión de los suelos (PDOT Provincial Loja, 2015).

Con estos antecedentes, nace la idea de investigar los cambios de uso de suelo en un período de treinta años desde 1986 al 2016 y analizar los indicadores del subsistema natural (tasa de deforestación, tasa de cambio en vegetación y uso del suelo, relación cobertura natural/cobertura antrópica, extensión de frontera agrícola, áreas naturales protegidas), con el fin de generar información que permita entender y conocer que coberturas han presentado cambios significativos en los treinta años de estudio.

Para la realización de este trabajo se aplicó el análisis de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG) ayudaran a responder la pregunta central de investigación ¿Cómo los cambios de uso de suelo han modificado el Subsistema Natural? Además, se elaboró una matriz de confusión para la validación de la información generada en los mapas. Así mismo se analizaron los indicadores del subsistema natural en cuanto a los tres componentes forestal, producción y conservación. A partir de esta información se plantearon lineamientos estratégicos con fin de ordenamiento territorial para el cantón Zapotillo.

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo general: Determinar los cambios de cobertura y uso del suelo, a través de procesamiento de imágenes satelitales, para establecer los indicadores del subsistema natural y su relación con el ordenamiento territorial en el cantón Zapotillo, provincia de Loja en el periodo 1986 – 2018.

Objetivos específicos

- Determinar los cambios de cobertura y uso de suelo a través de un análisis multi-temporal con imágenes satelitales.
- Cuantificar los indicadores del subsistema natural en base al componente forestal (tasa de deforestación, tasa de cambio de deforestación y uso del suelo), componente de producción (relación cobertura natural/cobertura antrópica y extensión de la frontera agrícola) y componente de conservación (áreas naturales protegidas).
- Formular lineamientos estratégicos para atenuación de los cambios de uso del suelo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial hace referencia al aspecto económico, social, cultural y ecológico de una sociedad, es de carácter político porque se trata de un proceso administrativo basado en una estrategia para el desarrollo y el orden regional (Hernández Peña, 2010). En cuanto a la planificación territorial su fin es mostrar un análisis detallado de los diferentes procesos vividos en la zona de estudio, el objetivo es organizar el territorio de manera racional garantizando el desarrollo sostenible con el fin de diseñar acciones para el logro de metas y objetivos propuestos (Guevara Romero, 2017).

El Ordenamiento Territorial hace referencia a una política pública, la cual ayuda a la integración de diferentes sectores y tiene por objeto su adecuada organización para el mejor uso, aprovechamiento y protección del territorio (Hernández Peña, 2010). Por ende aborda temas que afectan a toda la población, a las actividades económicas y productivas, a las infraestructuras y a los impactos sociales y ambientales para solucionar los problemas y aprovechar las oportunidades territoriales que se concretan a través de planes, programas y proyectos (Fernández y Vivanco, 2019).

2.1.1. Crecimiento urbano y cambios del uso o cobertura del suelo

La planeación territorial se basa en el crecimiento urbano y los cambios del uso del suelo lo cual permite procesos organizados dirigidos a la expansión de ciudades, pueblos o zonas (Merlotto *et al.*, 2012). Este tema es fundamental porque sirve para realizar propuestas de ordenamiento territorial, debido a sus aportes en relación a la forma en que se materializa el crecimiento físico de la ciudad, la dinámica de la expansión urbana y la desaparición del suelo rural, el ritmo de la ocupación, entre otros (Fernández y Vivanco, 2019). El cual va conjuntamente con la expansión de la frontera agropecuaria (Merlotto *et al.*, 2012). Este

conocimiento es utilizado además para predecir la expansión de las ciudades con el fin de prever las futuras demandas de la población que se asentará en esas tierras y planificar nuevos asentamientos (Merlotto *et al.*, 2012)

2.1.2. Indicadores del subsistema natural

El subsistema natural o también llamado medio físico es el que está integrado por su territorio en unión con sus recursos, está conformado por elementos y procesos del medio natural (Palacios *et al.*, 2004). Los indicadores del subsistema natural con fines de ordenamiento territorial se muestran los siguientes: cambio de uso de suelo y vegetación, tasa de deforestación, tasa de cambio en vegetación y uso de suelo, relación cobertura natural/cobertura entrópica, extensión de la frontera agrícola, tierras de riego como porcentaje de las tierras cultivables, áreas naturales protegidas, superficie potencial con obras de conservación y/o restauración de suelos, y, riqueza y endemismo de especies de flora y fauna (Aguirre *et al.*, 2017).

El cambio de uso del suelo y vegetación, es una consecuencia de la interacción de las actividades humanas con el medio natural (Duarte *et al.*, 2006). Estos cambios indican el impacto de las actividades económicas y el desarrollo de las comunidades humanas sobre el territorio y sus recursos lo cual permite identificar problemas relativos a la sustentabilidad de las actividades humanas (Duarte *et al.*, 2006). Para su evaluación se lo realiza de forma jerárquica comenzando desde los cultivos, bosques, selvas, matorrales, pastizales, vegetación hidrófila, otros tipos de vegetación y otras coberturas (Duarte *et al.*, 2006).

La tasa de deforestación es un indicador sobre los recursos forestales y resulta esencial para evaluar el comportamiento ambiental como hidrología, clima, suelos, entre otras además de las variables socioeconómicos como crecimiento demográfico, densidad poblacional y actividades económicas (Palacios *et al.*, 2004).

Tasa de cambio en vegetación y uso del suelo se trata de un análisis de cambio producido en la vegetación considerando principalmente los causados por actividades antrópicas ayudando a la caracterización del paisaje y actividades faunísticas (García *et al.*, 2012).

Relación cobertura natural/cobertura antrópica permite analizar el grado de impacto que realiza la relación de cobertura natural y antrópica es un indicador de antropización de las coberturas del terreno (Palacios *et al.*, 2004).

Extensión de la frontera agrícola, es un indicador que a través de un análisis muestra el crecimiento de la frontera agrícola ayudando a especificar las actividades agropecuarias sobre las coberturas naturales, excluyendo todas las otras coberturas antrópicas que resultan de la actividad humana (García *et al.*, 2012).

Tierras de riego como porcentaje de las tierras cultivables es un indicador que explica las áreas donde existen acuíferos subterráneos además estima el porcentaje de áreas agrícolas que se encuentren bajo el sistema de riego en el territorio en estudio (Palacios-Prieto *et al.*, 2004).

Áreas Naturales Protegidas (ANP) es un indicador destinado a áreas de protección y conservación biológico, con fines de restauración y conservación de bienes y servicios ambientales lo cual ayuda a mejorar las condiciones ecológicas del entorno y ambientales tanto para las presentes y futuras generaciones (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

Superficie potencial con obras de conservación y/o restauración de suelos, este indicador ayuda a la planeación, coordinación, dirección y control del Programas de Desarrollo Regional Sostenible, el cual tiene como objetivo impulsar un modelo de planeación regional que conduzca hacia modelos de desarrollo regional sustentable, ayudando a disminuir los índices de pobreza, impulsando el crecimiento productivo y aumentar los ingresos de los habitantes (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

Riqueza y endemismo de especies de flora y fauna es un indicador de la importancia de las especies de flora y fauna además ayuda a identificar áreas con alto índice de riqueza de especies y endemismo lo cual permite desarrollar estrategias de conservación (Aguirre *et al.*, 2017).

2.2. Teledetección

La teledetección se puede definir como el conjunto de técnicas desarrolladas con la finalidad de obtener a distancia informaciones sobre la tierra utilizando para este efecto, las propiedades de las ondas electromagnéticas (Rodríguez *et al.*, 2002). Su principal aplicación se centra en las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas la cobertura global y exhaustiva, observación multiescala, información sobre regiones no visibles del espectro, multitemporalidad de las observaciones, transmisión a tiempo real y registro digital de la información (Gutierrez y Perez, 2006).

Una operación de la teledetección puede descomponerse en cuatro fases primero adquisición de los datos, seguido pretratamiento de los datos con la finalidad de corregir los efectos de la imagen de tipo geométrica y radiométrica, continuo tratamiento e interpretación de los datos que puede ser por dos métodos supervisado y no supervisado y, por último la presentación de los resultados (Rodríguez *et al.*, 2002).

2.2.1. Imagen satelital

Es la imagen capturada a bordo del satélite mediante una serie de detectores fotoeléctricos que transforman los niveles de radiancia, procedentes de la superficie terrestre, en valores numéricos que se denominan niveles digitales (Gutiérrez, C., 2006). Según Rodríguez *et al.* (2002), dice que el procedimiento de formación de la imagen digital se repite para cada una de las bandas generándose como resultado final una matriz tridimensional en la que el valor del

nivel digital de cada pixel. El número de bandas varia considerando de unos sensores a otros así por ejemplo el LANDSAT con siete bandas (Gutiérrez, C., 2006).

Rodríguez *et al.* (2002), indica que para que las imágenes tengan validez cartográfica se aplica la corrección geométrica en cuanto a las imágenes Landsat, a estas imágenes se les puede aplicar tratamientos previos a la clasificación como análisis de fuentes principales, análisis de texturas, filtrado y convolución. Este tratamiento se realiza con la finalidad de eliminar ruido y el albedo para proporcionar una mejor identificación de coberturas del suelo (Rodríguez *et al.*, 2002).

2.2.2. Clasificación de la imagen satelital

Según Chuvieco (2010), existen varios métodos para clasificar las imágenes satelitales los principales son dos el método de clasificación supervisada y el método de clasificación no supervisada.

El método de clasificación no supervisada define las clases espectrales presentes en la imagen, este método no implica ningún conocimiento del área de estudio por ende la obtención de los resultados se centra en la interpretación (Reuter, 2002). En cuanto al algoritmo de agrupamiento el más adecuado es el ISODATA este algoritmo delimita los grupos de valores homogéneos dentro de la imagen es un proceso interactivo en donde el usuario establece valores arbitrarios que se van modificando a la vista de los resultados (Reuter, 2002).

El método de clasificación supervisada parte de un conocimiento previo del área de estudio estableciendo clases a priori que a partir de ellas el resto de los píxeles de la imagen se agrupan a una categoría en función de su nivel digital (Reuter, 2002). Entre los métodos de clasificación supervisada tenemos el método de mínima distancia que consiste en asigna un pincel a una de las categorías más cercanas, es decir cada celdilla a la clase respecto a cuyo vector que está más próxima en el espacio de variables, para la medida de distancia se utilizó la distancia euclidiana (Chuvieco, 2010). El método de máxima verosimilitud o máxima probabilidad utiliza el vector

de medias y la matriz de varianzas-covarianzas para estimar la probabilidad de que un pixel dado pertenezca a cada una de las clases, el pixel se asignará finalmente a la clase cuya probabilidad de pertenencia sea mayor (Espín *et al.*, 2015). El método Algoritmo Sequential Maximun a Posteriori (SMAP) se trata de un método de clasificación contextual realiza una clasificación de los pixeles por regiones y no de manera individual por lo que se trata de un método de segmentación en donde las celdillas que se encuentran cercanas en una imagen pertenecen a la misma clase, trabaja fraccionando la imagen en varias resoluciones, de esta manera usa la resolución de fragmentación más gruesa para obtener una función de densidad a priori para la más fina a partir de la que, utilizando un enfoque bayesiano, obtener una distribución a posteriori (Espín *et al.*, 2015).

La clasificación supervisada se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento, estas áreas tendrían que ser lo más homogéneas posibles. Es decirle al programa toda la información posible sobre como se muestra en la imagen las distintas clases de cobertura de nuestro estudio. Considerando que, cuantas más referencias o puntos de entrenamiento posean el programa mejor será la clasificación. Esta información se almacena en un “archivo de firma”.

2.3. El cambio de uso de suelo y vegetación

En la actualidad el suelo ha sufrido cambios evolucionando acorde a las necesidades y formas de adaptación de quienes lo han habitado, estas transformaciones han convertido el suelo como un indicador de la calidad ambiental lo cual ha llevado a los servicios y bienes disponibles para satisfacer las demandas de los habitantes (Aguirre y Muñoz, 2017). Los cambios del uso de coberturas del suelo se perciben de forma constante a través de las generaciones sucesivas de los distintos grupos que han habitado (Guevara y Montalvo, 2014). Los cambios de uso de suelo que se dan en cada territorio desde los inicios de formas de adaptación, muestran como en las últimas décadas existe una fuerte transformación de los ecosistemas de esos territorios, estas

rápidas y profundas transformaciones del uso del suelo y de la vegetación del entorno, así como las consecuencias que se han generado, son uno de los temas de mayor interés actual en las disciplinas ambientales, el uso del suelo está relacionado a la sustentabilidad de los recursos naturales (Aguirre y Muñoz, 2017).

Lo que hace primordial conocer los procesos de cambio de uso del suelo y sus efectos. El uso del suelo ocurre cuando éste se manipula físicamente, es decir, de forma antrópico en la manipulación y transformación del mismo, ya sea por naturaleza de la relación ente el hombre y su entorno, por la apropiación del territorio en áreas de su subsistencia (Guevara y Montalvo, 2014). Los principales cambios de uso de suelo se dan en actividades agropecuarias, de desarrollo inmobiliario, de infraestructura, de vías de comunicación, de establecimiento de instalaciones comerciales, industriales, entre otras, una de las formas de realizar la evaluación de los cambios en el uso del suelo, es a partir de la medición de los cambios en la cobertura vegetal y no vegetal (Guevara y Montalvo, 2014).

2.3.1. Degradación de los suelos y sus efectos ambientales

El uso actual que se da al suelo, es el tema ambiental muy grave ya que trata de la pérdida total o parcial de la productividad cualitativa y cuantitativa de los suelos, debida a procesos como salinización, erosión, inundación, desertización y contaminación (Rojas e Ibarra, 2003). Mejora posibilidades para la región, siendo sus principales consecuencias la erosión y pérdida de fertilidad, la desertificación, la deforestación, la degradación de pasturas, la salinización y alcalinización de suelos bajo riego y la subutilización de tierras agrícolas de buena calidad, es indudable que las modificaciones producidas en el suelo, y por efecto de éste en el medio ambiente, afectan considerablemente la calidad de vida del ecosistema. Sabemos que la agricultura es uno de los principales autores de ese cambio (Rojas e Ibarra, 2003).

El cuidado ambiental no debe ser considerado una cuestión momentánea ni pasajera sino que debe realizarse con visión de futuro, en función a una idea de sostenibilidad, con el fin último de crear las condiciones que aseguren mejores niveles de vida, para las generaciones actuales y venideras (Rojas e Ibarra, 2003). Es indispensable que los suelos tengan un mejor cuidado para conservarlo en todo el mundo, se han esforzado en desarrollar e implementar estrategias para conservar y recuperar sus recursos naturales esta experiencia nos dice que los cambios ambientales que nuestro planeta está experimentando, se deben a modelos de desarrollo no sostenible (Rojas e Ibarra, 2003).

2.3.2. Expansión de la frontera agrícola

En el estudio de la ocupación del suelo, en cuanto a su uso, ha venido sufriendo desde finales del siglo XX y la primera década del siglo XXI un fuerte revisionismo desde la historia agraria y la historia económica en algunos países latinoamericanos (Quejada Camacho, 2014). En la presente tesis, muestra cómo se produjo la ocupación y la expansión de la frontera agrícola de un territorio durante treinta años; y permite comprender el éxito que ha tenido la producción agropecuaria en el desarrollo de pueblos (Quejada Camacho, 2014).

La expansión de la frontera agrícola son los cambios en la matriz productiva producidos por el avance de la agricultura, dando cuenta de las transformaciones en las últimas décadas (Domínguez y Orsini, 2009). Es indispensable conocer las causas de dichos cambios, sus consecuencias directas e indirectas y el análisis de los cambios en el uso del suelo (Domínguez y Orsini, 2009).

2.4. Mejoramiento de las condiciones de vida a través del implemento de lineamientos estratégicos.

La mayoría de las ciudades del mundo están planteando estrategias de modelos teóricos de competitividad vinculados con la calidad de vida de la población como actividades generadoras

de efectos turísticos, económicos, sociales y ambientales; los cuales a su vez originan para el desarrollo competitivo de las regiones, países y sectores productivos (Gutiérrez y Narváez, 2015).

Para contribuir en la disminución de la problemática ambiental y mejorar la calidad de vida de las personas es necesario formular políticas públicas encaminadas a la toma de decisiones a nivel territorial que produzcan transformaciones sociales para construir una cultura ambiental (Ortega Calvo, 2014). En este sentido los lineamientos contribuyen a la generación de dichas políticas públicas que finalmente deben materializarse mediante los aportes de todos los actores que constituyen la sociedad (Ortega Calvo, 2014). Para el desarrollo local es necesario tener soluciones viables y sostenibles acerca del manejo de los residuos sólidos y el cuidado responsable del ambiente, mediante el compromiso de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, del sector empresarial y la sociedad civil (Ortega Calvo, 2014).

2.5. Detección de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo mediante análisis multitemporal.

El análisis multitemporal es una de las metodologías más utilizadas ya que nos ayuda a identificar, describir, cuantificar y monitorear los cambios de la cobertura vegetal, cambios en la frontera agrícola nos permite entender las condiciones anteriores con respecto a las actuales (Muñoz, Rodríguez, & Romero, 2012). Los estudios existentes del tema análisis multitemporal para determinar cambios en la cobertura vegetal y uso de suelo coinciden que la pérdida de ecosistemas y bosques muestran las ocurrencias de cambios significativos (Muñoz et al., 2012). En un estudio realizado en el 2017 en el Parque Kaa-Iya del Gran Chaco de los autores Carlos Pinto y Erika Cuéllar Soto se realizó un análisis multi-temporal de mosaico de etapas sucesionales del bosque chaqueño de Arenales. Este estudio lo realizaron para medir los cambios de uso y cobertura del suelo durante las décadas de los 70's, 80's y 90's.

Se evalúa los cambios de vegetación en un área determinada a través del tiempo de décadas de los 70's, 80's y 90's, haciendo uso de imágenes satelitales y herramientas del Sistema de Información Geográfica, en el cual como resultado da tres mapas de vegetación utilizando el método supervisado el mismo intentan que la información obtenida en este trabajo contribuya a entender la pérdida de estos ecosistemas abiertos y el hábitat para especies dependientes de las pampas chaqueñas y promover así un mejor manejo de las mismas (Guevara *et al.*, 2018). Los principales resultados muestran la ocurrencia de cambios significativos de cobertura entre los periodos de tiempo entre las principales causas inmediatas de la retracción observadas mediante las imágenes satelitales se deban probablemente a una combinación de factores que deberían ser estudiados a detalle como: la frecuencia de fuego, la introducción de ganado, la precariedad de la infraestructura (Guevara *et al.*, 2018).

Otro estudio realizado en Nicaragua en el año 2013 en un área protegida, donde realizan un análisis multi-temporal del cambio de uso del suelo. Aquí se plantea verificar los cambios existentes en el uso del suelo en el Paisaje Terrestre Miraflor Moropotente en el período 1993-2011, a través de imágenes satelitales, a fin de determinar el estado de fragmentación del paisaje.

En este estudio para la identificación de coberturas de suelo se verificó en el campo y la corroboración en las imágenes satelitales, la fragmentación se realizó con el cálculo de métricas e índices de fragmentación a nivel del paisaje, los principales resultados muestran que los cambios de uso de suelo están determinados por la degradación antrópica, principalmente en la conversión de la vegetación nativa a espacios agrícolas y la expansión de la ganadería (Ruiz *et al.*, 2013). El crecimiento demográfico y los monocultivos van ejerciendo presión sobre el bosque, transformando zonas de vocación forestal a cultivos agrícolas en el presente estudio los cambios de cobertura han significado un paisaje fragmentado con diferentes grados de

perturbación, que conllevan a una disminución de la superficie de hábitats naturales, reducción del tamaño de los fragmentos y aislamientos de los mismos (Ruiz *et al.*, 2013).

3. METODOLOGÍA

La presente investigación se fundamentó en la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Teledetección para realizar el análisis multi-temporal de cambio de uso de suelo. Para su desarrollo se empleó las imágenes multi-espectrales de los años en estudio. Tiene un diseño no experimental de tipo longitudinal por lo que se analizó información histórica de los años 1986, 1996, 2006 y 2016 con las cuatro imágenes multi-espectrales del satélite LANDSAT. Es de carácter descriptivo-analítico porque se trata de información que señala las características de la zona de estudio, para poder realizar la comparación de los resultados de los cambios de uso del suelo en Zapotillo. Es de carácter analítico, porque permitió el estudio, cuantificación y verificación de los resultados en sus diferentes coberturas obteniendo mapas de cambio aplicando la teledetección.

3.1. Área de estudio

El área de estudio de la presente investigación se llevó a cabo en el cantón Zapotillo perteneciente a la provincia de Loja, (ver Figura 1), ubicado al suroccidente del país, Región Sur del Ecuador; el cantón posee una extensión territorial de 1 212,61 km², con altitud promedio de 255 m.s.n.m. su clima es cálido seco, oscila a una temperatura de 25° a 30° C, con una población de 12 312 habitantes según censo 2014. Los límites del cantón al Norte, Sur y Oeste: República del Perú; Este: Con los cantones Céllica, Macará, Puyango y Pindal (GAD Municipal Zapotillo, 2015).

El cantón cuenta con una parroquia urbana, seis parroquias rurales y barrios en todo el cantón son 115. La parroquia urbana: Zapotillo y sus parroquias rurales: Limones, Garza Real, Paletillas, Bolaspamba, Mangahurco y Cazaderos. La precipitación media anual es de 709,80 mm/año en esta zona se presentan dos épocas o temporadas bien definidas: La primera conocida como época seca, que se presenta entre la mayor parte de los meses del año y va desde junio a

noviembre, siendo los meses de julio y agosto los considerados más secos; la segunda época, conocida como lluviosa, presente en los meses de diciembre a mayo, siendo asimismo, los meses de febrero, marzo y abril los de mayor pluviosidad (GAD Municipal Zapotillo, 2015).

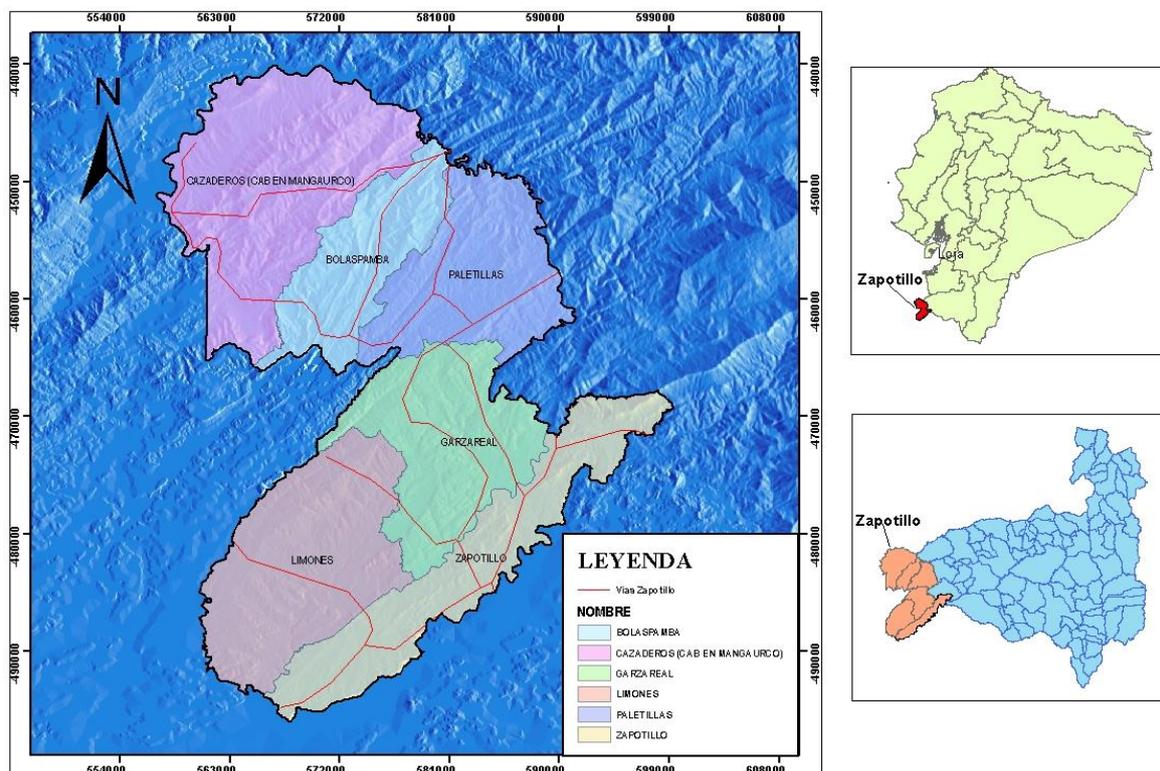


Figura 1. Mapa base del Cantón Zapotillo
Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Población y muestra

La población del estudio correspondió a la superficie territorial total del cantón Zapotillo, perteneciente a la provincia de Loja. En cuanto a la muestra no se utilizó muestra característica porque al estudio se lo realizó en todas las superficies cubriendo la totalidad del cantón.

3.2. Métodos para obtención del cambio de uso del suelo.

Para el tratamiento digital de las imágenes satelitales obtenidas en la base geográfica Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), se empleó el software *GRASS GIS* versión 7.6.3 y el software *QGIS* versión 3.2, dentro del sistema operativo Ubuntu. Siguiendo la metodología de Chuvieco (2010), (ver Figura 2).

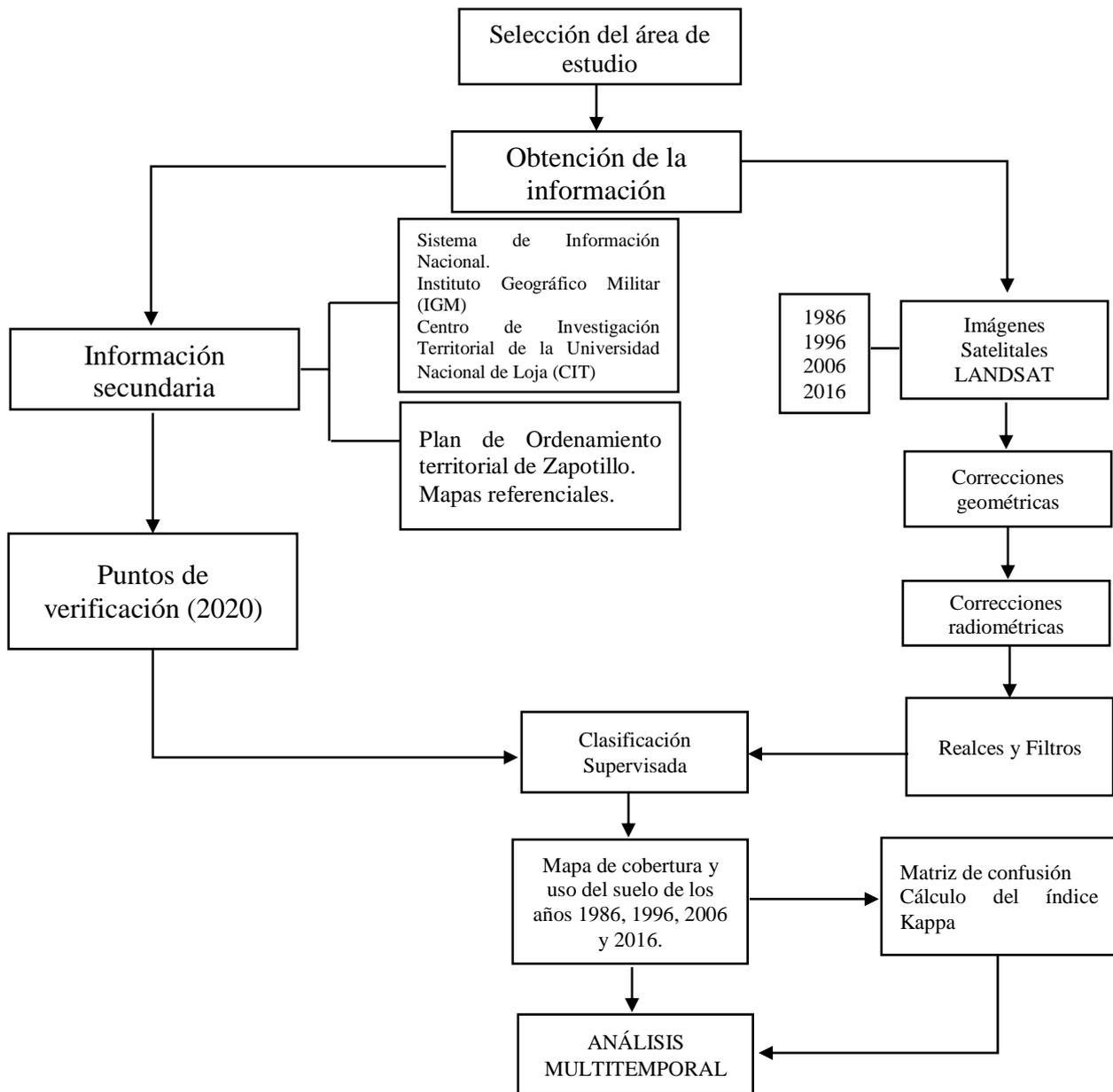


Figura 2. Esquema del desarrollo metodológico para el análisis multitemporal.
Fuente: Adoptado de Chuvieco, (2010).

Para la realización del análisis multi-temporal de los cambios del uso del suelo, primeramente se recopiló la información cartográfica disponible en la plataforma la base geográfica Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) de imágenes satelitales de Landsat (ver Tabla 1). Las mismas cumplían con las siguientes características: porcentaje de nubosidad máximo 20%, el número de bandas espectrales mínimo de siete.

Tabla 1. Imágenes Landsat y fechas tomadas

Spacecraft	Sensor	Año	Mes	Día
Landsat 5	TM	1986	Septiembre	06
Landsat 5	TM	1996	Septiembre	01
Landsat 5	TM	2006	Octubre	14
Landsat 8	OLI	2016	Septiembre	08

Fuente: Elaboración propia

Primeramente se procedió a cargar las imágenes satelitales el software GRASS 7.6.3, para efectuar correcciones atmosféricas, radiométricas y geométricas en cada imagen. Para ello se ingresó el shp de área de estudio y cada una de las bandas de las imágenes satelitales, para ingresar información en formato shp se aplicó el comando “v.in.gdal” y para ráster con el comando “r.in.gdal”.

En el software GRASS versión 7.6.3 se realizó la corrección geométrica, ajustando las imágenes que se encuentre con la misma localización, la siguiente corrección fue tipo radiométrica convirtiendo la información del pixel niveles digitales (ND), a radiancia. La siguiente corrección fue de tipo atmosférica el mismo consistió eliminar sombras de nubes y problemas de nubes.

Seguidamente se crearon grupos y subgrupos por años de las imágenes

Así mismo para corregir anomalías de las imágenes se realizaron los realces con la finalidad de tener mejor calidad de la imagen se procedió a realizar composiciones, esto se aplicó mediante la generación de combinaciones RGB (rojo, verde y azul) a cada una de las bandas de la imagen se utilizaron las combinaciones en color real, falso color e índices de vegetación. La elección de las bandas para realizar la composición y el orden de los colores destinados a cada una, dependerá del tipo sensor al que corresponda la imagen. Esta composición ayudó para distinguir los cuerpos de agua, zonas agrícolas, suelo descubierto, poblados, vías, bosque y vegetación (Chuvieco, 2010).

Ya corregidas las imágenes se procedió a la clasificación digital para esto se procedió a realizar la clasificación supervisada primeramente se delimita áreas de entrenamiento, para lo cual se procedió a establecer las siguientes categorías: bosque, agrícola, vegetación arbustiva y herbácea, cuerpos de agua, zona antrópica, suelo descubierto, nubes y sombras de nubes. Las coberturas de usos de suelo del área de estudio se establecieron tomando como referencia el protocolo metodológico para elaborar mapas de cobertura y uso de suelo de tierra de Ecuador Continental del MAE 2015.

Las imágenes Landsat son para trabajar a nivel regional, se tomó en cuenta el tamaño del pixel de 30m x 30m y en el caso de Landsat 7 y 8 remuestreado a 15m. A continuación, se presentan las coberturas vegetales y usos de suelo en nivel II de interés tomadas del MAE y adaptadas para fines del estudio (ver Cuadro1)

Cuadro 1. Leyenda temática y nivel de trabajo

Nivel II	Nivel de trabajo
Bosque nativo	Bosque
Plantación Forestal	
Cultivo anual	Agrícola
Cultivo semipermanente	
Cultivo permanente	
Otras tierras agrícolas	
Mosaico Agropecuario	
Vegetación arbustiva	Vegetación arbustiva y herbácea
Vegetación herbácea	
Natural	Cuerpos de agua
Artificial	
Área poblada	Zona antrópica
Infraestructura	
Área sin cobertura vegetal	Suelo descubierto
Sin información	Nubes
	Sombra de nubes

Fuente: Adaptado de MAE y MAGAP (2015)

La clasificación supervisada consistió en asignar áreas de entrenamiento para interpretar los ocho tipos de cobertura (bosque, agrícola, vegetación arbustiva y herbácea, cuerpos de agua,

zona antrópica, suelo descubierto, nubes y sombras de nubes), en el software QGIS 3.2, se definieron las áreas de entrenamiento agrupando píxeles con el mismo valor digital de reflectancia en la imagen, de esta manera y realizando combinaciones de bandas, se obtuvieron los polígonos digitalizados sobre la imagen para los tipos de coberturas.

Finalmente se realizó la clasificación digital mediante lenguaje de programación en el terminal del sistema operativo Ubuntu en el software GRASS 7.6.3, para ello se creó un grupo y subgrupo a partir de la lista de imágenes con las bandas de cada uno de los años con el algoritmo “i.group” (nombre del grupo). Los shp generados en las áreas de entrenamiento se los ingresa al GRASS 7.6.3, con el comando “v.to.rast” estos ráster sirven para generar el archivo de respuesta espectral.

A partir del grupo de imágenes y de las áreas de entrenamiento, se aplicó en GRASS 7.6.3 la clasificación supervisada por los métodos máxima secuencialidad a posteriori utilizando el algoritmo “i.gensigset” para generar la respuesta espectral y el módulo “i.smap”; para clasificar mediante el método máxima verosimilitud primeramente se generó la respuesta espectral con el algoritmo “i.maxlik”. Se analizaron las dos respuestas de los métodos aplicados y el que tuvo mejor homogeneidad en cuanto a las categorías de clasificación, se procedió a exportarla en formato raster con el comando “r.out.gdal input” en la terminal de GRASS 7.6.3. El proceso de clasificación supervisada se detalla ver Figura 3.

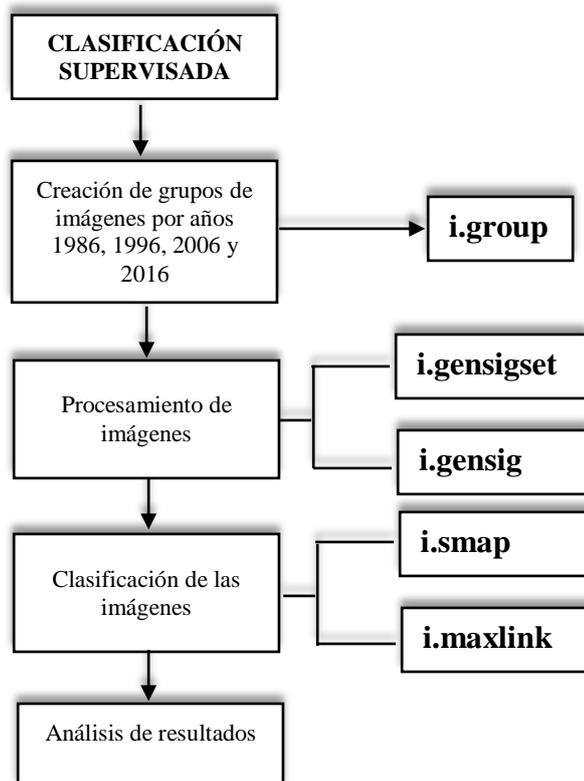


Figura 3. Esquema de la clasificación supervisada en el software GRASS 7.6.3.
Fuente: Elaboración Propia

Las imágenes exportadas se las cargaron al QGIS 3.2, para validar la clasificación se realizó aplicando la matriz de confusión ver Tabla 2 (Chuvieco, 2010), para lo cual se generaron 100 puntos aleatorios con la ayuda del software QGIS 3.2 a una distancia mínima entre puntos de 1000 m., estos puntos se los comparó con los resultados de cada clasificación. Para la comparación de los datos de referencia con los resultados en la clasificación.

Para medir la exactitud de los mapas generados del uso de suelo de los diferentes años se realizó el cálculo de la exactitud del productor para indicar en qué medida ha sido bien clasificada una categoría en la columna. Se lo calculó con el resultado entre la diagonal de dicha columna y el total marginal de la columna (ver Tabla 2), este procedimiento se realizó para todas las

categorías (Instituto de Clima y Agua, 2012). La exactitud de usuario se realizó para conocer la garantía que tiene el usuario al utilizar la información en el mapa. El valor se lo obtiene al dividir la diagonal para el total marginal de dicha fila, Tabla 2 igual procedimiento para el resto de categorías (Instituto de Clima y Agua, 2012).

La exactitud Global nos indica la exactitud de las coberturas a analizar, y se obtiene con la sumatoria de la diagonal mayor dividida para el número total de puntos de muestreo (ver Ec. 1).

$$EG = N/D \quad \text{[Ec. 1]}$$

EG= Exactitud global.

N= Sumatoria de las coberturas.

D= Número total de puntos.

Para medir la precisión de los mapas generados del uso de suelo de los diferentes años se realizó el cálculo de los errores de comisión el cual indica la probabilidad de que un usuario encuentre información incorrecta en el uso ver Tabla 2 y, en cuanto al error de omisión muestra en qué medida el productor del mapa represento incorrectamente los rasgos del territorio ver Tabla 2 (Rodríguez Vásquez, 2011)

Tabla 2. Matriz de Confusión para la evaluación de los modelos de clasificación con exactitudes y errores.

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n	Total	Exactitud usuario	Error comisión
Clase 1	X_{11}				X_{1+}	X_{11}/X_{1+}	$1 - X_{11}/X_{1+}$
Clase 2		X_{22}			X_{2+}	X_{22}/X_{2+}	$1 - X_{22}/X_{2+}$
Clase 3			X_{33}		X_{3+}	X_{33}/X_{3+}	$1 - X_{33}/X_{3+}$
Clase n				X_{nn}	X_{n+}	X_{nn}/X_{n+}	$1 - X_{nn}/X_{n+}$
Total	X_{+1}	X_{+2}	X_{+3}	X_{+n}	$\sum x_{ij}$		
Exactitud productor	X_{11}/X_{+1}	X_{22}/X_{+2}	X_{33}/X_{+3}	X_{nn}/X_{+n}			
Error omisión	$1 - X_{11}/X_{+1}$	$1 - X_{22}/X_{+2}$	$1 - X_{33}/X_{+3}$	$1 - X_{nn}/X_{+n}$			

Fuente: Chuvieco, 2010

Para corregir los tipos de exactitud se utiliza el coeficiente Kappa. En el cual determinó la concordancia y confiabilidad de los resultados de la clasificación supervisada (ver Cuadro 2) (Chuvienco, 2010).

Cuadro 2 Valoración del Índice Kappa

Valor de k	Fuerza de la concordancia
<0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 -0.60	Moderada
0.61 -0.80	Buena
0.81 – 1-00	Muy buena

Fuente: Lopez, 2010

La proporción en la reducción del error al aplicar la clasificación se realiza una asignación de clases completamente aleatoria, este coeficiente lleva implícita información sobre los elementos marginales fuera de la diagonal principal. Además, recoge en un solo valor información sobre el proceso y permite la comparación directa de varias matrices (ver Ec. 2) (López, 2010).

$$K = \frac{N \sum X_{ii} - N \sum X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} X_{+i}} \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde:

N = número total de observaciones incluidas en la matriz.

X_{ii} = número de observaciones en el elemento de la fila i y columna i .

X_{i+} = total de observaciones en la fila i .

X_{+i} = total, de observaciones en la columna i .

3.3. Cuantificación de los indicadores del subsistema natural

Componente forestal

Tasas de deforestación: Posteriormente a la clasificación de las clases de suelo se realizó una sobre posición de los datos, cuantificamos los cambios de cobertura del suelo y detectamos las áreas deforestadas. Para ello se realizó una reclasificación de los mapas ráster en QGIS 3.2, de

valores 1 (bosque) y 0 (agricultura, vegetación, cuerpos de agua, antrópico, nubes y sombra de nubes); con el Map Algebra se procedió a restar los valores de bosque entre las dos fechas que son 1986-1996; 1996-2006; 2006-2016; y, 1986-2016; se analizó la información y se realizó un nuevo Reclass con la pérdida (2), ganancia (1) y Sin información (0). Se aplicó el algoritmo utilizado por la FAO (ver Ec.3). Esta tasa expresa el cambio en porcentaje de la superficie al inicio de cada año de estudio (UNAM-Instituto de Geografía, 2002).

$$\delta n = \sqrt[n]{s_2/s_1} - 1 \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde:

δn = tasa de cambio (para expresar en porcentaje, hay que multiplicar por 100),

s_1 = superficie en la fecha 1,

s_2 = superficie en la fecha 2 y

n = número de años entre las dos fechas (Uriel y García, 2010).

Tasa de cambio en vegetación y uso del suelo: Se calculó la tasa de cambio por categoría vegetal utilizando el algoritmo (ver Ec.4). Se realizó con cada una de las categorías (bosque, agrícola, vegetación arbustiva y herbácea, cuerpos de agua, zona antrópica y suelo descubierto) de 1986 – 1996; 1996 – 2006; 2006 – 2016; y, 1986 – 2016.

$$C = [(T2/T1) * (1/n - 1)] * 100 \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

C = tasa de cambio de la superficie,

$T1$ = año de inicio (con el que se quiere comparar),

$T2$ = año actual o más reciente,

n = número de años entre $T1$ y $T2$ (Uriel y García, 2010).

Componente de producción

Índice de cobertura natural/cobertura antrópica: Para la estimación del grado de antropización se partió de la clasificación supervisada con los cuatro mapas de cambio obtenidos los cuales permitieron identificar las características necesarias para determinar la antropización del área a estudiar. Primeramente definimos las dimensiones de las unidades de análisis (ver Cuadro 3), es decir, al área a la cual se le va a asignar un valor de antropización (Martínez-Dueñas, 2010).

Cuadro 3. Valoración de antropización a cada cobertura.

Código	Valor de antropización	Tipo de cobertura
1	0,00	Bosque
2	0,10	Cuerpos de agua
3	0,20	Vegetación arbustiva y herbácea
4	0,30	Suelo descubierto
5	0,50	Agrícola
6	1,00	Antrópico

Fuente: Elaboración propia

Después de que se han definido las dimensiones de las unidades de análisis, se determinó cuantas de estas unidades se trabajaron y cuál es su ubicación espacial. Ubicada la zona a analizar y sus respectivas unidades de análisis, se procedió a dividir cada una en partes iguales que se llamarán subunidades de análisis con la ayuda del software QGIS 3.2, ya identificados los valores de antropización para cada subunidad de análisis, se procede a estimar el grado relativo de antropización por unidad de análisis ver Ec.5 (Martínez-Dueñas, 2010).

$$INRA = \left(\frac{\sum SUA}{n} \right) * 100 \quad [\text{Ec. 5}]$$

Donde:

- $\sum SUA$ = la sumatoria del valor de antropización parcial de todas las SUA
- n = número total de SUA

Índice de la extensión de la frontera agrícola: Para el cálculo de la expansión de la frontera agrícola se realizó tres reclasificaciones la primera reclasificación a la cobertura agrícola se coloca 1, bosque 2 y el resto de coberturas 0; la segunda reclasificación a la cobertura agrícola

1, vegetación arbustiva y herbácea 2 y el resto de coberturas 0, y en la tercera reclasificación a agrícola se coloca el valor de 1; a la cobertura suelo descubierto el valor de 2 y al resto de coberturas el valor de cero; este proceso se lo repitió con todos los años en estudio. Luego con el álgebra de mapas en el software QGIS 3.2 se restó cada una de las reclasificaciones correspondientes entre 1986 y 1996; 1996 y 2006; 2006 y 2016; y, 1986 y 2016 respectivamente con cada reclasificación, como producto final nos vota un mapa con tres valores de pérdida, ganancia y conservación.

Componente de conservación

Áreas Naturales Protegidas: Cuantificamos las áreas destinadas a Áreas Naturales Protegidas (ANP) en la cual se determinó en base a las áreas que estén establecidas en el Sistema Nacional de Áreas Naturales; en el software QGIS 3.2 se subió las shp del SNAP y se recortó la información, como producto final se obtuvo mapa de mancomunidades, de áreas bajo conservación, bosque y vegetación protectora y mapa de ecosistemas frágiles (UNAM-Instituto de Geografía, 2002).

3.4. Lineamientos estratégicos

Para la elaboración de los lineamientos estratégicos para mejorar su optimización del cantón Zapotillo, primero, se identificaron las zonas que tengan problemas de afectación ambiental analizando los mapas de cambio de cobertura y uso del suelo y los indicadores del subsistema natural como tasa de deforestación, tasa de cambio en vegetación y uso del suelo, relación cobertura natural y cobertura antrópica, extensión de la frontera agrícola y Áreas Naturales Protegidas, direccionándolos a la construcción de una sociedad saludable, sustentable y resiliente de forma equitativa en entornos rurales y urbanos del cantón Zapotillo. Seguidamente se evaluaron las amenazas o alteraciones de los problemas registrados con las interacciones del sistema ambiental y humano en su entorno basándonos en el criterio del investigador. Se

propuso acciones a implementarse en el territorio, considerando las dinámicas de uso del suelo se cuenta con elementos para plantear algunas acciones sobre aprovechamiento sustentable y recuperación de sitios. Luego se delimita el área o lugar donde se van a realizar las acciones propuestas utilizando el Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente (TULSMA) y el Plan Nacional de Deforestación y Reforestación, en los cuales constan los contenidos normativos referentes a la localización de determinadas actividades (Martínez, 2013).

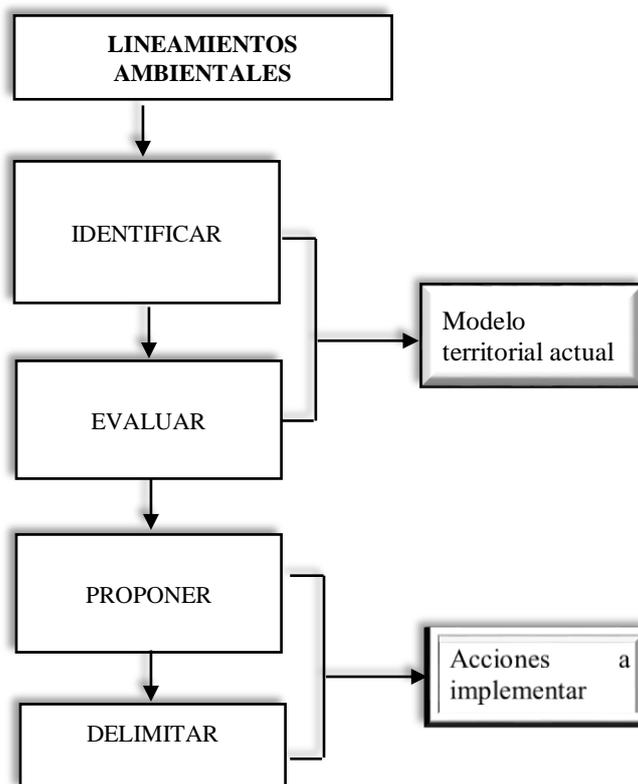


Figura 4. Esquema correspondiente a los lineamientos ambientales.
Fuente: adaptado de Martínez, 2013

4. RESULTADOS

Con la aplicación de la metodología en el empleo de las imágenes satelitales, se obtuvieron cuatro mapas de cambio de uso de suelo (ver Figura 5, 6, 7, 8), así como la cuantificación de los años 1986, 1996, 2006 y 2016 en el cantón Zapotillo. A continuación, los siguientes resultados:

4.1. Mapas de cobertura vegetal y uso del suelo de los años 1986, 1996, 2006 y 2016 del cantón Zapotillo

Se identificaron las coberturas de suelo en el Cantón Zapotillo durante el período 1986 al 2016. Los mapas de cobertura y uso de suelo corresponden a una escala de impresión 1:250 000. Se recalca que las coberturas nubes y sombra de nubes estuvieron presentes únicamente en dos mapas y fue necesario considerarlas como tal dado que en las imágenes satelitales se identificó la presencia de nubosidad que, aunque era menos al 20 % no se pudo descartar para evitar este sesgo en el uso e identificación de las otras clases.

La Tabla 3 muestra que, en el año 1986 la cobertura de bosque ocupaba la mayor extensión con un área de 69 575,64 ha, el cual representaba el 57,34 % del área total de Zapotillo. La cobertura de suelo descubierto poseía un área de 33 315,45 ha (27,46 %) seguido estaba la vegetación arbustiva y herbácea ocupando un total de 11 839,27 ha (9,76 %). La agricultura representaba el 1,83 % porque se distribuía sobre 221,60 ha, luego se tienen los cuerpos de agua con una extensión de 432,11 ha, lo que equivaldría a 0,36 % y por último estaba la zona antrópica ocupando una extensión de 295,33 ha, es decir, un 0,24 %. Las coberturas identificadas como nubes y sombras de nubes tuvieron una extensión de 1 146,93 ha (0,95 %) y 2 502,00 ha (2,06 %), respectivamente (ver Figura 5).

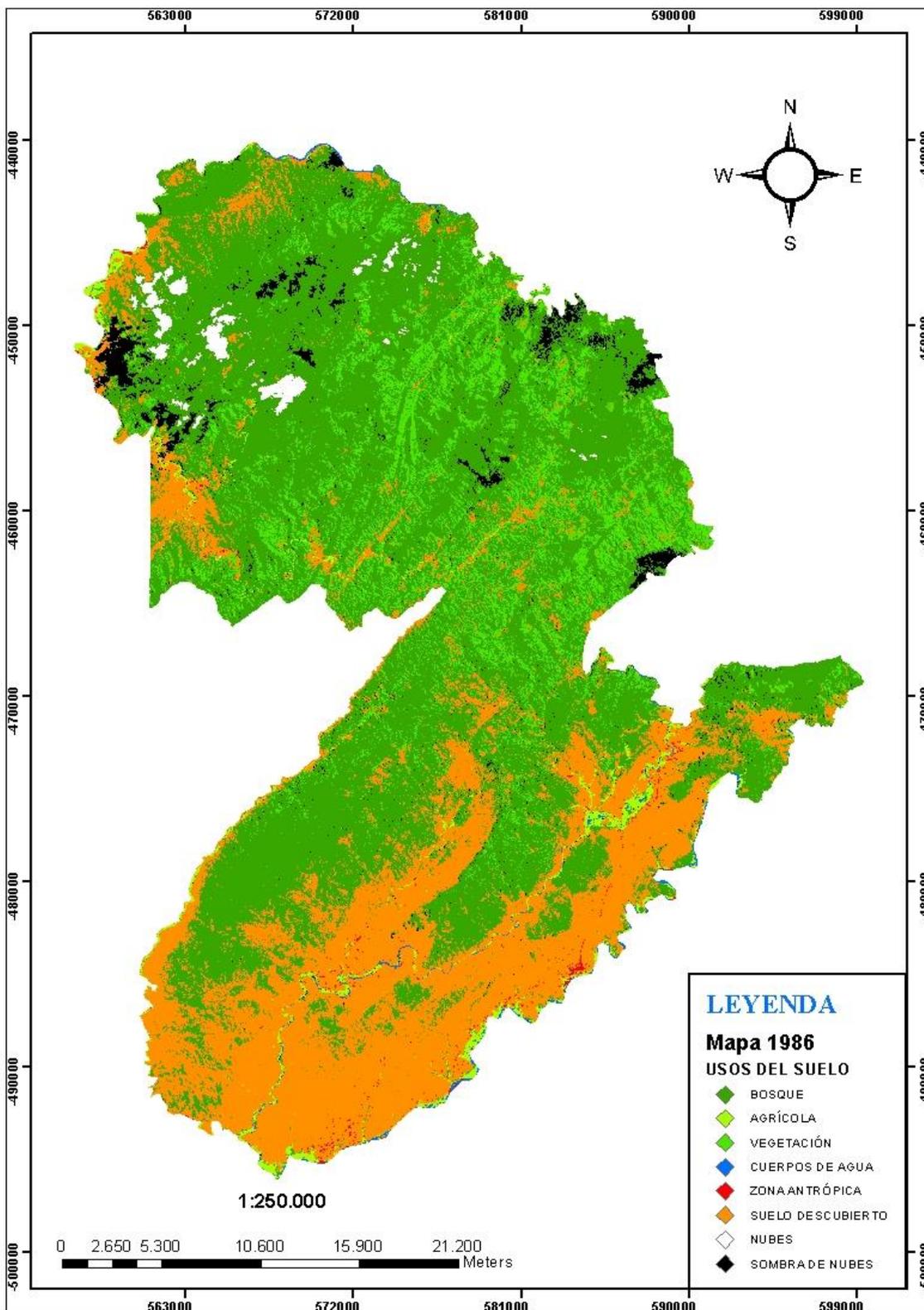


Figura 5. Mapa de cobertura de uso de suelo del Cantón Zapotillo, 1986
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1986.

Código	Cobertura	Área(ha)	%
1	Bosque	69 575,64	57,34
2	Agrícola	2 221,60	1,83
3	Vegetación	11 839,27	9,76
4	Cuerpos de Agua	432,11	0,36
5	Zona Antrópica	295,33	0,24
6	Suelo descubierto	33 315,45	27,46
7	Nubes	1 146,93	0,95
8	Sombra de nubes	2 502,00	2,06
TOTAL		121 328,32	100,00

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 muestra que, en el año 1996 la cobertura de bosque ocupaba la mayor extensión, con un área de 63 225,14 ha, la cual representaba el 52,11 % del área total de Zapotillo. La cobertura de suelo descubierto poseía un área de 38 290,26 ha (31,56 %) seguido estaba la vegetación arbustiva y herbácea ocupando un total de 14 501,80 ha (11,95 %). Los cuerpos de agua representaban el 3,04 % porque se distribuían sobre 3 693,91 ha, luego se tenía la agricultura con una extensión de 1 159,42 ha, lo que equivalía a 0,96 %, y por último estaba la zona antrópica ocupando una extensión de 458,41 ha, es decir, un 0,38 % (ver Figura 6).

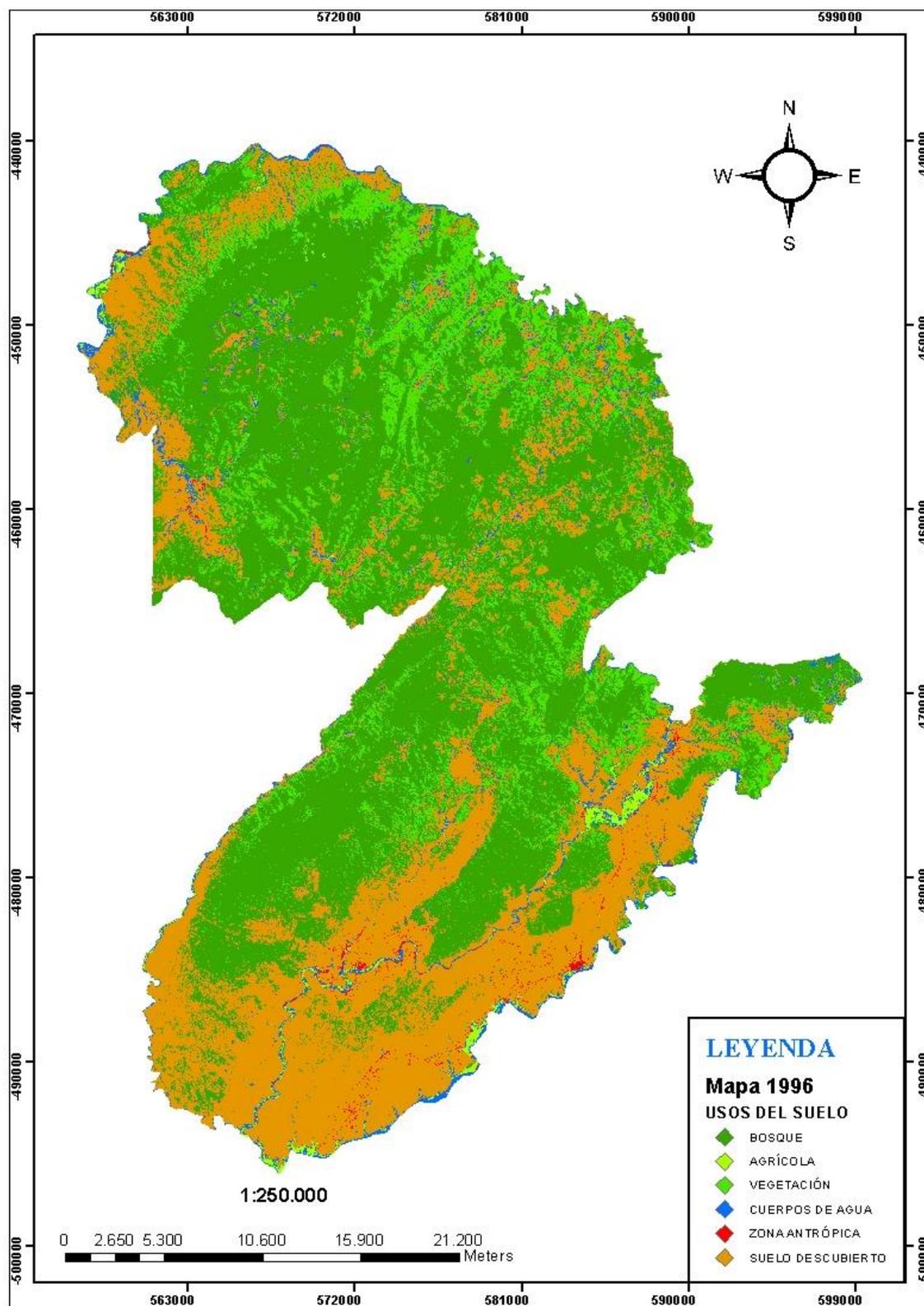


Figura 6. Mapa de cobertura de uso de suelo del Cantón Zapotillo, 1996.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 1996.

Código	Cobertura	Área(ha)	%
1	Bosque	63 225,14	52,11
2	Agrícola	1 159,42	0,96
3	Vegetación	14 501,80	11,95
4	Cuerpos de Agua	3 695,91	3,04
5	Zona Antrópica	458,41	0,38
6	Suelo descubierto	38 290,26	31,56
	TOTAL	121 328,94	100

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 5 muestra que, en el año 2006 la cobertura de bosque ocupaba la mayor extensión, con un área de 57 016,56 ha, la cual representaba el 46,99 % del área total de Zapotillo. La cobertura de suelo descubierto poseía un área de 41 710,15 ha (34,38 %) seguido estaba la vegetación arbustiva y herbácea ocupando un total de 17 691,43 ha (14,58 %). Los cuerpos de agua representaban el 1,24 % porque se distribuía sobre 1 498,47 ha, luego se tenía la cobertura agrícola con una extensión de 1 079,73 ha, lo que equivalía a 0,89 % y, por último, estaba la zona antrópica ocupando una extensión de 385,01 ha, es decir, un 0,32 %. Las coberturas identificadas como nubes y sombras de nubes tuvieron una extensión de 1 263,35 ha (1,04 %) y 683,93 ha (0,56 %), respectivamente (ver Figura 7).

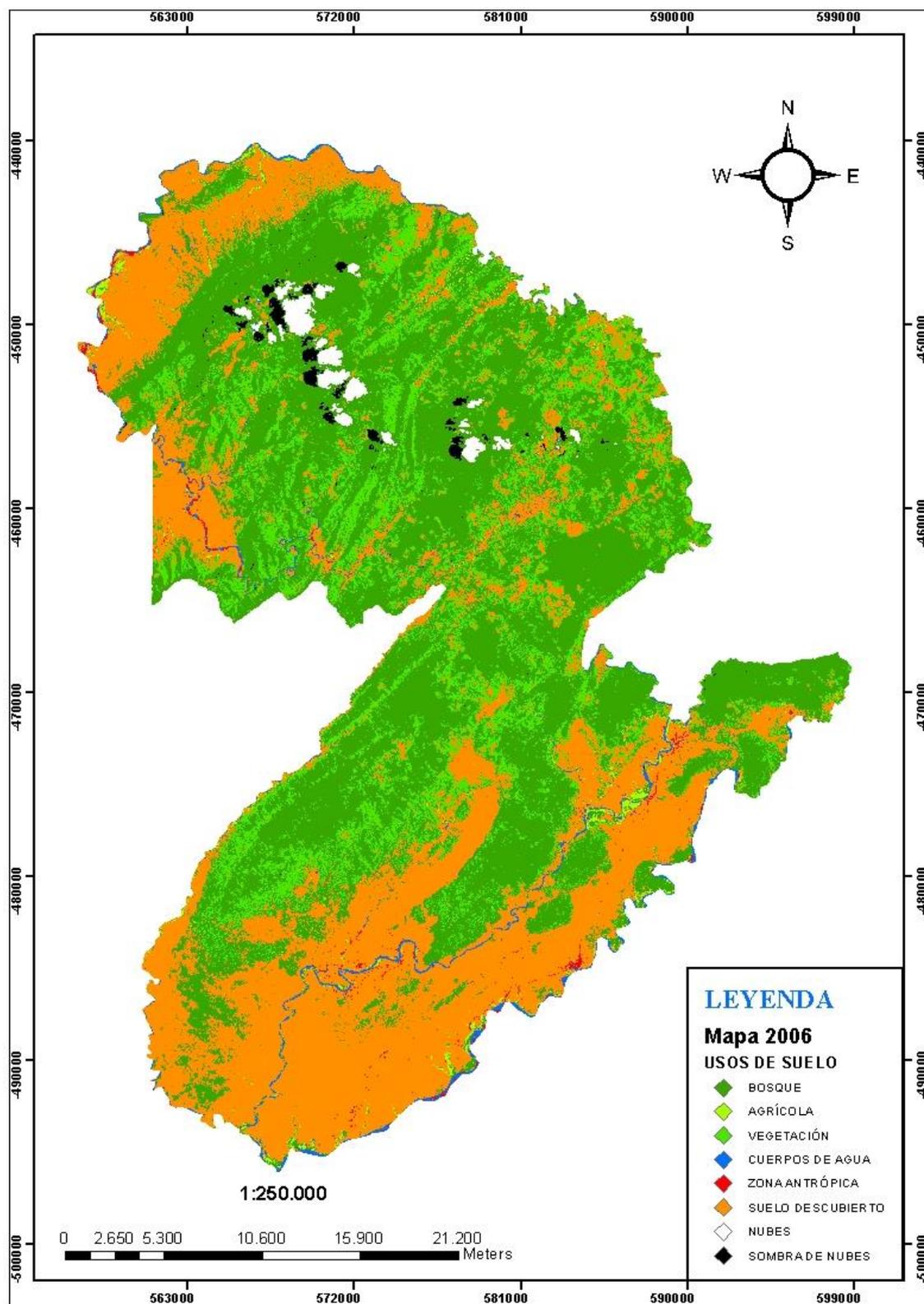


Figura 7. Mapa de cobertura de uso de suelo del Cantón Zapotillo, 2006.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2006.

Código	Cobertura	Área(ha)	%
1	Bosque	57 016,56	46,99
2	Agrícola	1 079,73	0,89
3	Vegetación	17 691,43	14,58
4	Cuerpos de Agua	1 498,47	1,24
5	Zona Antrópica	385,01	0,32
6	Suelo descubierto	41 710,15	34,38
7	Nubes	1 263,35	1,04
8	Sombra de nubes	683,93	0,56
TOTAL		121 328,62	100,00

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6 muestra que, en el año 2016 la cobertura de bosque ocupaba la mayor extensión con un área de 55 307,02 ha, la cual representaba el 45,58 % del área total de Zapotillo. La cobertura de suelo descubierto poseía un área de 49 989,26 ha (41,20 %) seguido estaba la vegetación arbustiva y herbácea ocupando un total de 7 610,25 ha (6,28 %). La agricultura representaba el 4,76 % porque se distribuía sobre 5 771,08 ha. El siguiente valor en importancia lo ocupaban los cuerpos de agua con una extensión de 1 854,93 ha, lo que equivalía a 1,53 % y, finalmente estaba la zona antrópica ocupando una extensión de 792,11 ha, es decir, un 0,65 % (ver Figura 8).

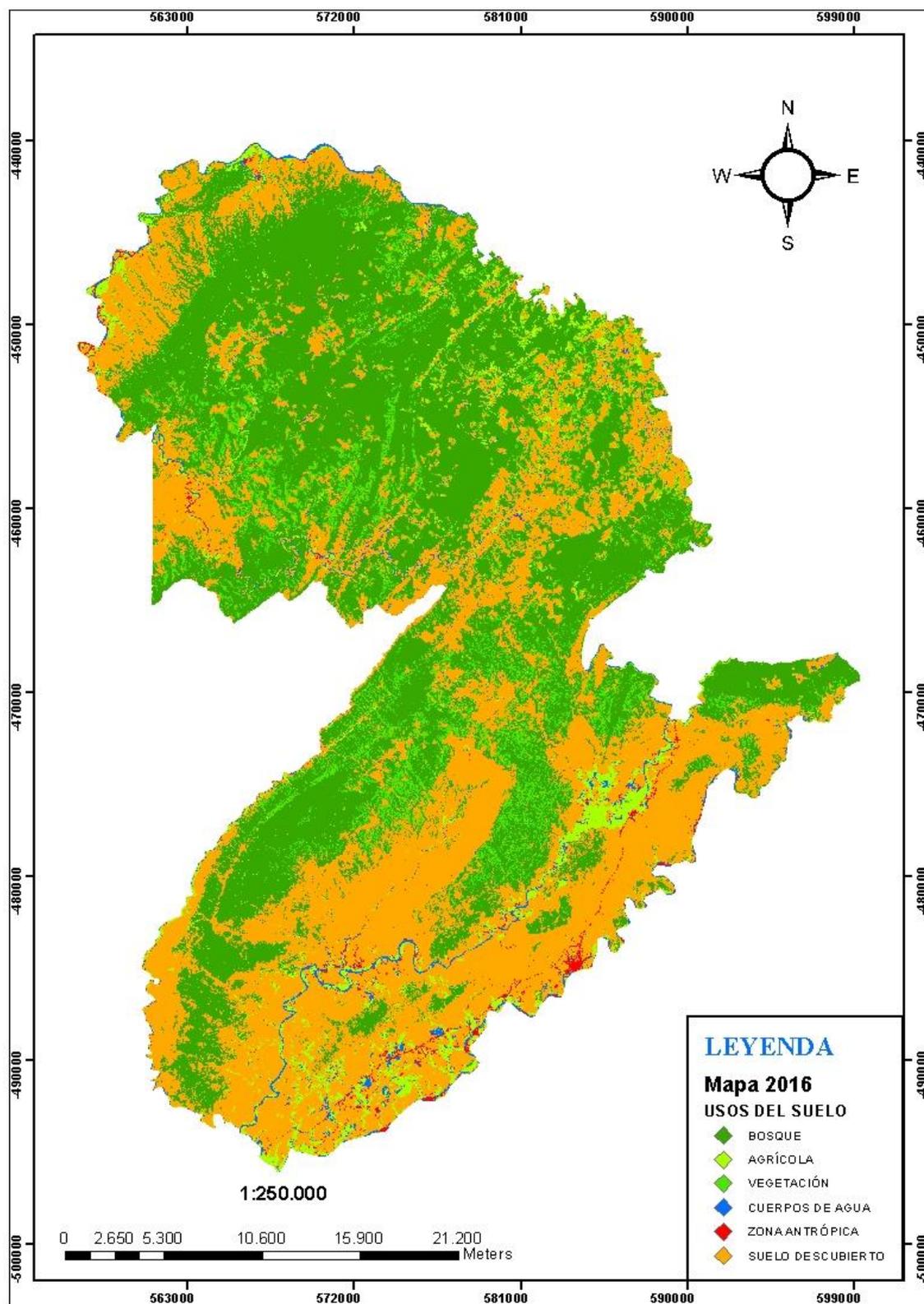


Figura 8. Mapa de cobertura de uso de suelo del Cantón Zapotillo, 2016.
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura y uso de suelo del año 2016.

Código	Cobertura	Área(ha)	%
1	Bosque	55 307,02	45,58
2	Agrícola	5 771,08	4,76
3	Vegetación	7 614,25	6,28
4	Cuerpos de Agua	1 854,93	1,53
5	Zona Antrópica	792,11	0,65
6	Suelo descubierto	49 989,26	41,20
TOTAL		121 328,64	100

Fuente: Elaboración propia

Cuantificación del cambio en el uso del suelo en el cantón Zapotillo

Mediante la aplicación de la metodología seleccionada, se presenta la cuantificación y validación de cada una de las coberturas vegetales en los años 1986, 1996, 2006 y 2016 (ver Figura 9). La categoría de bosque del 69 575,64 ha en 1986, reduce su cobertura a 55 307,02 ha en 2016, es decir, la reducción fue del 20,51 %. La misma tendencia se da en la vegetación arbustiva y herbácea, donde de 11 839,27 ha se redujo a 7 610,25 ha, teniendo una pérdida para el año 2016 del 35,72 %. Para el año 2016 el suelo descubierto tiene un aumento de 33,35 %, es decir, de 33 315,45 ha aumentó a 49 989,26 ha. Así mismo la zona antrópica ha aumentado de 295,33 ha en 1986 a 792,11 ha en 2016, lo que se traduce en un incremento del 62,72 %. Otro problema pudo haber sido el crecimiento del sector agrícola, el cual del 2 221,60 ha en el año 1986 ascendió al 5 771,08 ha para el año 2016, es decir, un aumento del 61,50 %. Los cuerpos de agua tienen igual tendencia de aumento ya que del 0,36 % que tuvo en 1986 aumentó a 1,53 % en el 2016. Las nubes y sombras de nubes se refieren a la reflectancia que presentó la imagen el día en el que el satélite la tomó, por ende, solamente las imágenes de 1986 y 2006 presentaron estos inconvenientes y se los consideró en el análisis para que la clasificación no presente errores.

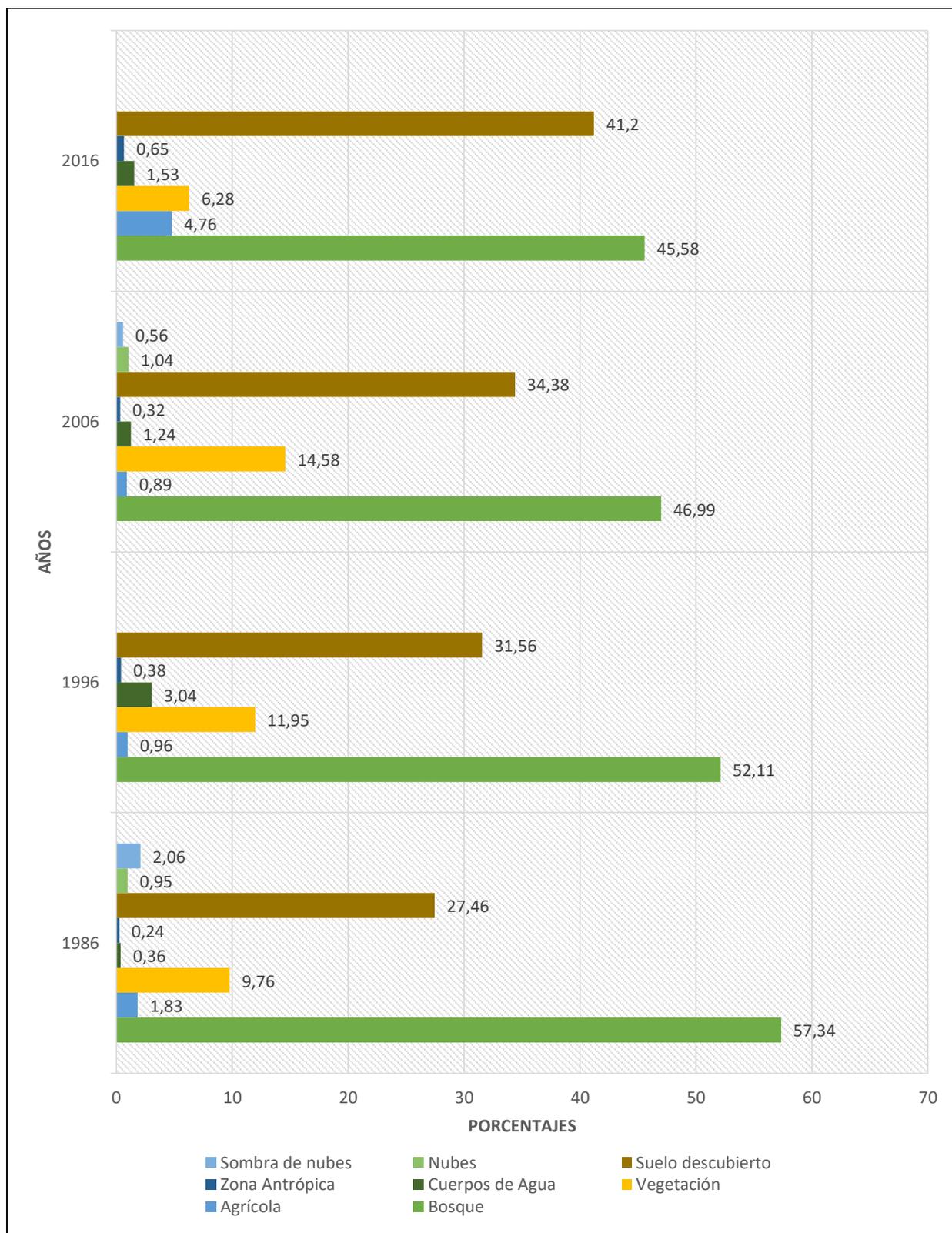


Figura 9. Uso del suelo del Cantón Zapotillo de los años 1986,1996, 2006 y 2016.

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada las clasificaciones en los años 1986, 1996, 2006 y 2016, se calcularon las matrices de confusión por cada año, mediante una relación entre la imagen y la clasificación supervisada, con esta matriz se obtuvo la precisión global de la clasificación y el índice Kappa, con los cuales se validó la clasificación con los (121 328,32 ha) estudiadas.

Mediante los resultados obtenidos en la matriz de confusión de los años 1986, 1996, 2006 y 2016 se pudo calcular la precisión global de los mapas de cambio sumando todos los puntos que según visualización coincidían con los puntos ubicados en cada una de las coberturas y el cálculo del Índice Kappa, para los períodos 1996 y 2006 tiene un rango de 0,61 - 0,79 con fuerza de concordancia de buena. Los períodos de 1986 y 2016 están presente dentro del rango 0,80 – 1 % con una fuerza de concordancia de muy buena (ver Tabla 7).

Tabla 7. Resultados Precisión Global e Índice Kappa.

Período	Precisión global	Índice Kappa	Fuerza de concordancia
1986	0,89	0,80	Muy Bueno
1996	0,86	0,77	Bueno
2006	0,87	0,76	Bueno
2016	0,91	0,86	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

4.2. Indicadores del subsistema natural

De acuerdo a los resultados obtenidos en los mapas de cambio de uso del suelo en el cantón Zapotillo se calculó los indicadores del subsistema natural en sus tres componentes producción, forestal y conservación.

Tasa de deforestación

En la Tabla 8 se muestra la tasa de deforestación que fue realizada con cuatro comparaciones entre 1986-1996; 1996-2006; 2006-2016; y, 1986-2016. En todas las comparaciones tenemos valores de pérdida forestal la mayor pérdida ocurrió entre el año 1996 y 2006 que es de 1,03 % (ver Anexo 20); seguidamente entre los años 1986 y 1996 existió una pérdida de 0,95 % (ver Anexo 19); y, por último, la pérdida entre los años 2006 y 2016 que asciende a una pérdida de

0,30 % (ver Anexo 21). En forma global, en los treinta años de estudio, es decir, entre 1986 y 2016 se obtuvo una pérdida de la cobertura vegetal de 0,76 % (ver Anexo 22).

Tabla 8. Tasa de deforestación de los años en estudio.

Años de comparación	Periodo a comparar	% de deforestación
1986-1996	10	-0,95
1996-2006	10	-1,03
2006-2016	10	-0,30
1986-20016	30	-0,76

Fuente: Elaboración propia

Tasa de cambio en vegetación y uso del suelo

En la Tabla 9 se muestra la tasa de cambio que vivió el cantón Zapotillo durante los treinta años, los cuerpos de agua entre los treinta años asciende a 14,80 % existiendo un mayor cambio, seguido estaba la cobertura de zona antrópica la cual es de 9,25 %. La cobertura agrícola representa el 8,96 % de cambio, luego teníamos la cobertura suelo descubierto el cual sufrió un cambio de 5,17 %, continuo estaba la cobertura de bosque teníamos un cambio del 2,74 %, y, por último, estaba la cobertura vegetación arbustiva y herbácea teníamos un cambio del 2,22 % en el territorio de Zapotillo en el período de estudio de los treinta años.

Tabla 9. Porcentaje tasa de cambio de los períodos 1986-2016, 1986-1996, 1996-2006, 2006-2016.

Uso de Suelo	1986-1996	1996-2006	2006-2016	1986-2016
Bosque	10,10	10,02	10,78	2,74
Agrícola	5,80	10,35	59,39	8,96
Vegetación	13,61	13,55	4,78	2,22
Cuerpos de Agua	95,04	4,50	13,75	14,80
Zona Antrópica	17,25	9,33	22,86	9,25
Suelo descubierto	12,77	12,10	13,32	5,17

Fuente: Elaboración propia

Relación cobertura natural/cobertura antrópica

El valor de antropización que se muestra a continuación se basa en la valoración que consta en el Cuadro 3, donde cada código pertenece a un tipo de cobertura. El Anexo 27 muestra el índice de antropización del año 1986, la cobertura del bosque tuvo con un promedio de 56,35 %,

seguido estaba la cobertura de suelo descubierto (con un promedio de 30,48 %). La cobertura de vegetación arbustiva y herbácea con un promedio de 9,78, luego se tiene la cobertura agrícola con un promedio de 2,39 %, seguida estaba la cobertura cuerpo de agua con un promedio de 0,10 %, y por último se tuvo la cobertura antrópica con un promedio de 0,35 %. El porcentaje de antropización para el año de 1986, fue del 0,13 % (Anexo 23).

El Anexo 28 muestra la valoración de antropización del año 1996, donde se observa que el mayor territorio con nivel de antropización pertenece a la cobertura bosque con un promedio de 46,52 %, seguido estaba la cobertura suelo descubierto con un promedio de 38,28 %. La vegetación arbustiva y herbácea con un promedio de 11,52 %, luego teníamos la cobertura cuerpos de agua con un promedio de 1,80 %, seguida estaba la cobertura agrícola con un promedio de 1,45 %, y por último la cobertura antrópica con un promedio de 0,42 %. El porcentaje de valoración de antropización es de 0,15 % para el año de 1996 (Anexo 24).

El Anexo 29 muestra el índice de antropización del año 2006, donde la mayor parte pertenece a la cobertura bosque con un promedio de 44,48 %, seguido estaba la cobertura vegetación arbustiva y herbácea con un promedio de 42,72 %. La cobertura suelo descubierto con un promedio de 9,22 %, luego teníamos la cobertura cuerpos de agua con un promedio de 1,52 %, seguida estaba la cobertura agrícola con un promedio de 1,48 %, y por último la cobertura antrópica con un promedio de 0,59 %. El porcentaje de antropización para el año 2006 fue de 0,16 % (ver Anexo 25).

El Anexo 30 muestra el índice de antropización del año 2016, cuya mayor parte pertenece a la cobertura bosque con un promedio de 40,65 %, seguido estaba la cobertura suelo descubierto con un promedio de 48,35 %. La cobertura vegetación arbustiva y herbácea con un promedio de 4,96 %, luego teníamos la cobertura agrícola con un promedio de 3,30 %, seguido estaba la cobertura cuerpos de agua con un promedio de 1,70 %, y por último la cobertura antrópica con

un promedio de 1,05 %. El porcentaje de antropización para el año 2016 fue de 0,18 % (ver Anexo 26).

Tabla 10. Valorización de antropización del período 1986 – 2016.

Año	Promedio	Porcentaje
1986	12,7	0,13 %
1996	15,1	0,15 %
2006	16,1	0,16 %
2016	18,4	0,18 %

Fuente: Elaboración propia

Extensión de la frontera agrícola

En cuanto a la extensión de la frontera agrícola según la Tabla 11, se muestran los porcentajes de extensión en los treinta años de estudio desde 1986 al 2016. En lo que respecta a la extensión de la frontera agrícola en el bosque (ver Anexo 34), se muestran los treinta años de estudio teniendo una ganancia de 2,30 % del área agrícola con respecto a los bosques. De igual manera, en el Anexo 42, se muestra una ganancia de la zona agrícola en suelos descubiertos de un 2,17 %. El Anexo 38 muestra la ganancia que tuvo la agricultura en lugares de vegetación arbustiva y herbácea de un 1,17 %. En lo que respecta a la pérdida de la zona agrícola se tiene mayor pérdida con respecto a la vegetación arbustiva y herbácea de un 3,31 % (ver Anexo 38), seguidamente la pérdida de la zona agrícola en suelo descubierto del 2,41 % (ver Anexo 42) y finalmente la pérdida de la zona agrícola en la cobertura de bosque es 2,29 % (ver Anexo 34). En cuanto a la parte de no cambio de la zona, tiene una mejor conservación en lo que se relaciona a la vegetación arbustiva y herbácea en un 83,03 % (ver Anexo 38). Así mismo, la conservación con respecto a suelo descubierto en un 74,70 % (ver Anexo 42) y por último tiene una conservación con respecto a bosque de un 68,05 % ver Anexo 34.

Tabla 11. Extensión de la frontera agrícola.

	Bosque		Vegetación arbustiva y herbácea		Suelo descubierto	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%
Ganancia	22 656,832061	18,69	9 514,056651	7,85	3 565,110881	2,94

Ganancia agrícola	2 793,917101	2,30	1 420,574755	1,17	2 630,210335	2,17
Conservación	82 498,469546	68,05	100 661,619129	83,03	90 567,318721	74,70
Perdida agrícola	2 780,657915	2,29	4 013,986231	3,31	2 919,647452	2,41
Perdida	10 501,165162	8,66	5 621,289748	4,64	21 551,481688	17,78

Fuente: Elaboración propia

Áreas naturales protegidas (ANP)

En la Figura 10 se muestra el mapa de ecosistemas frágiles en el cantón Zapotillo, el cual tiene siete categorías. Este tipo de áreas protegidas ocupan la mayor extensión del cantón, con un área de 45 200,95 ha, el cual representaba el 37,37 % para la categoría de bosque deciduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo. Seguida estaba la categoría bosque deciduo piemontano de Catamayo-Alamor con un área de 24 966,42 ha, es decir, 20,64 %, luego la categoría intervención con una extensión de 20 106,99 ha (16,62 %). La categoría bosque semideciduo piemontano de Catamayo-Alamor, con un área de 16 617,62 ha, representaba el 13,74 %. Luego se tiene la categoría que corresponde a bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas de Jama-Zapotillo, con una extensión de 13 380,53 ha, lo que equivaldría a 11,06 %. También existen espacios “sin información” con 629,66 ha (0,52 %) y por último la categoría agua con un área de 68,74 ha correspondiente a 0,06 %.

La Figura 11 muestra los bosques y vegetación del Cantón Zapotillo, donde existe la reserva de bosque seco La Ceiba, con una extensión de 9 172,85 ha que representa el 7,58 % del cantón.

La Figura 12 muestra que en el Cantón Zapotillo existen diversas áreas bajo protección, las cuales son de tipo privado, que pertenecen a varios hacendados del lugar. En cuanto a los resultados del mapa de mancomunidades, el cantón Zapotillo en su totalidad, pertenece a la mancomunidad del bosque seco, así como a la reserva de la biosfera del mismo nombre. Todo el cantón en estudio pertenece a ambas categorías de conservación para el bosque seco.

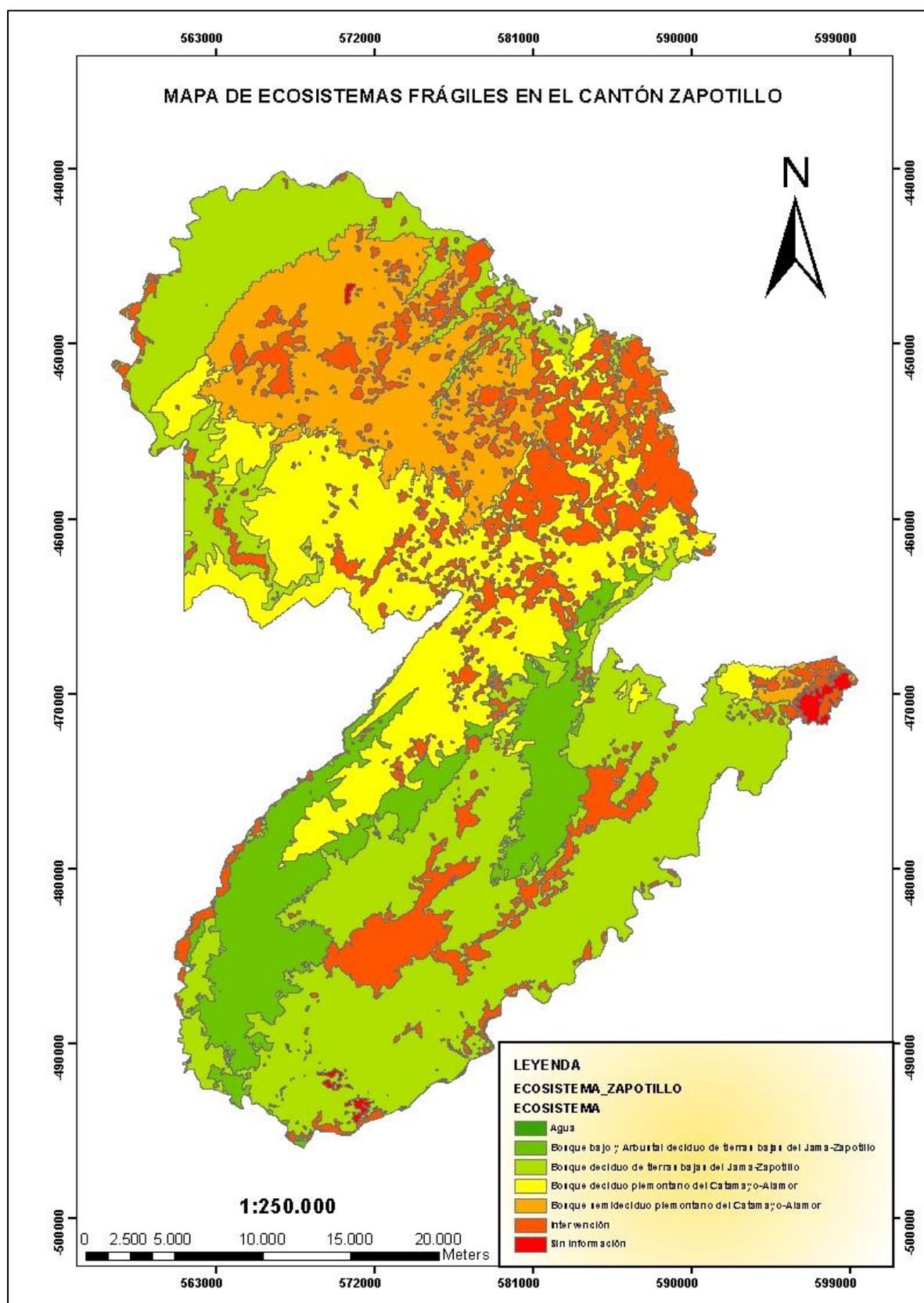


Figura 10. Ecosistemas frágiles en el Cantón Zapotillo.

Fuente: Elaboración propia

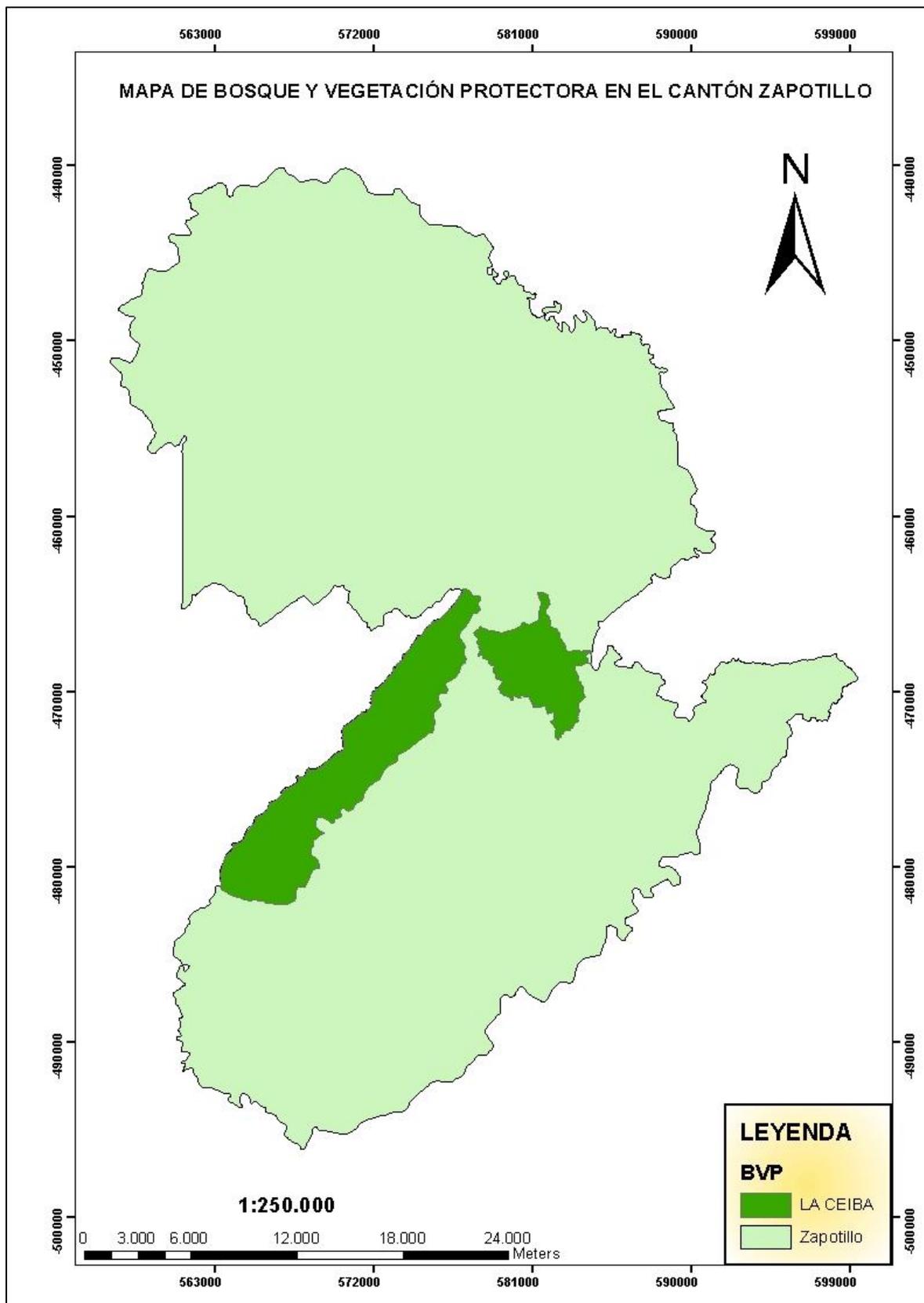


Figura 11. Bosque y vegetación protectora en el Cantón Zapotillo.

Fuente: Elaboración propia

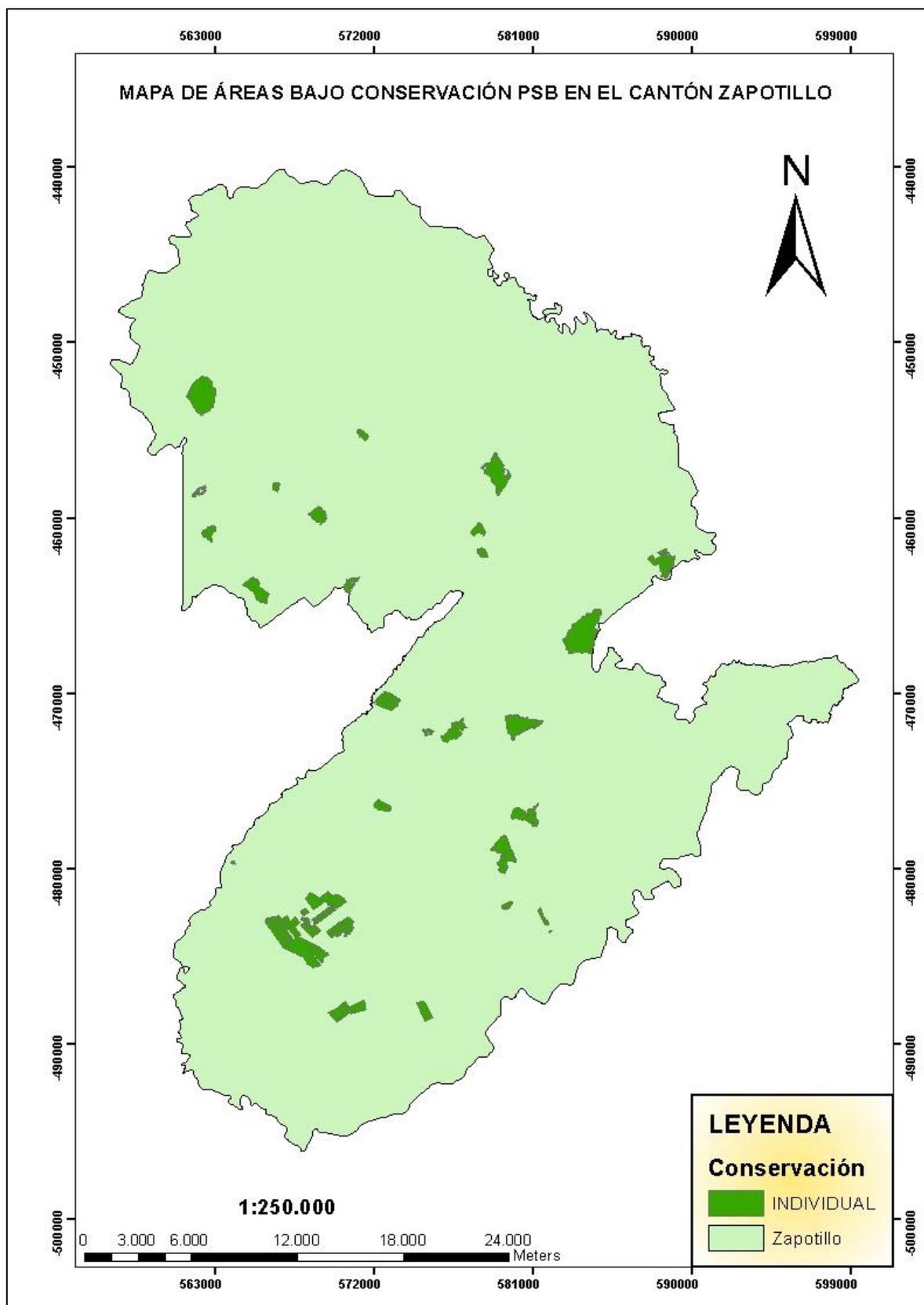


Figura 12. Áreas bajo conservación.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Lineamientos Estratégicos

Una vez desarrollado el análisis multi-temporal y obtenidos los indicadores de subsistema natural es necesario plantear lineamientos estratégicos a partir de los análisis realizados para así coadyuvar a una solución encaminada a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales para fortalecer la planificación y mejorar la calidad de vida de los habitantes del cantón. Dichos lineamientos pueden apuntalar la elaboración y ejecución en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Zapotillo.

Lineamiento 1

Garantizar las unidades territoriales de protección actual y manejo sustentable de Áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, para asegurar de forma permanente la provisión de los servicios ecosistémicos que sustentan el bienestar y el desarrollo humano.

Cuadro 4. Lineamiento estratégico para las Áreas Naturales Protegidas

<i>Áreas naturales protegidas en Zapotillo</i>
<p>El cantón Zapotillo posee ecosistemas frágiles en diferentes categorías como muestra la Figura 10, pues posee la reserva La Ceiba que pertenece al bosque seco como lo muestra la Figura 11. El cantón pertenece a la comunidad y reserva de biosfera de bosque seco. Estos sitios demandan oportunidad para gestionar apropiadamente el territorio y proponer medidas alternativas y sustentables de desarrollo.</p> <p>La pérdida de bosque denso y semidenso ascendió a 20,51 % de 1986 a 2016 de igual forma se perdió vegetación tanto arbustiva como herbácea en un 33,35 % en los treinta años de estudio. En cuanto al suelo descubierto ha ganado territorio en estos treinta años de estudio de 1986 al 2016 aumentó un 33,35 % una de las principales causas es por la presencia de especies invasoras el ganado Caprino causando daños a los ecosistemas nativos.</p>
<i>Los efectos o alteraciones ocasionadas en Áreas Naturales Protegidas.</i>
<p>El cantón Zapotillo enfrenta las siguientes amenazas o alteraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La expansión de la frontera agrícola, la ocupación de territorios con fines de cultivo y la implementación de ganado caprino por estas áreas. • El incremento de las zonas antrópicas el cual en el 2016 según Anexo 26 obteniendo un grado de antropización del 0,18 %. • El canal de riego de Zapotillo.
Proponer acciones a implementar
<p>Según las afectaciones del territorio, la propuesta está basada en la conservación y protección de los espacios naturales, los cuales generan servicios ecosistémicos para la población, quienes deberán:</p>

- Implementar un sistema de manejo de los recursos naturales del bosque seco que permita el aprovechamiento del territorio, en convenio con el GAD's Parroquiales, GAD Cantonal, GAD Provincial, Ministerio del Ambiente y Agua y la Mancomunidad de Bosque Seco.
- Plantear un proyecto de ecoturismo comunitario con el manejo de recursos de manera sostenible en los territorios donde se produce el florecimiento de los guayacanes y otras reservas como La Ceiba en conjunto con el GAD Cantonal, Ministerio del Ambiente y Agua, Ministerio de Turismo y GAD Provincial.
- Efectuar un proyecto con el objetivo de conservar el bosque seco mediante el control de la conservación en el bosque y la producción agrícola sostenible en la zona de amortiguamiento, con el apoyo del Banco del estado y la supervisión del Ministerio del Ambiente y Agua.
- Realizar proyecto REDD Reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques a través del GAD Municipal de Zapotillo implementado ordenanzas e incentivos para reducir las emisiones de la deforestación y apoyar la conservación y aumento de reservas existentes de carbono de los bosques.

Delimitación de sitios o áreas a implementar las acciones propuestas

En el Cantón Zapotillo. La zonificación se efectuará considerando:

Zonificación de bosques

Zona de Restauración: Son áreas con tierras erosionadas, vertientes desprotegidas, pastizales degradados, que podrán ser objeto de recuperación ya sea por regeneración natural, por sistemas de enriquecimiento o por plantación directa. Se procurará la restauración o repoblación forestal de áreas sin cobertura vegetal, que se encuentran dentro de esta zona.

En la Zona de Protección Permanente, los bosques secos nativos no podrán ser convertidos a otros usos y en caso de haber sido severamente intervenidos, estos podrán ser manejados para recuperación únicamente con especies nativas de la zona.

Fuente: Elaboración propia

Lineamiento 2

Controlar la expansión de la frontera agrícola, en el marco de una cultura de manejo responsable del ambiente que incluya reparación de los suelos desertificados.

Cuadro 5. Lineamiento estratégico para el sector agrícola

Expansión de la frontera agrícola

En el Anexo 34 del mapa de expansión de la frontera agrícola, indica que la agricultura se expandió en un 2,3 % de la cobertura de bosque en los treinta años de análisis. Así mismo, como muestra el Anexo 38, la actividad agrícola cubre áreas de suelos descubiertos, en un 2,17 %. Por su parte, en lo que se refiere a la vegetación arbustiva y herbácea, la producción agropecuaria se ha incrementado en un 1,17 %.

<i>Los efectos o alteraciones ocasionadas por la expansión de la frontera agrícola.</i>
<p>El cantón Zapotillo enfrenta las siguientes amenazas o alteraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la biodiversidad, especialmente bosque nativo, vegetación arbustiva y herbácea; así como especies faunísticas. • Incremento de procesos de desertificación debido a los incendios ocasionados para el sembrío, pérdida de nutrientes en el suelo, cultivos no rotativos y agricultura no sostenible.
Proponer acciones a implementar
<p>Según las afectaciones del territorio, la propuesta está basada en remediación, tratamiento y recuperación de suelos contaminados, esto implica controlar, disminuir o eliminar contaminantes y sus efectos; y también, la recuperación de su capacidad productiva, a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proyectos de siembra rotativa y protección de servicios ecosistémicos y la biodiversidad en convenio con el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el GAD Cantonal, los GAD's Parroquiales y el GAD Provincial. • Proyectos de cultivos garantizando el mejoramiento de los suelos y de la humedad de la tierra, enriqueciendo la plataforma alimenticia para garantizar la seguridad alimentaria de toda la comunidad, y aprovechar al máximo la materia prima generada conjuntamente con el GAD Cantonal y GAD's Parroquiales y Ministerio de Agricultura y Ganadería. • Implementar talleres de educación ambiental dirigida a agricultores y ciudadanía en general en el marco de una agricultura amigable con el ambiente donde se mostrarán los beneficios de contar con un bosque nativo se lo realizará en convenio con el Ministerio de Agricultura y Ganadería y Ministerio del Ambiente y Agua. • Diversificar la producción agropecuaria para recuperar suelos mediante la implementación y promoción agricultura familiar a través del GAD Municipal de Zapotillo.
Delimitación de sitios o áreas a implementar las acciones propuestas
<p>El cantón Zapotillo y sus parroquias.</p> <p>Restricción en áreas protegidas y condicionamiento en franja de 2 km alrededor de las mismas. Restricción en áreas de conservación del Programa Socio Bosque.</p>

Fuente: Elaboración propia

Lineamiento 3

Minimizar el impacto de la deforestación en zonas de bosque y vegetación nativas ocasionado por actividades humanas mediante la implementación de acciones de adaptación y mitigación.

Cuadro 6. Lineamiento estratégico para el sector forestal

<p><i>Cambios en los patrones de deforestación</i></p>
<p>Según Anexo 20, donde se muestra la tasa de deforestación, la mayor pérdida de plantaciones forestales ha ocurrido en el período de 1996 al 2006, el cual corresponde al 1,03 %. En los treinta años de deforestación analizados, se obtuvo una pérdida de cobertura vegetal de 2,27 %.</p> <p>En cuanto a la tasa de cambio (ver Tabla 9), en los treinta años la categoría vegetación arbustiva y herbácea es de 2,22 %, de igual forma la tasa de cambio que experimentó los bosques es de 2,74 %. En los resultados de cambio de uso de suelo (ver Figura 9), la cobertura bosque en los treinta años de estudio tuvo una reducción para el 2016 de 20,51 % de igual forma la vegetación arbustiva y herbácea teniendo una pérdida del 35,72 % en el 2016. Ganando territorio suelos descubiertos, zona antrópica y el sector agrícola en un (33,35 %), (62,72 %) y (61,50 %) respectivamente.</p>
<p><i>Los efectos o alteraciones ocasionadas por la deforestación.</i></p>
<p>El cantón Zapotillo enfrenta las siguientes amenazas o alteraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la biodiversidad. • Pérdida de conectividad y funcionalidad de los ecosistemas. • Alteración del ciclo del agua, ya que los bosques son los que protegen las microcuencas evitando la erosión de los suelos y el cambio climático.
<p>Proponer acciones a implementar</p>
<p>Según las afectaciones del territorio, la propuesta está basada en la recuperación de la funcionalidad de aquellos sitios afectados por el desarrollo de actividades antrópicas no compatibles con sus aptitudes agrológicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plantear programas de apoyo al Plan Nacional de Forestación y Reforestación, especialmente en los temas de financiamiento, capacitación e investigación forestal en convenio con el MAG y GAD Parroquial, Cantonal y Provincial. • Proyecto de restauración integral con la comunidad de plantaciones para la recuperación, conservación y protección de recursos naturales en convenio con el Ministerio del Ambiente y Agua, GAD Cantonal y Parroquiales. • Implementar programas de educación ambiental para jóvenes y adultos, dictando charlas de la importancia de mantener la vegetación y bosque nativo del lugar en colegios del cantón mediante Ministerio del Ambiente y Agua y GAD Municipal de Zapotillo.

- Promover la participación de la comunidad local para el desarrollo de actividades sostenibles a través de capacitaciones, así como el fortalecimiento de la comunidad con el GAD Municipal de Zapotillo.

Delimitación de sitios o áreas a implementar las acciones propuestas

Cantón Zapotillo y sus parroquias.

Partes altas de microcuencas considerando de importancia hidrológica.

Zonas desprovistas de vegetación.

Fuente: Elaboración propia

5. DISCUSIÓN

En el presente apartado se muestran los principales resultados de caracterización del subsistema natural del cantón Zapotillo, para el diagnóstico de sus planes de ordenamiento territorial en el período 1986 – 2016. Lo cual permitió conocer los cambios ocurridos en la cobertura y uso del suelo, siendo este tipo de análisis fundamental en los procesos de planificación y ordenamiento territorial para los Gobiernos Autónomos Descentralizados cantonales.

Análisis multitemporal del cantón Zapotillo.

En los 30 años que comprende el estudio, las categorías de: bosque, vegetación arbustiva y herbácea han disminuido en superficie; la cobertura de suelo descubierto, agrícola, cuerpos de agua, zona antrópica muestran un incremento en superficie; y en lo que respecta a nubes y sombras de nubes no se analizó, debido a que en estas categorías no existe la posibilidad de identificar el tipo de cobertura y uso.

En un estudio reciente de Morocho Lalvay (2019) realizado en los cantones de Zapotillo y Pindal, se desarrolla un análisis multi-temporal de los años 1983 y 2012, donde muestra que existe una pérdida de bosque de 8,81 %. Por otro lado según Alvarez y Aguirre (2015) en un estudio del cantón Zapotillo donde ejecutan un análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en todo el cantón, para el período 2000 al 2010 alcanzan una disminución de bosque del 5,91 %. Mientras que los datos presentados por FAO (2016) donde sustenta que ha existido una gran disminución de la cobertura de bosque y aumento de tierras agropecuarias entre los años de 1990 – 2016, menciona que grandes extensiones de bosque han sido deforestadas en la provincia de Loja para ser utilizadas como suelos agrícolas debido a que la productividad agrícola aumentó progresivamente.

En el Anexo 9 se muestra la gran pérdida de uso de suelo de categoría bosque ocupando 69 575,64 ha para el año de 1986 y una disminución a 55 307, 02 ha con respecto al 2016, lo que

representa la disminución del 11,76 %. Esta disminución se ve marcada en el cantón porque la mayor proporción de territorio pertenece a zonas de conservación y protección de bosques secos nativos (Aguirre Mendoza *et al.*, 2017).

Estudios realizados de Bedoya *et al.* (2016), demuestran que la disminución de este tipo de coberturas deterioran el ecosistema por ampliación de la frontera agrícola y prácticas ganaderas por el pisoteo del ganado, lo cual acelera el proceso de erosión impidiendo la regeneración y recuperación de vegetación nativa. Así mismo menciona Orgaz y Moral (2016) donde sostiene que el rápido crecimiento del turismo es una fuerza principal de la pérdida de biodiversidad, por contar con un clima agradable e ideal para ser visitado durante todo el año, llamando la atención de los turistas. Esto ha ocasionado un aumento paulatino de la fragmentación en la zona, disminuyendo la vegetación arbustiva y herbácea en un 3,49 % (ver Anexo 11) en un periodo de 30 años, (11 839,27 ha del año 1986 a 7 610,25 ha del año 2016).

Para la cobertura agrícola, según el Municipio Cantonal de Zapotillo (2019) la actividad representativa es el cultivo de arroz, cultivo de maíz y cultivos asociados subtropicales con un área de 6 064,04 ha. Este acontecimiento se relaciona con los datos obtenidos en el presente estudio (ver Anexo 10) ocupando 2 221,60 ha para el año 1986 y aumentando a 5 771,08 ha con respecto al 2016, es decir un aumento de 2,93 %.

Todos los sucesos antes mencionados, se ven reflejados en el aumento de la cobertura de suelo descubierto. El Municipio Cantonal de Zapotillo (2019) menciona que la degradación de los suelos se evidencia por la deforestación, la sobre explotación maderera, caza e interrupción del ciclo de crecimiento por la influencia del pastoreo del ganado caprino. Esto se asemeja a los datos obtenidos en esta investigación, donde el período 1986 – 2016, muestra que la cobertura de suelo descubierto aumentó significativamente del 13,74 %, es decir de 33 315,45 ha en 1986 existió un aumento a 49 989,26 ha en 2016 (ver Anexo 13).

En cuanto a la cobertura de los cuerpos de agua como nos muestra en el PDOT Zapotillo (2019), tienen un nivel de afectación por: la minería artesanal, el libre aprovechamiento de materiales de construcción, actividades agrícolas - pecuarias y eliminación de aguas servidas no adecuadas; abarcando un área de 4 763,40 ha. Además, Alvarez y colaboradores (2015), cita que los cuerpos de agua tienen una pérdida de 0,69 % es decir de 3 277,31 ha en el 2000 descendiendo a 2 435,76 ha al 2010. Mientras que nuestro estudio muestra que para el año 1986 se tiene un área de 432,11 ha que ascendió para el año 1996 a 3 695,91 ha., esto se debe a la presencia de cobertura boscosa y vegetación arbustiva que en algunos lados no deja apreciar el espejo de agua que ha existido en este período; posteriormente para el año 2006 desciende a 1 498,47 ha., teniendo una pequeña suma en el 2016 a 1 854,93 ha.; esto último se debe según el Municipio Cantonal de Zapotillo (2019) a que en el año 2012 se realizó la implementación del canal de sistema de riego para beneficio de la agricultura en el cantón (ver Anexo 12).

En cuanto a la cobertura zona antrópica, Morocho Lalvay (2019) ha realizado un estudio similar en el cantón Zapotillo y Pindal obteniendo un aumento respecto a la zona urbana del 0,04 %. Otro estudio realizado en el cantón Zapotillo es el de Alvarez y Aguirre (2015) donde el análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en todo el cantón, para el período 2000 al 2010 con respecto a la infraestructura, mencionan un aumento de 0,10 % en ese territorio. Mientras que, en la presente investigación, se obtuvo que, en los treinta años de estudio, la zona antrópica aumenta de 295,33 ha en 1986 a 792,11 ha en 2016, lo que se traduce en un incremento del 0,41 % (ver Anexo 14).

La variación en los resultados se debe a que son diferentes tiempos de investigación. En el presente documento se realizó el análisis cada diez años, es decir, entre los períodos 1986 - 1996; 1996 - 2006 y 2006 - 2016, mientras que en el estudio de Alvarez *et al.* (2015) fue de un solo período entre 1983 y 2012. Otra variante pudo haberse suscitado dadas las coberturas

analizadas, ya que en la presente investigación se consideraron ocho coberturas (e.g. bosque, vegetación arbustiva y herbácea, agrícola, cuerpos de agua, zona antrópica, suelo descubierto, nubes y sombra de nubes) la misma engloba todo el cantón Zapotillo, pero en aquel estudio de Álvarez *et al.* (2015) se consideran nueve coberturas (bosque denso, bosque semidenso, bosque ralo, matorrales, cultivos, pastizales, cuerpos de agua, infraestructura y suelo desnudo) englobando todo el cantón Zapotillo.

También, es importante citar que el análisis de las diferentes coberturas representa la principal causa de cambios de cobertura y uso del suelo a nivel mundial (Montanarella *et al.*, 2016). Bedoya *et al.* (2016), en su estudio de análisis multi-temporal permiten detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la actividad antrópica sobre este medio, constituyendo un método eficaz para la comparación y determinación de cambios en un lapso de tiempo.

El presente estudio supera a los anteriores porque presenta cuatro mapas de cambio con períodos de diez años cada uno lo cual hace más efectivo los resultados registrados, además de centrarse específicamente en el cantón Zapotillo, por lo que los resultados varían.

Indicadores del subsistema natural

El estudio de Álvarez *et al.* (2015) demuestra que el cantón Zapotillo se encuentra amenazado por la ampliación de la frontera agrícola, sobrepastoreo, extracción de maderas valiosas e incendios forestales, lo cual reduce la superficie de los ecosistemas. En esta investigación, respecto a los indicadores del subsistema natural, existe un acelerado cambio negativo o pérdida de la cobertura en bosque y vegetación arbustiva y herbácea, los cuales pierden territorio en un 2,27 % y 4,32 %, respectivamente. Mientras tanto, la ganancia de territorio ocurre en la cobertura agrícola y zona antrópica, en un 10,02 % y 10,37 %, respectivamente, lo que permite inferir que el crecimiento poblacional se relaciona con la expansión de la frontera agrícola,

siendo una amenaza por intereses de actividades con fines agrícolas, minería y presión demográfica que implica aumento de la zona urbana

Alvarez *et al.* (2015), muestra una tasa de deforestación en Zapotillo en un período de diez años (2000-2010) con un crecimiento porcentual de 5,27 % degradándose 6 389,38 ha, lo que ha conllevado a una disminución de las áreas de cobertura natural en un 4,58 %. En la tasa de cambio correspondiente a los cultivos, éstos se incrementan en un 4,95 %, el bosque semidenso en un 0,48 %, los bosques ralos en un 2,63 % y los matorrales en un 0,72 %. Por su parte, el presente estudio muestra una tasa de deforestación de 0,95 % entre 1986 -1996; 1,03 % entre 1996 – 2006 y 0,30 % entre el 2006 y 2016. Si se analiza para los treinta años, se puede decir que el cantón Zapotillo tiene un porcentaje de deforestación de 0,76 %, lo cual afecta al cantón porque pertenece a la mancomunidad de bosque seco.

Lineamientos estratégicos para la atenuación de los cambios en el suelo.

La importancia de establecer lineamientos estratégicos para el mejoramiento de la gestión ambiental responde a desafíos mitigantes y contribuye con la orientación a la intervención urbana y rural enfocándose en las necesidades, prioridades de diseño y ejecución de nuevos retos (Wilk *et al.*, 2006)

En este estudio se implementaron tres lineamientos estratégicos para mejorar la ocupación de los suelos en el cantón Zapotillo:

En cuanto al lineamiento para el manejo sustentable de Áreas contempladas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas; según Bevilacqua y Ochoa (2001), plantea que la conservación de las fronteras forestales, donde exista la presencia de una amplia superficie sin intervención, su diversidad étnica y potencial para el desarrollo sustentable, confieren una alta relevancia para la conservación del patrimonio natural y cultural que caracteriza al continente americano, la

planificación y el manejo eficaz de las actividades asociadas con el uso de los recursos presentes en ella, constituyen prioridades y retos para la gestión ambiental nacional.

En tal sentido, existen aspectos en el cantón Zapotillo donde posee ecosistemas frágiles en diferentes categorías (ver Figura 10), pues posee la reserva La Ceiba con gran cobertura de bosque seco, como lo corrobora la Figura 11, así como también pertenece a la mancomunidad y reserva de biosfera de bosque seco. Estas áreas protegidas otorgan oportunidad para gestionar apropiadamente el territorio y proponer medidas alternativas y sustentables de desarrollo. La gran pérdida de bosque denso y semidenso ascendió a 20,51 % de 1986 a 2016, de igual forma se perdió vegetación tanto arbustiva como herbácea en un 33,35 % en los treinta años de estudio. En cuanto al suelo descubierto, éste ha ganado territorio en estos treinta años de estudio de 1986 al 2016, pues aumentó en un 33,35 %. De igual forma se ha obtenido un incremento de las zonas antrópicas al año 2016 (ver Tabla 10), obteniéndose un grado de antropización del 0,18 %. Una de las principales causas según Municipio Cantonal de Zapotillo (2019) para que ocurra aquello es la presencia del ganado caprino, que causa daños irreversibles en los ecosistemas nativos, la expansión de la frontera agrícola, la ocupación de territorios con fines de cultivo y la implementación de ganado caprino por estas áreas.

El lineamiento para controlar la expansión de la frontera agrícola, en el marco de una cultura de manejo responsable del ambiente, responde a la parte de producción. En un estudio de Bach *et al.* (2013), en el que plantea lineamientos para la producción ganadera y agrícola sostenible nos dice que para el logro de la intensificación ecológica de los sistemas de producción y la liberación de áreas boscosas es necesario la implementa un sistema de silvopastoreo.

En la presente tesis los resultados muestran alteraciones en el sistema de producción, así como el Anexo 30 muestra el mapa de expansión de la frontera agrícola, donde se indica que la agricultura se expandió en un 2,3 % de la cobertura de bosque en los treinta años de análisis.

Así mismo, como se muestra en el Anexo 38, la actividad agrícola cubre áreas de suelos descubiertos, en un 2,17 %. Por su parte, en lo que se refiere a la vegetación arbustiva y herbácea, la producción agropecuaria se ha incrementado en un 1,17 % (ver Anexo 34).

Y, por último, el lineamiento para minimizar el impacto de la deforestación en zonas de bosque y vegetación nativas, corresponde a las necesidades forestales según estudios realizados por Ocola *et al.* (2018), en su estudio demuestra que los lineamientos ayudan a contribuir con la adecuada planificación, implementación y monitoreo de planes, programas y proyectos de restauración de ecosistemas forestales y ecosistemas de vegetación silvestre.

En el presente proyecto en cuanto al lineamiento forestal se planteó por alteraciones (ver Anexo 20), donde se muestra la tasa de deforestación y la mayor pérdida de plantaciones forestales que ha ocurrido en el período de 1996 al 2006, el cual corresponde al 1,03 %. En los treinta años de deforestación analizados, se obtuvo una pérdida de cobertura vegetal de 0,76 %. En cuanto a la tasa de cambio (ver Tabla 9), en los treinta años, la categoría “vegetación arbustiva y herbácea” es de 2,22 %, de igual forma la tasa de cambio que experimentaron los bosques fue del 2,74 %. En los resultados de cambio de uso de suelo (ver Figura 9), la cobertura “bosque”, en los treinta años de estudio, tuvo una reducción para el 2016 de 20,51 % de igual forma la vegetación arbustiva y herbácea teniendo una pérdida del 35,72 % en el 2016, ganando territorio los suelos descubiertos, zona antrópica y el sector agrícola en un 33,35 %, 62,72 % y 61,50 %, respectivamente. Según Municipio Cantonal de Zapotillo (2019), las alteraciones que afectan a este componente es la pérdida de la biodiversidad, pérdida de conectividad y funcionalidad de los ecosistemas y alteraciones del ciclo del agua, ya que los bosques son los que protegen las microcuencas evitando la erosión de los suelos y el cambio climático.

Esta investigación es de importancia porque ha permitido demostrar la evolución del cantón Zapotillo en relación con los cambios de uso de suelo que han sucedido durante el período 1986

al 2016. En cuanto a la estimación de los indicadores del subsistema natural se determinaron las afecciones de cambio en los tres componentes “producción”, “conservación” y “forestal” dando a conocer el grado de afectación que tienen los suelos por la expansión de la frontera agrícola, tasa de deforestación, tasa de cambio en vegetación y uso del suelo, índice de antropización y Áreas Naturales Protegidas. Se aporta con lineamientos a la mejora de los suelos en el cantón Zapotillo que pueden ser de ayuda al Gobierno Autónomo Descentralizado de Zapotillo y sus parroquias en el desarrollo de los Planes de Ordenamiento Territorial.

6. CONCLUSIONES

- Los cambios de uso de suelo que han sucedido durante el período 1986 a 2016 en el Cantón Zapotillo, ha experimentado numerosos cambios en su territorio, lo que se corrobora al observar que los bosques y vegetación arbustiva y herbácea presentan una pérdida de 18 497,62 hectáreas, mientras que la categoría agrícola y suelo descubierto tiene un incremento de 20 223,29 hectáreas en este mismo período. Estos cambios son una prueba tangible de la influencia de las actividades antrópicas en los cambios de uso de suelo.
- La matriz de confusión permitió mostrar que la metodología empleada es una herramienta idónea para evaluar los cambios de cobertura y uso del suelo, los mapas generados para los diferentes períodos obtuvieron porcentajes buenos de concordancia con valores de 0,76 a 0,86 %, según el índice Kappa.
- Las actividades como la agricultura, ganadería, deforestación y antropización de suelos en Zapotillo tienen un proceso ascendente demostrando que el crecimiento poblacional va conjuntamente con la expansión de la frontera agrícola, en la ocupación de territorios con cobertura boscosa y vegetación arbustiva y herbácea, tomando en cuenta que Zapotillo, sigue conservando un importante porcentaje de cobertura natural, bajo diversas figuras de protección.
- Esta investigación plantea lineamientos como insumo para la toma de decisiones en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD Zapotillo. Es prioritario dar solución a los problemas generados para proteger esta red ecológica de gran importancia para el aprovechamiento de servicios ambientales para el cantón.

7. RECOMENDACIONES

- Efectuar estudios de Ordenamiento Territorial en los Gobiernos Autónomos Descentralizados estableciendo estrategias de planificación para el crecimiento urbano y expansión de la frontera agrícola considerando la capacidad de uso del suelo tratando de aprovechar espacios que tiene aptitud para la construcción de infraestructura y conservar los espacios que generan los recursos hídricos y producción agrícola.
- Fomentar el turismo sostenible en el cantón, mejorando la infraestructura turística y donde las parroquias y barrios sean los beneficiados de estos proyectos, de manera que se pueda contribuir con mejorar las condiciones económicas de la población, disminuyendo la tala de árboles y cría de cabras en áreas protegidas.
- Los lineamientos planteados en la presente tesis servirán como temática para estudios futuros para promover la importancia de la implementación de lineamientos ambientales estratégicos para el desarrollo de los planes de Ordenamiento Territorial en los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales, Cantonales y Parroquiales.
- Es necesario que el Gobierno Autónomo Descentralizado involucre dentro de su ordenamiento territorial estrategias que incluyan la protección de hábitats naturales así como el aumento de la conectividad de los fragmentos aislados, partiendo de una evaluación precisa de las áreas declaradas como de protección o de significancia ambiental.
- Para la implementación de los lineamientos estratégicos es necesario contar con la participación de la comunidad en la presente tesis no se pudo disponer por la situación de salud que estamos atravesando el COVID-19.

8. REFERENCIAS

- Aguirre Mendoza, Z., Aguirre Mendoza, N., y Muñoz Ch, J. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24, 523–542.
<https://doi.org/https://dx.doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24206>
- Alvarez-Figueroa, P., Freddy, V., Johana, M., y Aguirre, N. (2015, December 1). Análisis multi-temporal del cambio de uso de suelo en el cantón Zapotillo, provincia de Loja. Multi-temporal analysis of land use change in canton Zapotillo, province of Loja. *Bosques...Latitud Cero*, 5, 1–15.
- Alvarez, P., Veliz, F., Muñoz, J., y Aguirre, N. (2015). Análisis multi-temporal del cambio de uso de suelo en el cantón Zapotillo, provincia de Loja (Vol. 5).
- Bach, O., Rodríguez, A., Sepúlveda López, C. J., e Ibrahim, M. A. (2013). *Desarrollo de lineamientos para la certificación de sistemas sostenibles de producción ganadera*.
- Bedoya Alvarez, M. L., Portillo Moreno, J. F., y Sáenz Cortes, H. R. (2016). *Análisis del cambio de la cobertura entre 1999 y 2015 del páramo de Chiles-Cumbal a través de la utilización de herramientas SIG*.
- Benabent Fernández de Córdoba, M., y Vivanco Cruz, L. (2019). The experience of the Municipal Spatial Planning in Ecuador. *Estoa*, 8(15), 133–144.
<https://doi.org/10.18537/est.v008.n015.a11>
- Benabent, M., y Vivanco, L. (2019). La experiencia de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantonales en Ecuador. *Estoa. Revista de La Facultad de Arquitectura y Urbanismo de La Universidad de Cuenca*, 8, 229–252. Retrieved from

http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-92742019000100229&nrm=iso

Bevilacqua, M., y Ochoa, J. (2001). Conservación de las últimas fronteras forestales de la Guayana venezolana: propuesta de lineamientos para la cuenca del río Caura. *Interciencia*, 26(10), 491–497.

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental* (3ª tercera). Barcelona: Editorial Ariel.

Del Toro Espín, N., Gomariz-Castillo, F., Cánovas-García, F., y Alonso-Sarría, F. (2015). Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la cuenca del río Argos (Región de Murcia). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 2015(67), 327–347. <https://doi.org/10.21138/bage.1828>

Domínguez, N., y Orsini, G. (2009). *Impactos en la estructura agraria por la ampliación de la frontera agrícola en base a la expansión del cultivo de soja en la región Pampeana: la historia reciente de Entre Ríos*.

Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., y Valladares, F. (2006). *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.

Encina Rojas, A., e Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Población y Desarrollo*, (25), 5–10.

FAO. (2016). *El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra*.

García, Y., Ramírez, W., y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos : una

- nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 125–137.
- Guevara-Cuellar, C. A., Soto, V. E., y Molina-Echeverry, M. I. (2018). Budget impact analysis of the adoption of new hypertension guidelines in Colombia. *Cost Effectiveness and Resource Allocation*. <https://doi.org/10.1186/s12962-018-0152-5>
- Guevara Romero, M. L. (2017). Impact of urban growth in agricultural zones: Territorial Reserve Atlixcáyotl, Puebla. *Estoa*, 6(11), 53–68. <https://doi.org/10.18537/est.v006.n011.a04>
- Guevara Romero, M. L., y Montalvo Vargas, R. (2014). Cambio de uso de suelo y vegetación derivados de la dotación de infraestructura: Sierra norte del Estado de Puebla. *Nova Scientia*, 7(13), 314. <https://doi.org/10.21640/ns.v7i13.135>
- Gutierrez, Carlos Perez y Nieto, Á. L. M. (2006). *teledeteccion: nociones y aplicaciones*.
- Gutiérrez, M., y Narváez, M. (2015). Lineamientos estratégicos para el desarrollo competitivo del sector turístico en Venezuela. *Revista de Ciencias Sociales*, 21(3), 416–428. <https://doi.org/10.31876/rcs.v21i3.25741>
- Hernández Peña, Y. (2010). El ordenamiento territorial y su construcción social en Colombia: ¿un instrumento para el desarrollo sustentable? *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, (19), 97–109. <https://doi.org/10.15446/rcdg.n19.16854>
- Instituto de Clima y Agua, I. C. (2012). Métodos Estadísticos De La Evaluación De La exactitud De Productos Derivados De Sensores Remotos. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, 11.
- Martínez Dueñas, W. (2010). INRA - Índice integrado relativo de antropización: propuesta

técnica-conceptual y aplicación. *Rev. Inst. Invest. Trop.*, 5.

Martinez, C. (2013). *LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL*. Quito - Ecuador.

Merlotto, A., Piccolo, M. C., y Bértola, G. R. (2012). Crecimiento urbano y cambios del uso/cobertura del suelo en las ciudades de necochea y quequén, buenos aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, 176(53), 159–176. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022012000300010>

Montanarella, L., Pennock, D., y Mckenzie, N. (2016). *Estado mundial del recurso del suelo*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>

Morocho Lalvay, M. J. (2019). *Efectos del cambio de uso del suelo y su proyección futura en la erosión hídrica en los cantones Zapotillo y Pindal, provincia de Loja*. Loja.

Municipio Cantonal de Zapotillo. (2019). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Zapotillo. *GAD Zapotillo*, 399–404.

Muñoz, D., Rodriguez, M., y Romero, M. (2012). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de la laguna, Municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(1), 11–24. Retrieved from <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/54#.WemOV112Lpk.mendeley>

Ocola, G. M., Vetter, J. L., Carlos, J., y Carlin, G. (2018). *Lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre*.

Orgaz Agüera, F., y Moral Cuadra, S. (2016). El turismo como motor potencial para el

desarrollo económico de zonas fronterizas en vías de desarrollo. Un estudio de caso. Universidad Autónoma del Estado México.

Ortega Calvo, J. C. (2014). Lineamientos estratégicos para la construcción de una política pública de gestión integral de residuos sólidos en Pereira. (Vol. 85). <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2013.06.007>

Palacios Prieto, J. L., Sánchez-Salazar, M. T., Casado-Izquierdo, J. M., Propin Frejomil, E., Delgado Campos, J., Velázquez Montes, A., y Ortiz Álvarez, M. I. (2004). Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. In *Ine.Gob.Mx*.

Quejada Camacho, J. (2014, September 16). Expansión de la frontera agrícola. Ocupación y uso de la tierra, 1780-1880. *Historia Y Espacio*, 10, 205. <https://doi.org/10.25100/hye.v10i42.1226>

Reuter, F. (2002). Transformaciones De La Imagen: Clasificaciones Supervisadas Y No Supervisadas. In *Carpeta de Trabajos Prácticos: Teledetección Forestal*. Retrieved from <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/lpr/pdf/p11.PDF>

Rodríguez, E. B., Domínguez, S. T., y Pérez, E. V. (2002). Aplicación de imágenes de satélite en la cartografía de uso de suelo y vegetación en una región del Oriente del Valle de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 8(1), 13–19.

Rodríguez Vásquez, A. F. (2011). Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta.

Ruiz, V., Savé, R., y Herrera, A. (2013). *Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo*,

en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011.

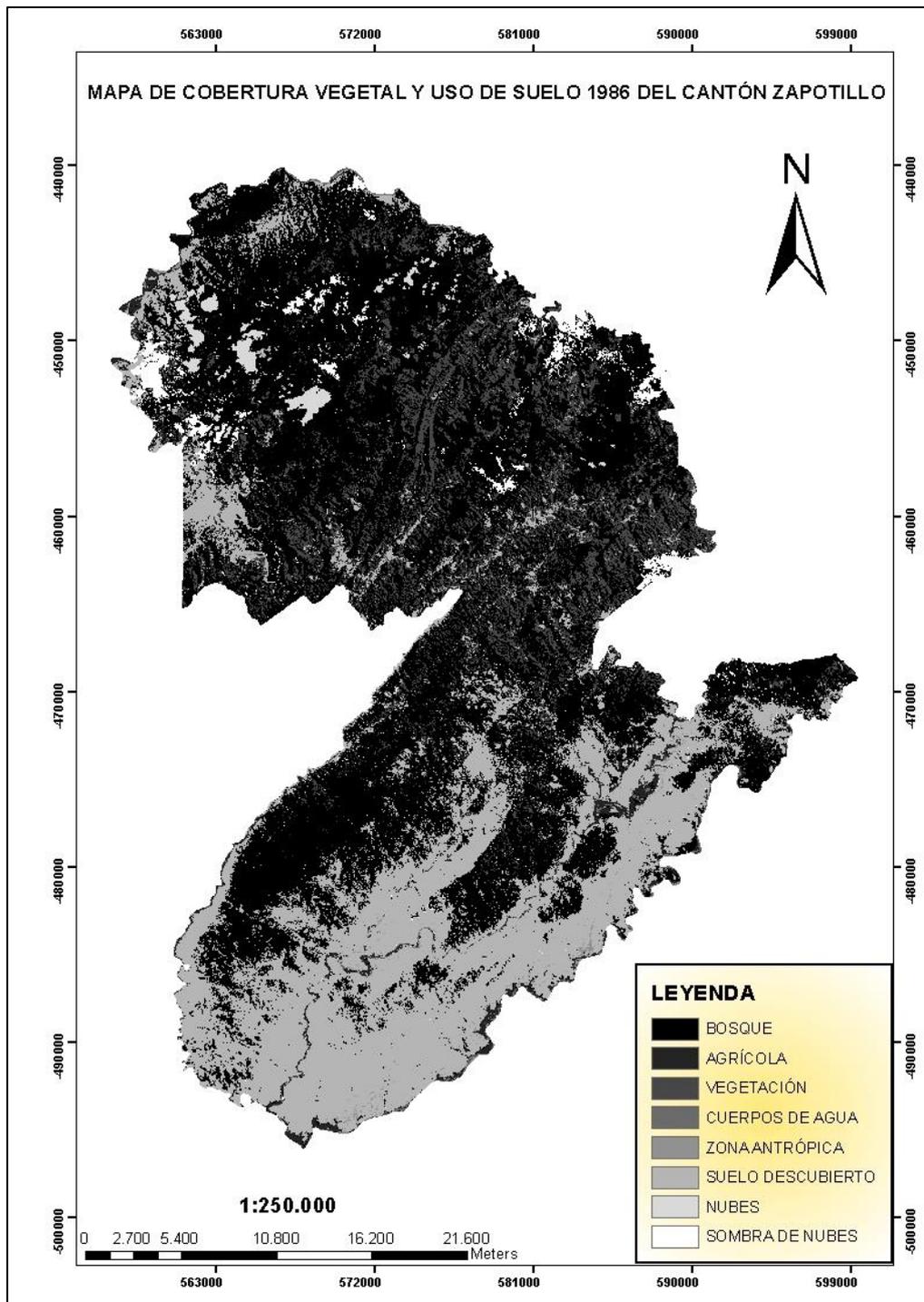
Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. 84. Retrieved from http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf

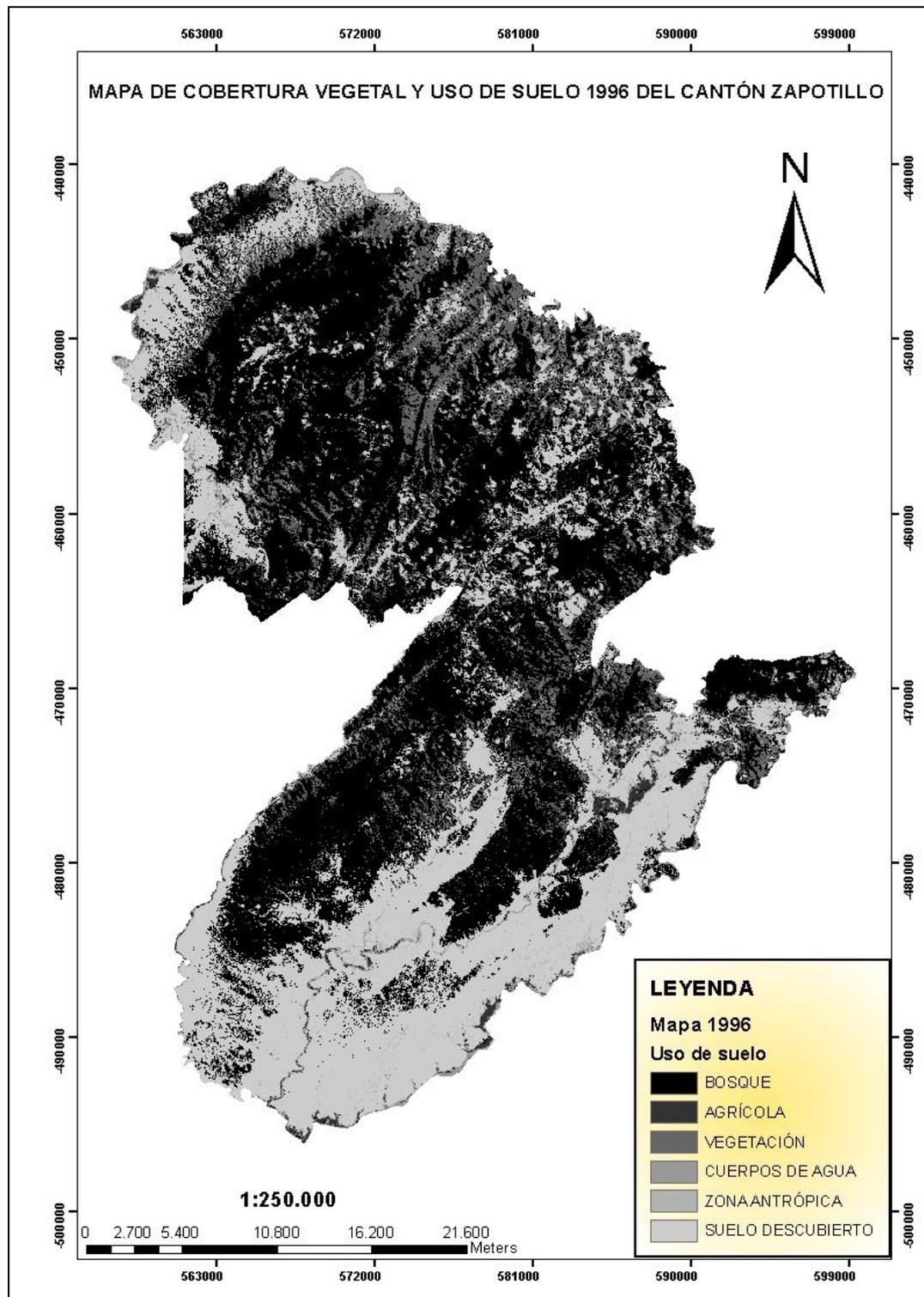
UNAM-Instituto de Geografía. (2002). *Indicadores del subsistema natural*.

Wilk, D., Pineda Mannheim, C. R., y Moyer, D. (2006). *Lineamientos estratégicos para la gestión ambiental urbana en Centroamérica*. Retrieved from <https://publications.iadb.org/es/lineamientos-estrategicos-para-la-gestion-ambiental-urbana-en-centroamerica>

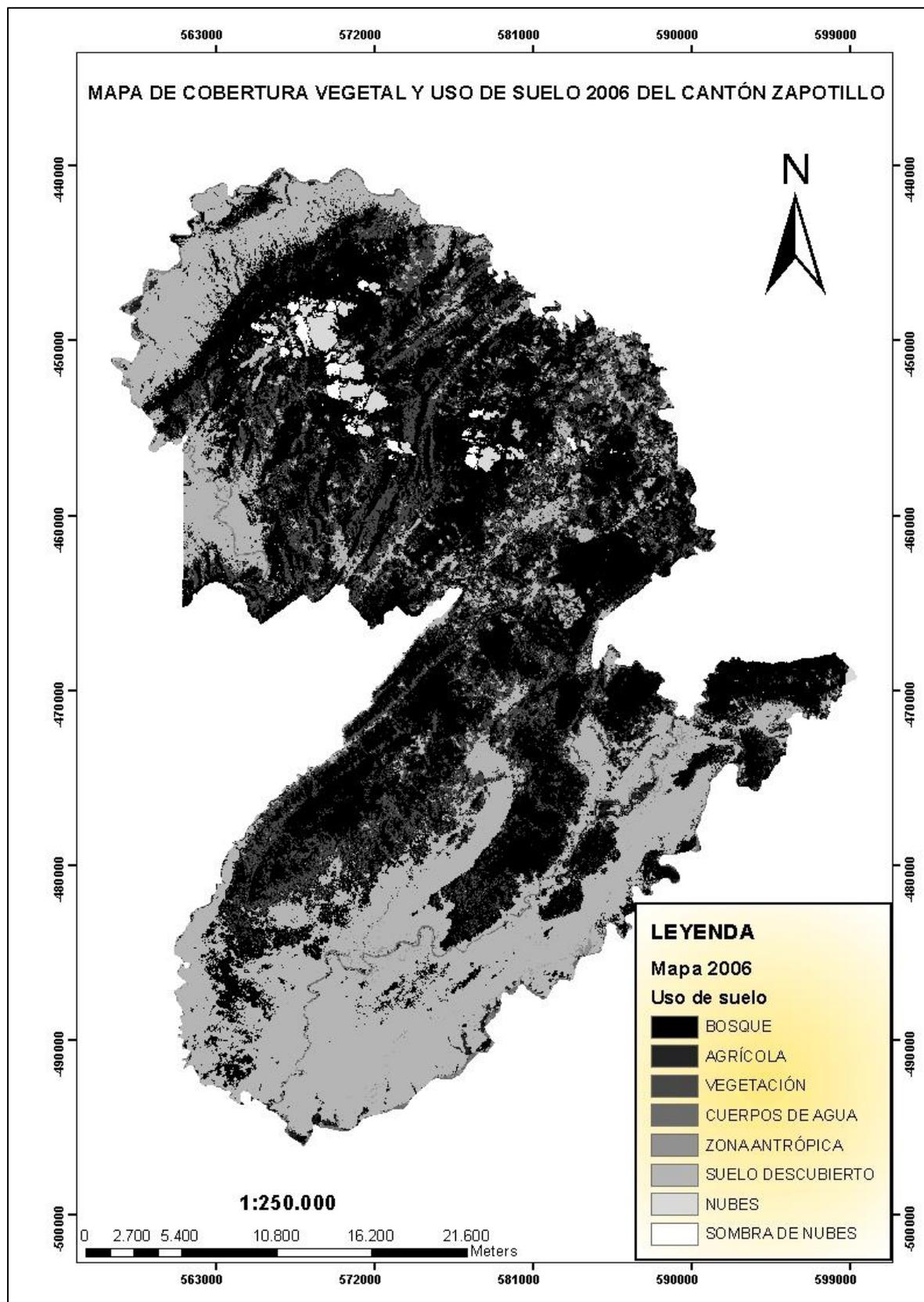
9. ANEXOS

Anexo 1. Mapa cobertura y uso de suelo del cantón Zapotillo, período 1986

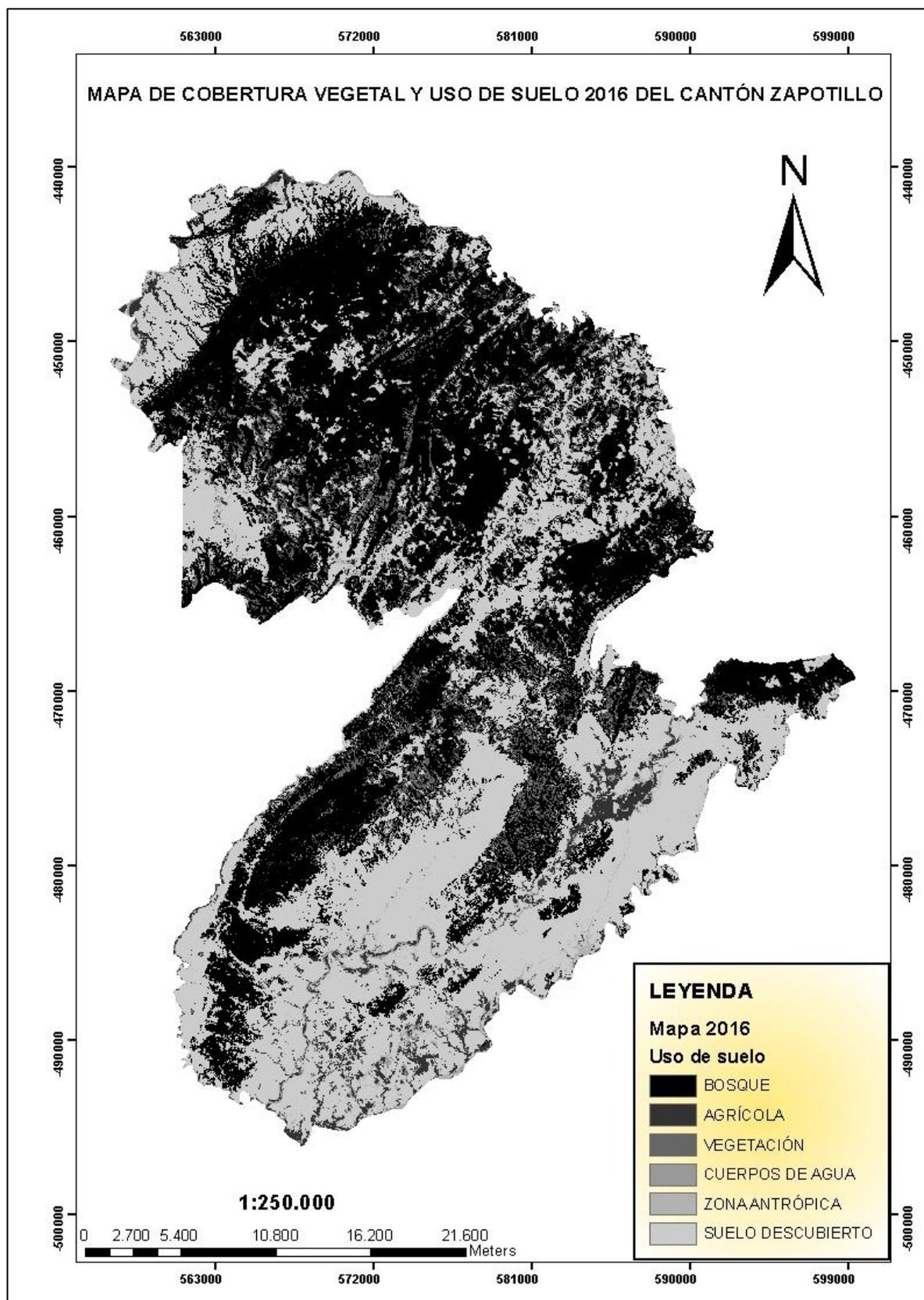


Anexo 2. Mapa cobertura y uso de suelo del cantón Zapotillo, período 1996

Anexo 3. Mapa cobertura y uso de suelo del cantón Zapotillo, período 2006



Anexo 4. Mapa cobertura y uso de suelo del cantón Zapotillo, período 2016



Anexo 5. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 1986

Número	Cobertura de uso de suelo	X	Y
1	Bosque	575.513.826	954.977.241
2	Bosque	579.070.467	955.301.715
3	Suelo descubierto	565.610.622	950.979.482
4	Bosque	585.292.117	949.755.054
5	Bosque	563.984.486	947.756.175
6	Bosque	572.454.792	945.757.296
7	Bosque	596.758.511	943.758.417
8	Bosque	569.679.911	941.759.538
9	Suelo descubierto	588.839.360	939.760.659
10	Bosque	566.005.582	937.761.780
11	Bosque	560.024.582	935.762.901
12	Bosque	571.598.114	933.764.022
13	Suelo descubierto	561.454.867	931.765.143
14	Bosque	568.924.101	929.766.264
15	Bosque	578.674.657	927.767.384
16	Bosque	570.702.411	925.768.505
17	Bosque	572.138.505	923.769.626
18	Suelo descubierto	564.530.243	921.770.747
19	Suelo descubierto	564.015.701	919.771.868
20	Suelo descubierto	583.612.833	917.772.989
21	Bosque	569.602.448	915.774.110
22	Bosque	563.317.156	913.775.231
23	Bosque	586.716.640	911.776.352
24	Suelo descubierto	575.653.333	909.777.473
25	Agrícola	575.554.388	907.778.594
26	Bosque	573.001.383	905.779.715
27	Vegetación	580.034.416	903.780.835
28	Bosque	561.313.136	901.781.956
29	Bosque	571.171.513	899.783.077
30	Bosque	587.449.237	897.784.198
31	Agua	567.549.144	895.785.319
32	Bosque	598.858.512	893.786.440
33	Vegetación	579.380.475	891.787.561
34	Bosque	584.459.082	889.788.682
35	Bosque	572.508.076	887.789.803
36	Suelo descubierto	567.959.809	885.790.924
37	Bosque	587.380.573	883.792.045
38	Suelo descubierto	588.265.560	881.793.166
39	Bosque	582.293.993	879.794.286
40	Bosque	581.249.668	877.795.407
41	Suelo descubierto	564.644.293	875.796.528

42	Bosque	576.037.091	873.797.649
43	Suelo descubierto	581.542.545	871.798.770
44	Bosque	577.644.223	869.799.891
45	Bosque	578.317.545	867.801.012
46	Bosque	566.125.889	865.802.133
47	Bosque	570.160.869	863.803.254
48	Suelo descubierto	571.075.549	861.804.375
49	Bosque	567.460.791	859.805.496
50	Bosque	582.513.421	857.806.617
51	Bosque	575.073.452	855.807.737
52	Bosque	577.665.615	853.808.858
53	Bosque	567.134.823	851.809.979
54	Suelo descubierto	563.751.261	849.811.100
55	Suelo descubierto	584.709.644	847.812.221
56	Bosque	565.124.506	845.813.342
57	Vegetación	573.559.323	843.814.463
58	Suelo descubierto	571.873.057	841.815.584
59	Bosque	574.383.854	839.816.705
60	Bosque	559.119.921	837.817.826
61	Vegetación	582.860.735	835.818.947
62	Vegetación	582.440.593	833.820.068
63	Bosque	572.680.222	831.821.188
64	Bosque	568.230.209	829.822.309
65	Bosque	584.938.632	827.823.430
66	Bosque	576.275.520	825.824.551
67	Bosque	577.698.781	823.825.672
68	Bosque	566.419.705	821.826.793
69	Suelo descubierto	568.150.523	819.827.914
70	Bosque	579.927.951	817.829.035
71	Bosque	560.526.768	815.830.156
72	Agua	558.220.181	813.831.277
73	Suelo descubierto	559.277.410	811.832.398
74	Suelo descubierto	561.353.969	809.833.519
75	Bosque	585.883.450	807.834.639
76	Bosque	580.742.631	805.835.760
77	Bosque	569.196.167	803.836.881
78	Bosque	569.126.596	801.838.002
79	Bosque	560.266.537	799.839.123
80	Suelo descubierto	577.535.112	797.840.244
81	Bosque	558.206.913	795.841.365
82	Bosque	570.691.846	793.842.486
83	Bosque	569.586.793	791.843.607
84	Suelo descubierto	571.705.240	789.844.728
85	Suelo descubierto	574.534.272	787.845.849

86	Bosque	569.446.761	785.846.970
87	Bosque	586.490.312	783.848.090
88	Agrícola	586.535.032	781.849.211
89	Suelo descubierto	584.064.390	779.850.332
90	Bosque	570.082.799	777.851.453
91	Suelo descubierto	562.122.863	775.852.574
92	Bosque	567.525.146	773.853.695
93	Vegetación	585.142.449	771.854.816
94	Suelo descubierto	580.350.012	769.855.937
95	Bosque	578.303.556	767.857.058
96	Suelo descubierto	580.226.732	765.858.179
97	Agrícola	578.495.563	763.859.300
98	Bosque	572.745.536	761.860.421
99	Bosque	574.144.870	759.861.541
100	Agua	571.734.491	757.862.662

Anexo 6. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 1996

Número	Cobertura de uso de suelo	X	Y
1	Bosque	580.706.157	954.465.855
2	Suelo descubierto	572.525.506	950.937.160
3	Bosque	575.972.946	954.879.940
4	Vegetación	586.062.304	953.841.737
5	Bosque	586.033.817	954.048.779
6	Suelo descubierto	572.003.064	954.255.822
7	Suelo descubierto	582.164.043	954.462.865
8	Vegetación	588.898.863	954.669.907
9	Suelo descubierto	564.827.209	954.876.950
10	Bosque	567.273.799	955.083.992
11	Suelo descubierto	568.321.886	955.291.035
12	Suelo descubierto	586.000.367	955.498.078
13	Suelo descubierto	576.991.734	955.705.120
14	Suelo descubierto	570.317.101	955.912.163
15	Suelo descubierto	570.876.019	956.119.205
16	Bosque	567.652.450	956.326.248
17	Vegetación	585.665.265	956.533.291
18	Bosque	578.854.727	956.740.333
19	Suelo descubierto	562.852.409	956.947.376
20	Bosque	575.916.531	957.154.418
21	Suelo descubierto	586.496.925	957.361.461
22	Bosque	564.173.428	957.568.504
23	Bosque	568.800.807	957.775.546
24	Bosque	574.904.026	957.982.589
25	Vegetación	576.582.860	958.189.631
26	Suelo descubierto	574.525.962	958.396.674

27	Bosque	580.103.406	958.603.717
28	Bosque	571.437.935	958.810.759
29	Bosque	580.682.035	959.017.802
30	Suelo descubierto	575.279.330	959.224.844
31	Bosque	566.112.129	959.431.887
32	Vegetación	574.934.328	959.638.930
33	Suelo descubierto	575.173.777	959.845.972
34	Suelo descubierto	560.952.784	960.053.015
35	Suelo descubierto	569.966.500	960.260.057
36	Suelo descubierto	569.872.487	960.467.100
37	Bosque	577.016.805	960.674.142
38	Bosque	570.967.189	960.881.185
39	Bosque	569.275.416	961.088.228
40	Suelo descubierto	576.112.141	961.295.270
41	Agua	588.898.628	961.502.313
42	Suelo descubierto	573.251.015	961.709.355
43	Suelo descubierto	582.987.021	961.916.398
44	Bosque	578.498.829	962.123.441
45	Bosque	581.408.193	962.330.483
46	Bosque	572.593.269	962.537.526
47	Suelo descubierto	578.701.915	962.744.568
48	Bosque	581.282.738	962.951.611
49	Bosque	567.874.009	963.158.654
50	Vegetación	581.662.033	963.365.696
51	Bosque	572.679.519	963.572.739
52	Bosque	573.491.313	963.779.781
53	Suelo descubierto	589.664.342	963.986.824
54	Bosque	570.000.323	964.193.867
55	Bosque	570.849.550	964.400.909
56	Bosque	574.887.678	964.607.952
57	Bosque	569.672.498	964.814.994
58	Bosque	579.905.927	965.022.037
59	Vegetación	569.294.170	965.229.080
60	Bosque	591.406.034	965.436.122
61	Bosque	568.633.664	965.643.165
62	Vegetación	573.790.651	965.850.207
63	Suelo descubierto	562.874.658	966.057.250
64	Suelo descubierto	573.060.066	966.264.293
65	Bosque	581.551.684	966.471.335
66	Bosque	584.174.091	966.678.378
67	Suelo descubierto	564.200.351	966.885.420
68	Bosque	583.644.757	967.092.463
69	Suelo descubierto	588.821.464	967.299.506
70	Bosque	573.804.987	967.506.548
71	Suelo descubierto	565.767.429	967.713.591
72	Suelo descubierto	575.710.480	967.920.633
73	Bosque	576.439.333	968.127.676
74	Suelo descubierto	570.686.058	968.334.719

75	Suelo descubierto	582.350.368	968.541.761
76	Bosque	584.701.948	968.748.804
77	Vegetación	568.080.735	968.955.846
78	Bosque	567.329.213	969.162.889
79	Bosque	582.041.213	969.369.932
80	Bosque	589.932.796	969.576.974
81	Bosque	566.021.780	969.784.017
82	Vegetación	586.685.130	969.991.059
83	Bosque	582.820.671	970.198.102
84	Vegetación	572.874.186	970.405.144
85	Suelo descubierto	562.874.173	970.612.187
86	Zona antrópica	582.124.068	970.819.230
87	Bosque	575.611.384	971.026.272
88	Bosque	573.351.906	971.233.315
89	Suelo descubierto	584.746.270	971.440.357
90	Bosque	585.702.344	971.647.400
91	Agrícola	588.324.556	971.854.443
92	Vegetación	579.859.729	972.061.485
93	Bosque	597.181.093	972.268.528
94	Vegetación	574.309.147	972.475.570
95	Zona antrópica	584.399.867	972.682.613
96	Bosque	574.783.363	972.889.656
97	Bosque	567.030.256	973.096.698
98	Vegetación	576.484.608	973.303.741
99	Suelo descubierto	579.661.868	973.510.783
100	Bosque	574.963.599	973.717.826

Anexo 7. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 2006

Número	Cobertura de uso de suelo	X	Y
1	Bosque	565.255.056	951.303.945
2	Suelo descubierto	578.511.982	951.437.869
3	Bosque	579.254.413	951.571.792
4	Bosque	583.146.734	951.705.715
5	Bosque	580.724.489	951.839.639
6	Vegetación	574.220.797	951.973.562
7	Bosque	564.778.736	952.107.485
8	Suelo descubierto	573.528.399	952.241.409
9	Vegetación	594.951.227	952.375.332
10	Bosque	577.204.072	952.509.255
11	Suelo descubierto	573.469.508	952.643.179
12	Bosque	576.783.976	952.777.102
13	Bosque	579.793.359	952.911.025
14	Vegetación	570.702.223	953.044.949
15	Bosque	574.852.461	953.178.872

16	Bosque	587.263.419	953.312.796
17	Suelo descubierto	569.253.969	953.446.719
18	Bosque	585.675.734	953.580.642
19	Bosque	584.837.048	953.714.566
20	Bosque	563.837.038	953.848.489
21	Agua	560.512.894	953.982.412
22	Bosque	589.063.294	954.116.336
23	Sombra	569.897.888	954.250.259
24	Bosque	567.027.914	954.384.182
25	Bosque	574.174.135	954.518.106
26	Bosque	586.610.841	954.652.029
27	Suelo descubierto	585.362.228	954.785.952
28	Vegetación	597.626.976	954.919.876
29	Agua	565.460.035	955.053.799
30	Suelo descubierto	566.725.132	955.187.722
31	Bosque	565.197.254	955.321.646
32	Zona antrópica	586.398.844	955.455.569
33	Bosque	559.929.512	955.589.492
34	Suelo descubierto	580.768.711	955.723.416
35	Agrícola	587.811.089	955.857.339
36	Bosque	562.726.412	955.991.263
37	Bosque	571.328.706	956.125.186
38	Bosque	565.684.940	956.259.109
39	Bosque	584.240.017	956.393.033
40	Bosque	573.073.206	956.526.956
41	Bosque	575.459.451	956.660.879
42	Suelo descubierto	577.270.619	956.794.803
43	Bosque	577.473.573	956.928.726
44	Bosque	571.979.422	957.062.649
45	Bosque	579.782.197	957.196.573
46	Bosque	563.108.409	957.330.496
47	Suelo descubierto	572.015.189	957.464.419
48	Agrícola	577.112.818	957.598.343
49	Suelo descubierto	575.707.897	957.732.266
50	Vegetación	583.259.262	957.866.189
51	Bosque	576.470.439	958.000.113
52	Bosque	580.528.134	958.134.036
53	Bosque	567.489.418	958.267.959
54	Agrícola	588.061.988	958.401.883
55	Bosque	576.489.323	958.535.806
56	Suelo descubierto	587.574.943	958.669.729
57	Bosque	591.589.519	958.803.653
58	Suelo descubierto	562.197.915	958.937.576
59	Vegetación	580.954.171	959.071.500

60	Bosque	575.939.659	959.205.423
61	Bosque	576.805.452	959.339.346
62	Bosque	572.941.034	959.473.270
63	Bosque	583.196.101	959.607.193
64	Vegetación	581.142.709	959.741.116
65	Bosque	594.275.690	959.875.040
66	Suelo descubierto	561.667.257	960.008.963
67	Bosque	571.619.188	960.142.886
68	Suelo descubierto	581.403.812	960.276.810
69	Suelo descubierto	575.705.363	960.410.733
70	Bosque	579.169.399	960.544.656
71	Suelo descubierto	564.219.332	960.678.580
72	Bosque	583.826.919	960.812.503
73	Suelo descubierto	561.468.042	960.946.426
74	Bosque	570.271.734	961.080.350
75	Bosque	568.601.490	961.214.273
76	Bosque	566.809.701	961.348.196
77	Bosque	576.377.511	961.482.120
78	Bosque	561.720.505	961.616.043
79	Bosque	571.216.721	961.749.967
80	Bosque	568.746.066	961.883.890
81	Bosque	573.540.824	962.017.813
82	Bosque	563.350.871	962.151.737
83	Suelo descubierto	572.839.758	962.285.660
84	Boque	583.000.271	962.419.583
85	Bosque	569.986.253	962.553.507
86	Suelo descubierto	588.694.314	962.687.430
87	Bosque	564.453.490	962.821.353
88	Vegetación	564.723.079	962.955.277
89	Bosque	567.881.176	963.089.200
90	Bosque	577.727.057	963.223.123
91	Bosque	565.077.260	963.357.047
92	Bosque	568.133.783	963.490.970
93	Bosque	587.007.716	963.624.893
94	Suelo descubierto	569.235.330	963.758.817
95	Suelo descubierto	581.572.133	963.892.740
96	Agrícola	560.089.368	964.026.663
97	Bosque	581.728.292	964.160.587
98	Bosque	580.985.836	964.294.510
99	Bosque	567.472.213	964.428.433
100	Vegetación	570.075.878	964.562.357

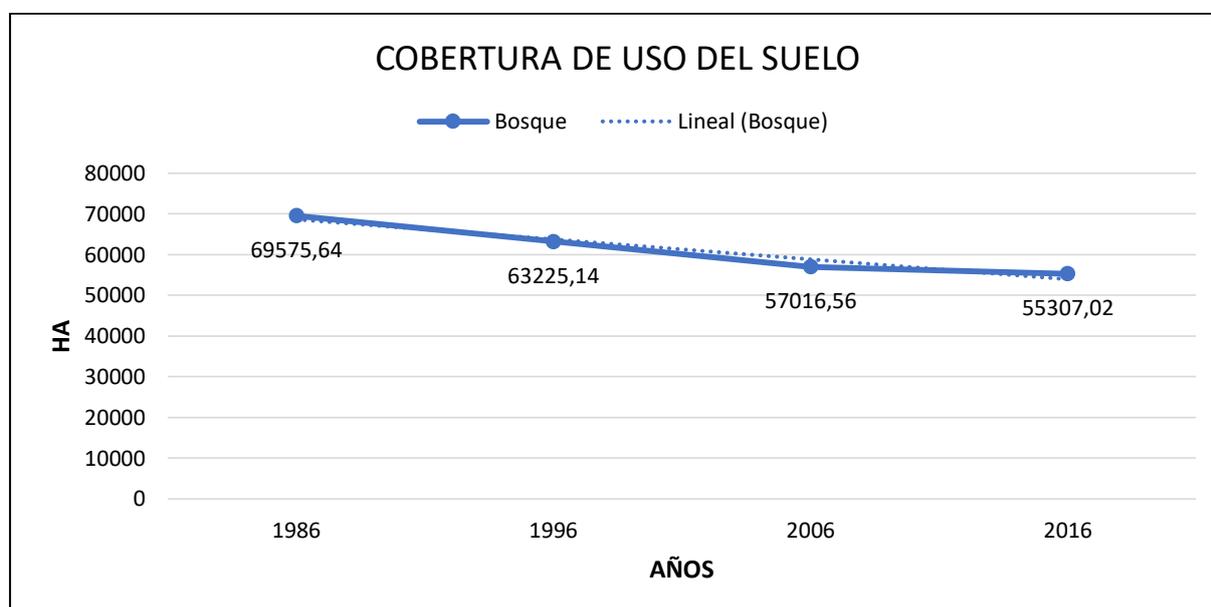
Anexo 8. Coordenadas de puntos de control para la validación de datos del año 2016

Número	Cobertura de uso de suelo	X	Y
1	Suelo descubierto	563.034.969	954.113.171
2	Bosque	588.149.548	953.809.097
3	Agua	563.922.575	954.176.630
4	Suelo descubierto	572.483.340	954.096.426
5	Suelo descubierto	561.982.300	954.128.155
6	Suelo descubierto	565.516.741	954.159.885
7	Bosque	563.649.177	954.191.615
8	Suelo descubierto	566.398.501	954.223.345
9	Bosque	586.703.628	954.255.074
10	Suelo descubierto	571.230.388	954.286.804
11	Suelo descubierto	571.487.494	954.318.534
12	Suelo descubierto	587.070.713	954.350.263
13	Bosque	585.549.958	954.381.993
14	Suelo descubierto	568.331.209	954.413.723
15	Bosque	572.475.582	954.445.452
16	Agrícola	585.784.263	954.477.182
17	Bosque	579.335.040	954.508.912
18	Bosque	579.378.350	954.540.642
19	Suelo descubierto	583.651.328	954.572.371
20	Bosque	577.539.225	954.604.101
21	Agrícola	572.810.630	954.635.831
22	Suelo descubierto	573.728.562	954.667.560
23	Vegetación	587.525.332	954.699.290
24	Bosque	577.681.206	954.731.020
25	Vegetación	574.416.822	954.762.749
26	Suelo descubierto	561.995.080	954.794.479
27	Bosque	572.449.590	954.826.209
28	Vegetación	584.369.226	954.857.939
29	Suelo descubierto	568.300.885	954.889.668
30	Bosque	574.794.404	954.921.398
31	Bosque	571.786.496	954.953.128
32	Vegetación	566.776.866	954.984.857
33	Bosque	563.362.980	955.016.587
34	Bosque	587.376.850	955.048.317
35	Suelo descubierto	584.343.742	955.080.046
36	Suelo descubierto	570.120.246	955.111.776
37	Bosque	570.818.053	955.143.506
38	Bosque	576.083.515	955.175.236
39	Suelo descubierto	578.330.834	955.206.965
40	Bosque	572.457.949	955.238.695
41	Bosque	597.321.744	955.270.425

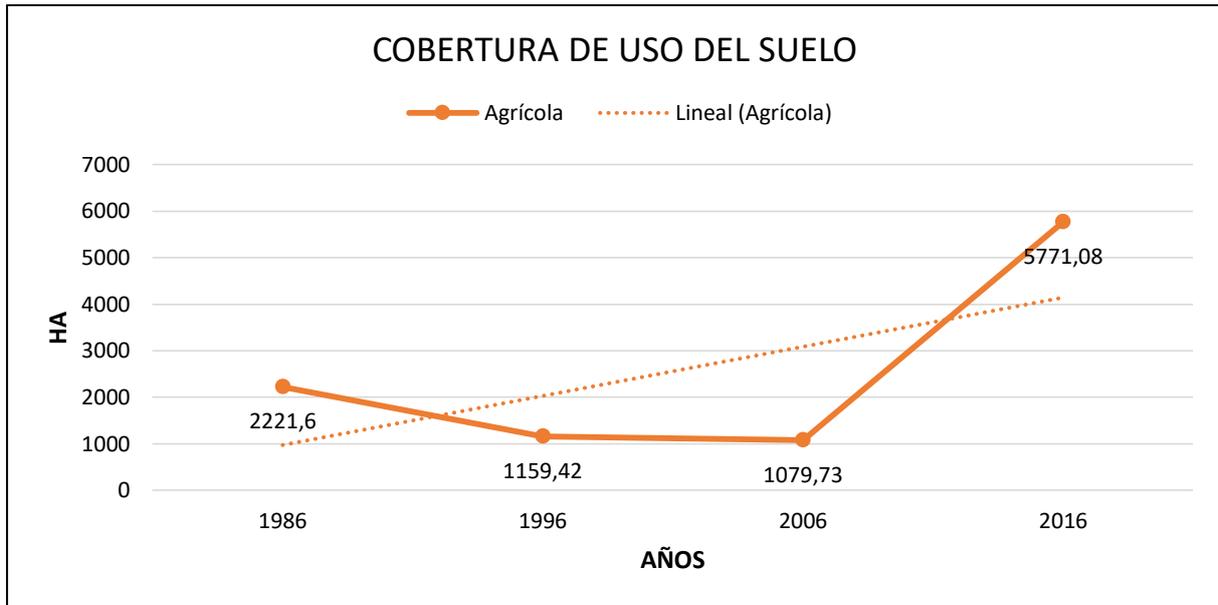
42	Bosque	565.668.815	955.302.154
43	Suelo descubierto	567.343.508	955.333.884
44	Suelo descubierto	583.582.036	955.365.614
45	Vegetación	567.573.018	955.397.344
46	Suelo descubierto	568.948.012	955.429.073
47	Suelo descubierto	581.878.618	955.460.803
48	Suelo descubierto	575.947.246	955.492.533
49	Suelo descubierto	560.915.105	955.524.262
50	Suelo descubierto	581.736.542	955.555.992
51	Bosque	572.289.546	955.587.722
52	Bosque	571.933.510	955.619.451
53	Bosque	570.084.553	955.651.181
54	Suelo descubierto	577.175.859	955.682.911
55	Bosque	581.510.866	955.714.641
56	Suelo descubierto	581.700.917	955.746.370
57	Bosque	565.806.737	955.778.100
58	Bosque	573.313.190	955.809.830
59	Vegetación	585.965.846	955.841.559
60	Bosque	579.715.482	955.873.289
61	Suelo descubierto	582.452.661	955.905.019
62	Suelo descubierto	566.779.690	955.936.748
63	Bosque	576.570.385	955.968.478
64	Bosque	573.212.056	956.000.208
65	Bosque	575.002.903	956.031.938
66	Bosque	568.388.736	956.063.667
67	Vegetación	565.363.627	956.095.397
68	Bosque	581.623.701	956.127.127
69	Bosque	575.392.211	956.158.856
70	Agua	578.279.964	956.190.586
71	Bosque	593.891.280	956.222.316
72	Bosque	571.311.798	956.254.045
73	Bosque	566.123.509	956.285.775
74	Suelo descubierto	578.971.409	956.317.505
75	Bosque	573.011.074	956.349.235
76	Bosque	575.839.814	956.380.964
77	Bosque	564.917.670	956.412.694
78	Bosque	567.825.379	956.444.424
79	Suelo descubierto	561.625.878	956.476.153
80	Bosque	575.582.570	956.507.883
81	Bosque	578.505.400	956.539.613
82	Suelo descubierto	586.500.373	956.571.342
83	Bosque	567.490.990	956.603.072
84	Agua	566.751.747	956.634.802
85	Suelo descubierto	574.342.448	956.666.532

86	Suelo descubierto	577.284.506	956.698.261
87	Suelo descubierto	572.341.510	956.729.991
88	Agua	583.522.910	956.761.721
89	Suelo descubierto	577.624.100	956.793.450
90	Vegetación	566.169.305	956.825.180
91	Suelo descubierto	579.375.186	956.856.910
92	Bosque	561.558.848	956.888.640
93	Vegetación	576.353.033	956.920.369
94	Suelo descubierto	577.305.454	956.952.099
95	Suelo descubierto	559.729.981	956.983.829
96	Bosque	583.112.624	957.015.558
97	Agrícola	571.965.486	957.047.288
98	Suelo descubierto	577.329.280	957.079.018
99	Bosque	591.471.349	957.110.747
100	Vegetación	581.293.635	957.142.477

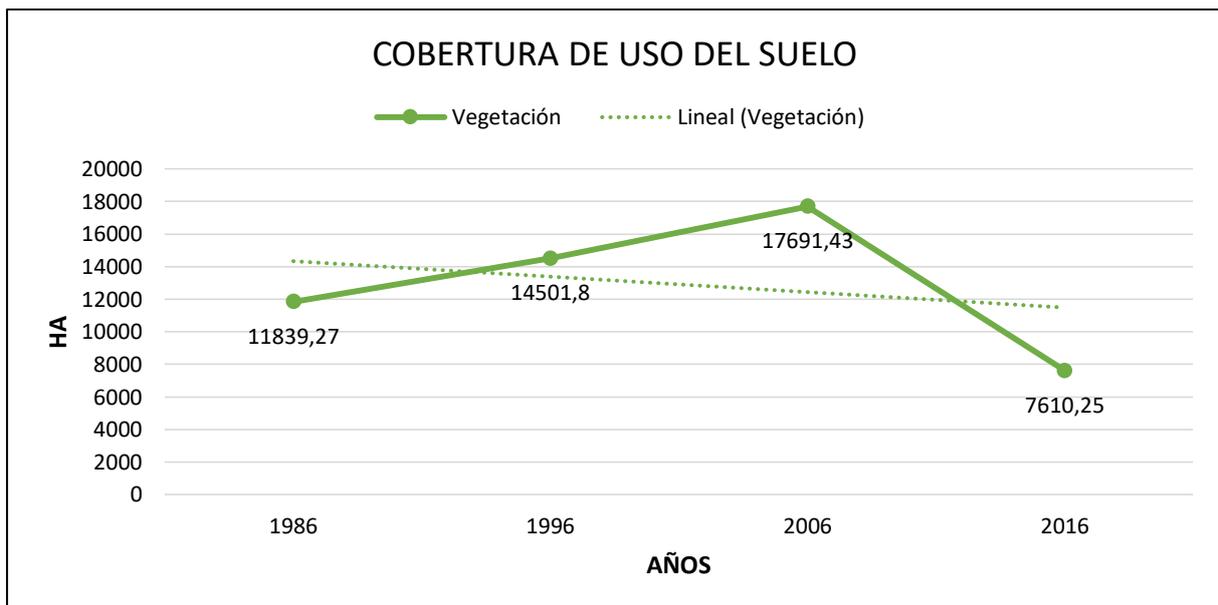
Anexo 9. Tendencia de la cobertura bosque entre los años 1986 a 2016



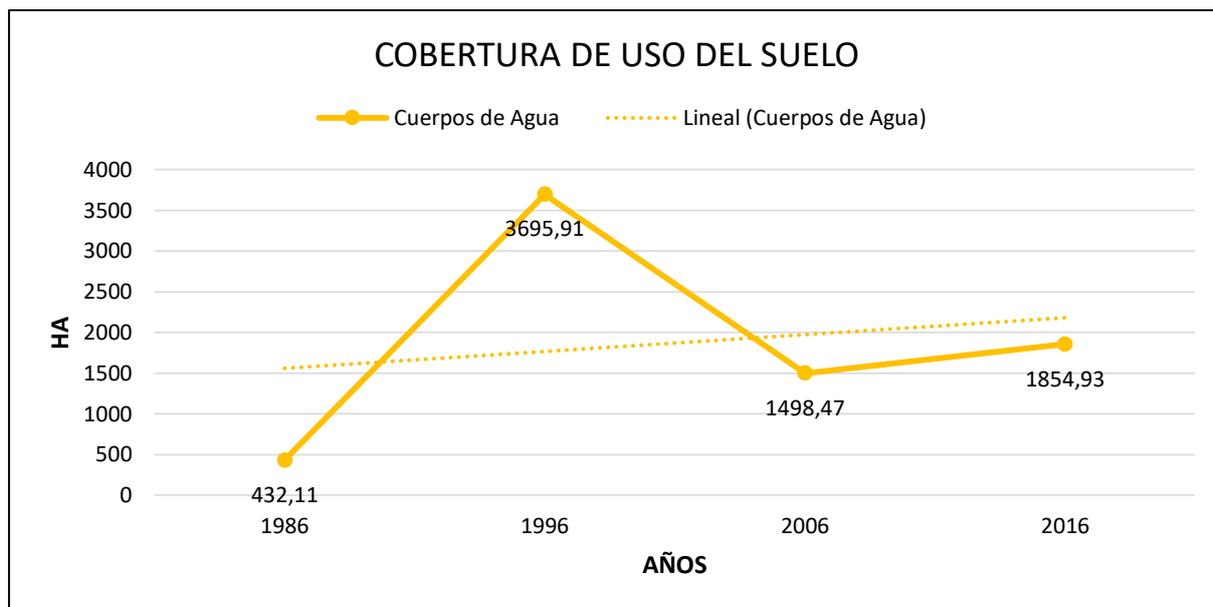
Anexo 10. Tendencia de crecimiento de la cobertura agrícola entre los años 1986 a 2016



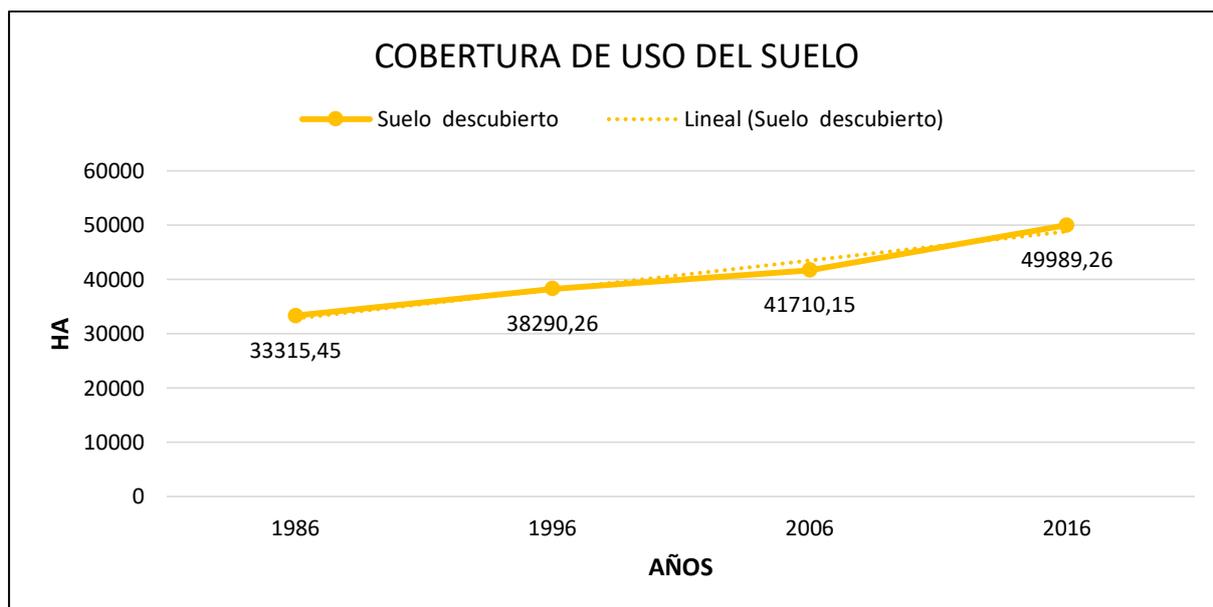
Anexo 11. Tendencia de la cobertura vegetación arbustiva y herbácea entre los años 1986 a 2016.



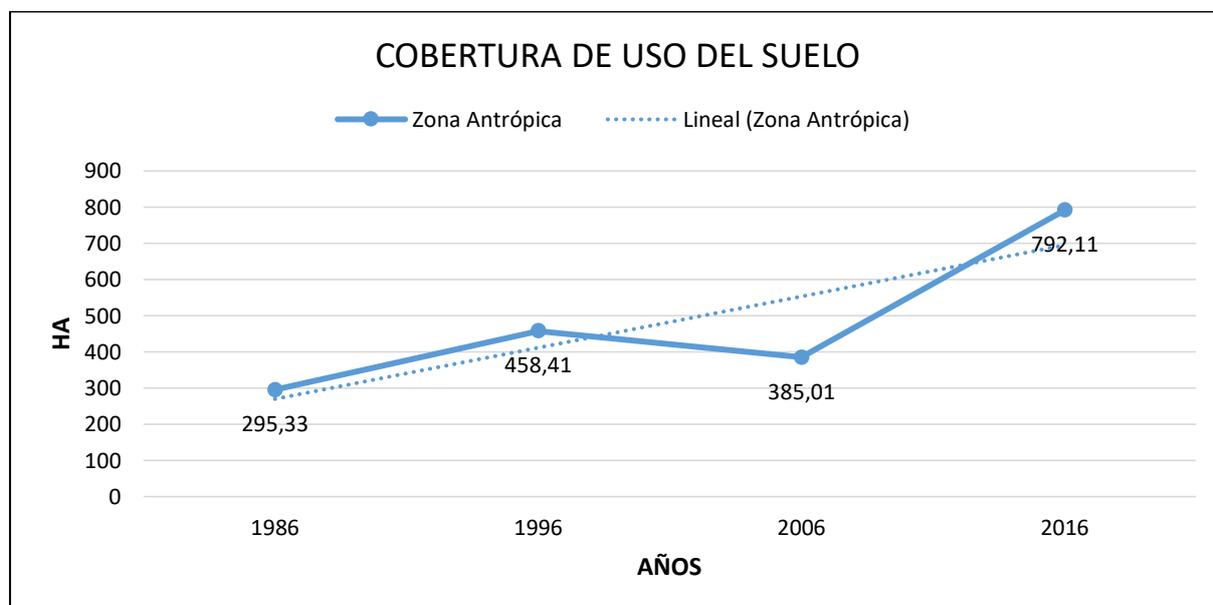
Anexo 12. Tendencia de la cobertura cuerpos de agua entre los años 1986 a 2016



Anexo 13. Tendencia de crecimiento de la cobertura suelo descubierto entre los años 1986 a 2016



Anexo 14. Tendencia de crecimiento de la cobertura zona antrópica entre los años 1986 a 2016



Anexo 15. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1986

Clases de coberturas de suelo	Bosque	Agrícola	Vegetación	Cuerpos de agua	Zona antrópica	Suelo descubierto	Nubes	Sombra de nubes	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Bosque	57		1			1		1	60	0,95	0,05
Agrícola		3							3	1,00	0,00
Vegetación	1		3			1			5	0,60	0,40
Cuerpos de agua				1	1	1			3	0,33	0,67
Zona Antrópica											
Suelo descubierto	3					22			25	0,88	0,12
Nubes	1						1		2	0,50	1,00
Sombra de nubes								2	2	1,00	0,00
Total	62	3	4	1	1	25	1	3	100		
Exactitud del Productor	0,92	1,00	0,75	1,00	0,00	0,88	0,00	0,67			
Error de Omisión	0,08	0,00	0,25	0,00	1,00	0,12	1,00	0,33			

Anexo 16. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1996

Clases de coberturas de suelo	Bosque	Agrícola	Vegetación	Cuerpos de agua	Zona antrópica	Suelo descubierto	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Bosque	47		2				49	0,96	0,04

Agrícola				1			1	0,00	1,00
Vegetación	1		10	1		2	14	0,71	0,29
Cuerpos de agua				1			1	1,00	0,00
Zona Antrópica							2	0,00	1,00
Suelo descubierto	4		1				28	0,85	0,15
Total	52		13	3			32		100
Exactitud del Productor	0,90		0,77	0,33			0,88		
Error de Omisión	0,10		0,23	0,67			0,125		

Anexo 17. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2006

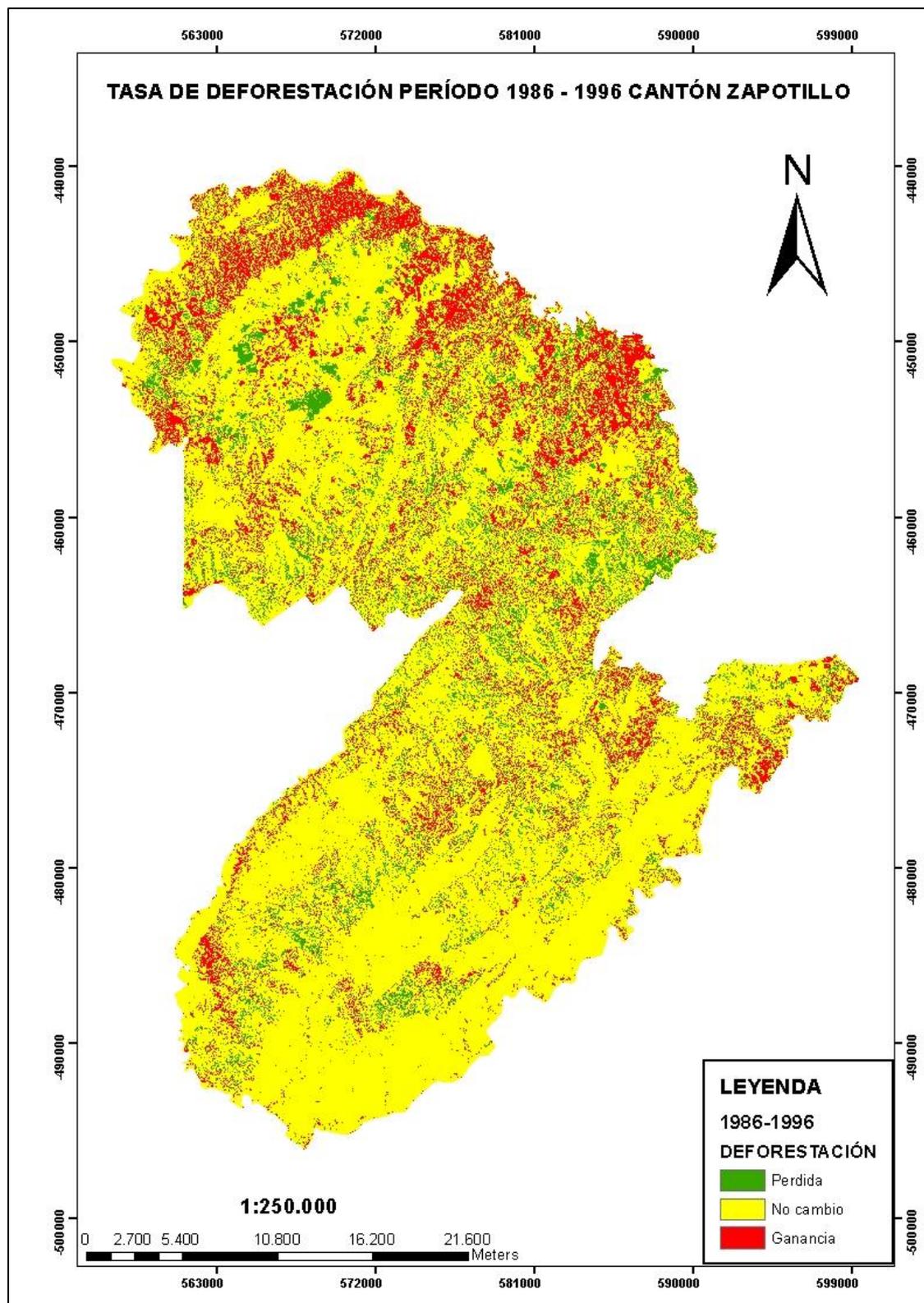
Clases de coberturas de suelo	Bosque	Agrícola	Vegetación	Cuerpos de agua	Zona antrópica	Suelo descubierto	Nubes	Sombra de nubes	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Bosque	61		1						62	0,98	0,02
Agrícola	1	2				1			4	0,50	0,50
Vegetación	3	1	3			2			9	0,33	0,67
Cuerpos de agua				2					2	1,00	0,00
Zona Antrópica						1			1	0,00	1,00
Suelo descubierto	1	1			1	18			21	0,86	0,14
Nubes											
Sombra de nubes								1	1	1,00	0,00
Total	66	4	4	2	1	22		1	100		
Exactitud del Productor	0,92	0,50	0,75	1,00	0,00	0,82		1,00			
Error de Omisión	0,08	0,50	0,25	0,00	1,00	0,18		0,00			

Anexo 18. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2016

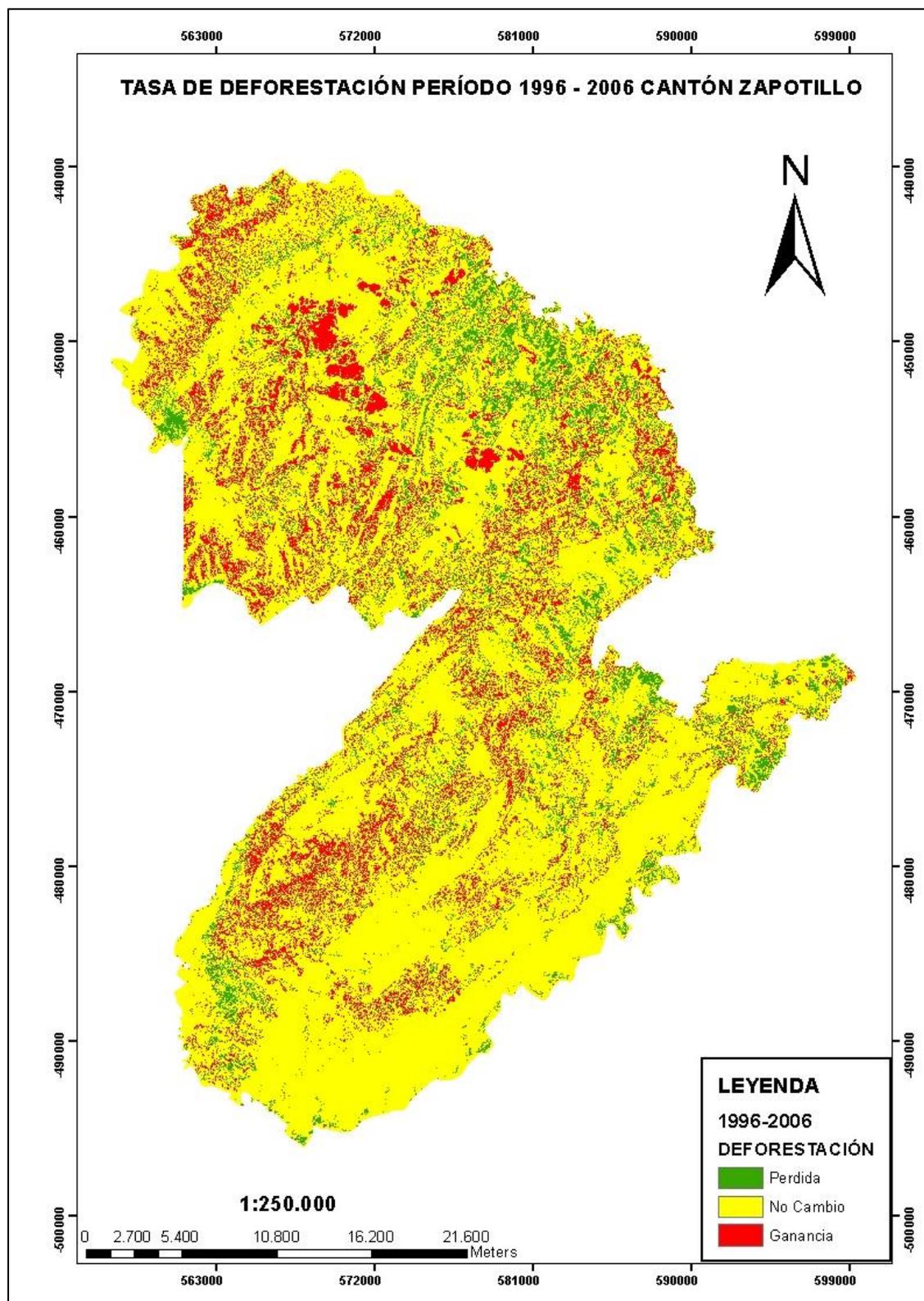
Clases de coberturas de suelo	Bosque	Agrícola	Vegetación	Cuerpos de agua	Zona antrópica	Suelo descubierto	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Bosque	45					1	46	0,98	0,02
Agrícola		3		1			4	0,75	0,25
Vegetación			10			4	14	0,71	0,29

Cuerpos de agua				3	1	4	0,75	0,25
Zona Antrópica					2	2	0,00	1,00
Suelo descubierto						30	1,00	0,00
Total	45	3	10	4	38	100		
Exactitud del Productor	1,00	1,00	1,00	0,75	0,79			
Error de Omisión	0,00	0,00	0,00	0,25	0,21			

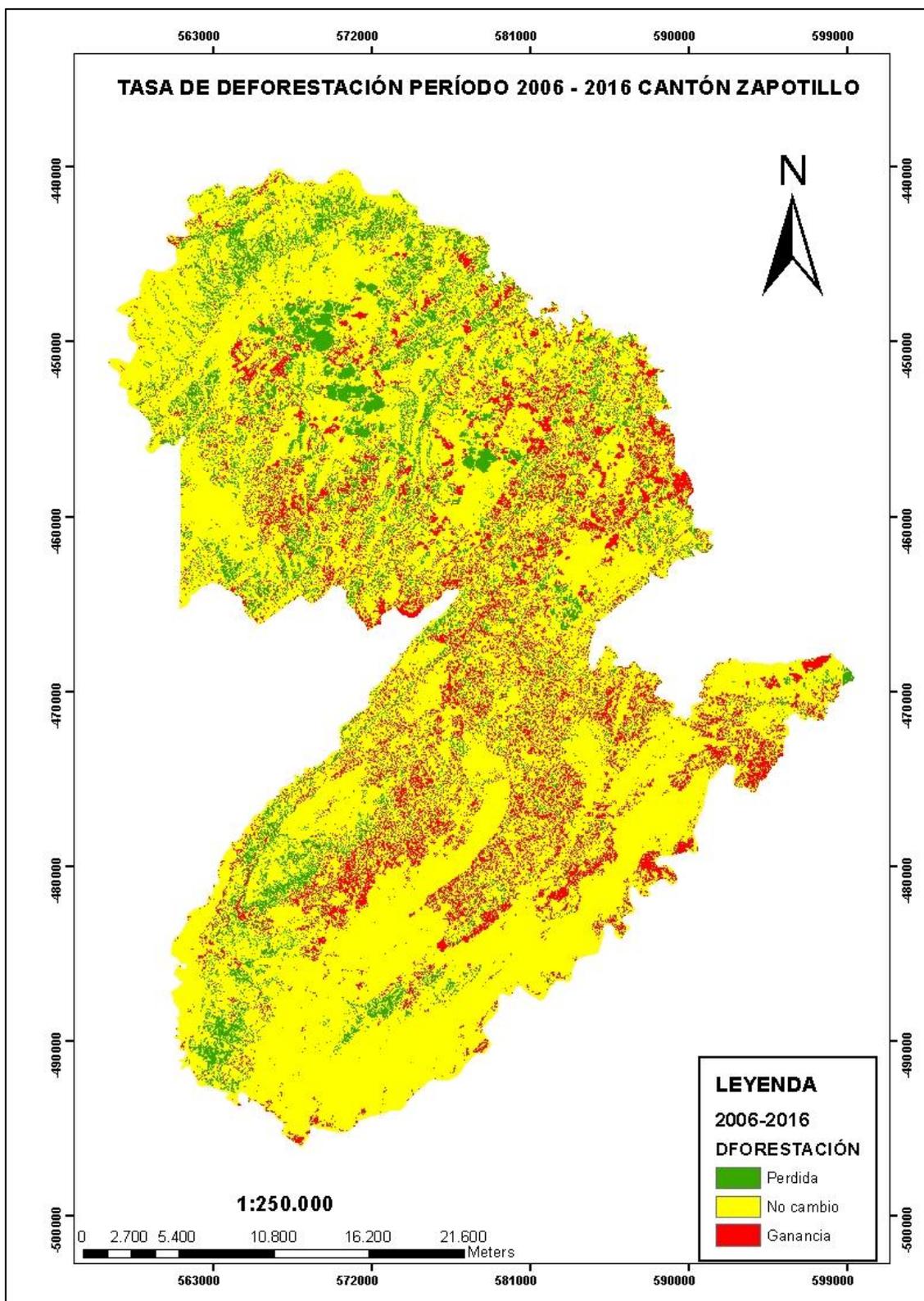
Anexo 19. Mapa de la tasa de Deforestación 1986 – 1996



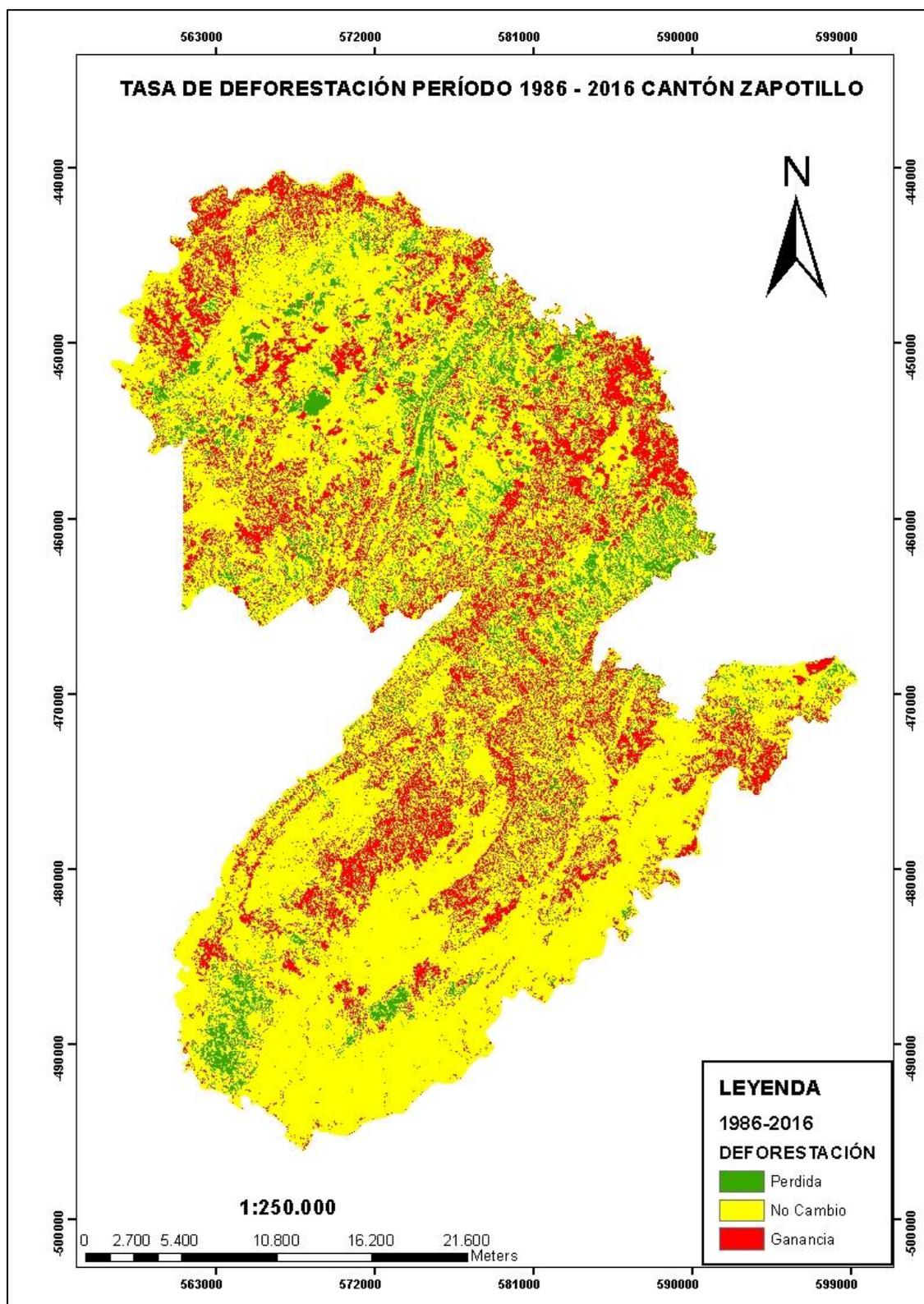
Anexo 20. Mapa de la tasa de Deforestación 1996 – 2006



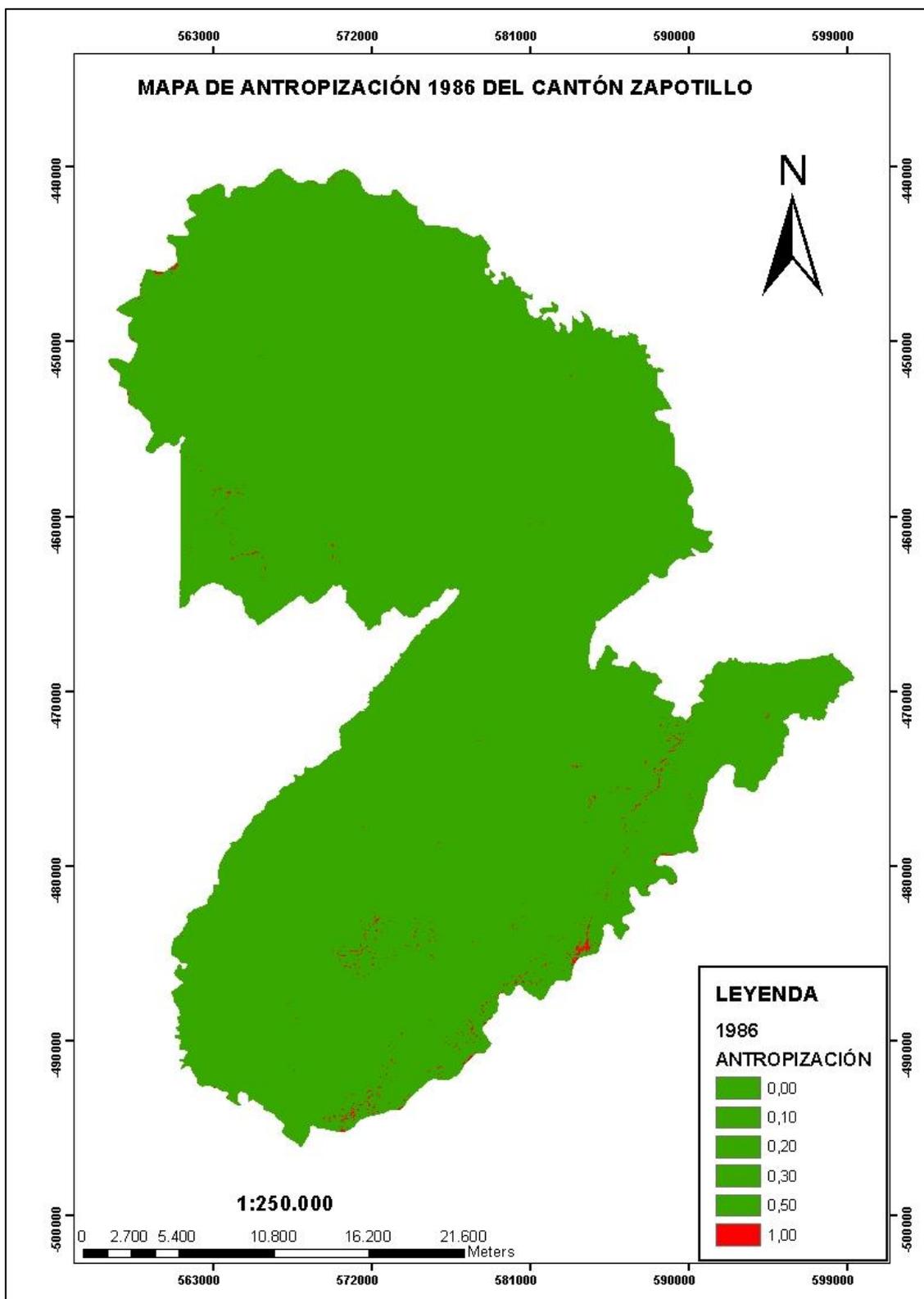
Anexo 21. Mapa de la tasa de Deforestación 2006 – 2016



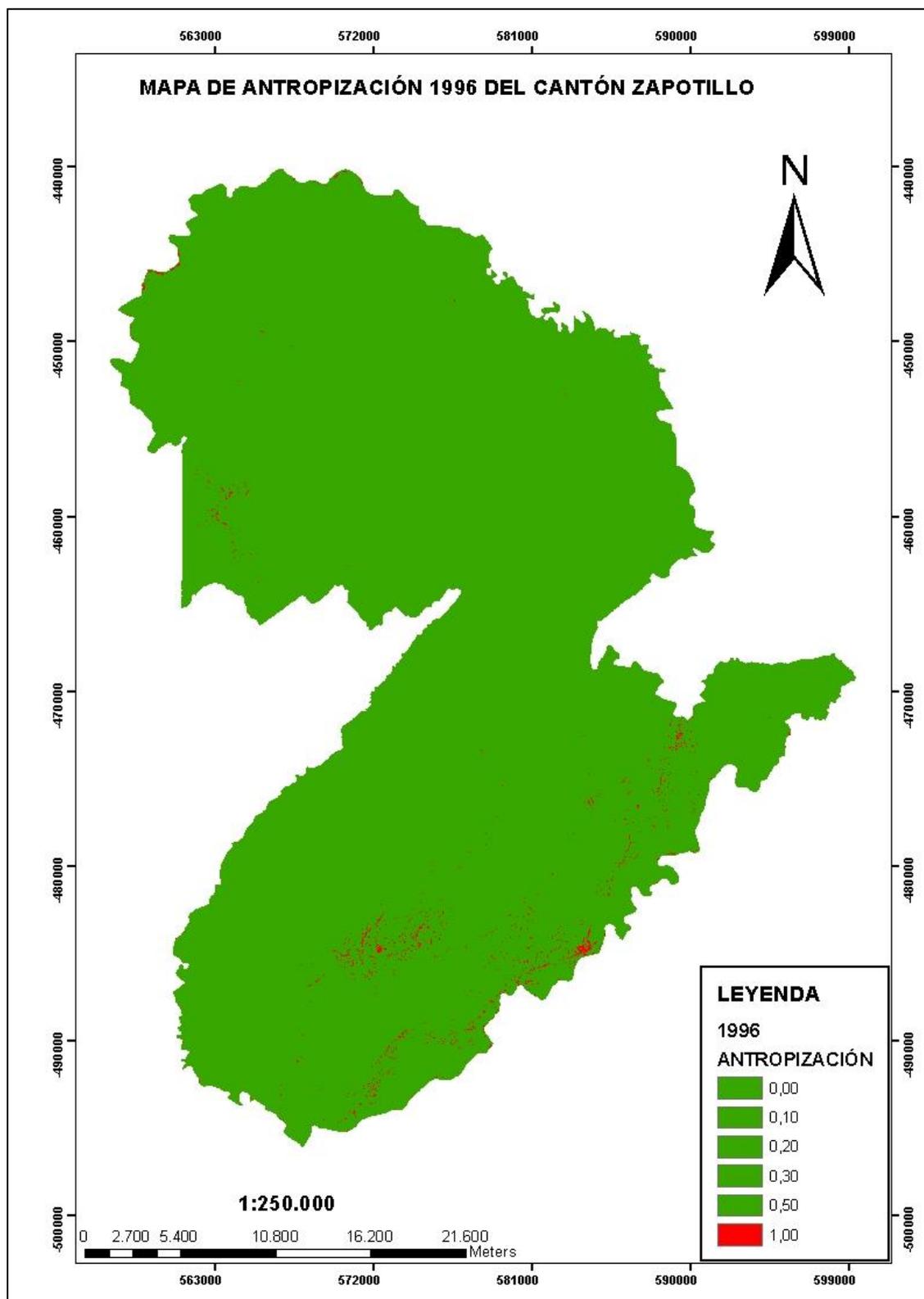
Anexo 22. Mapa de la tasa de Deforestación 1986 – 2016



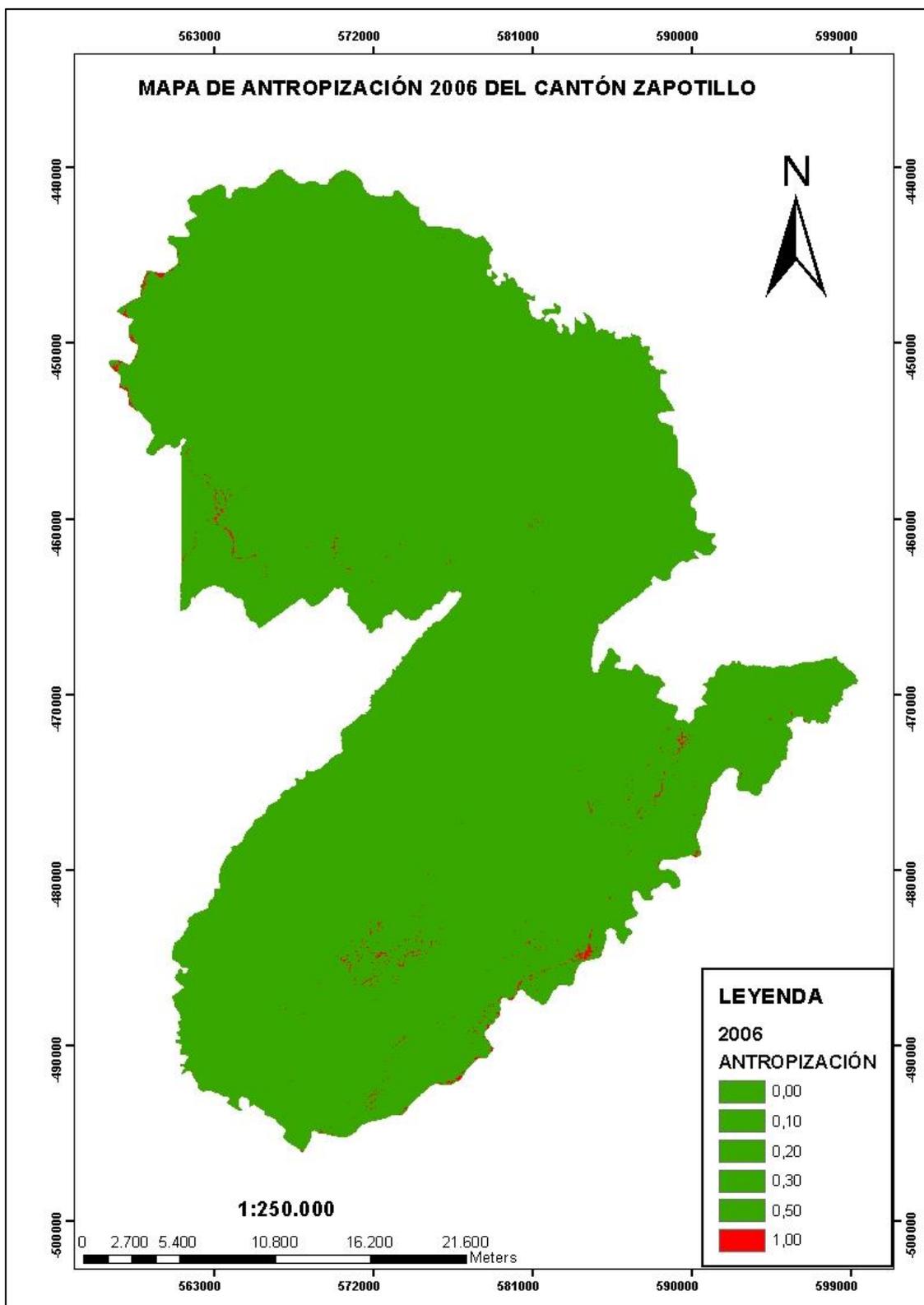
Anexo 23. Mapa del Índice de antropización Cantón Zapotillo, 1986



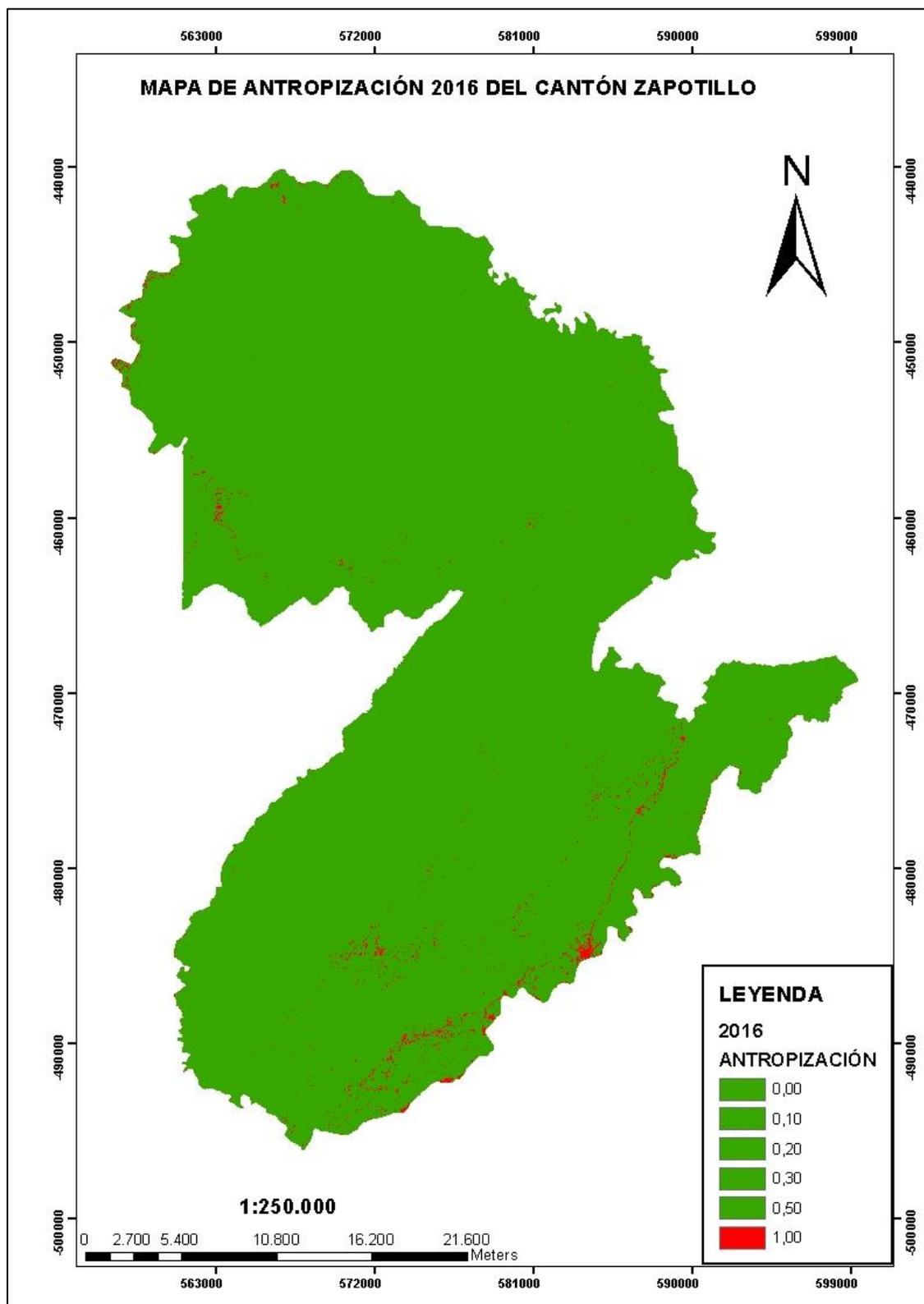
Anexo 24. Mapa del Índice de antropización Cantón Zapotillo, 1996



Anexo 25. Mapa del Índice de antropización Cantón Zapotillo, 2006



Anexo 26. Mapa del Índice de antropización Cantón Zapotillo, 2016



Anexo 27. Índice de antropización de 1986

Unidad de análisis	1986						TOTAL
	0.00	0.10	0.20	0.30	0.50	1.00	
1	80,0	2,0	10,0	7,0	1,0	0,0	4,8
2	75,0	4,0	9,5	10,0	1,0	0,5	6,3
3	75,0	0,0	0,5	23,0	1,0	0,5	8,0
4	50,0	0,0	20,0	30,0	0,0	0,0	13,0
5	64,0	0,0	25,0	10,0	1,0	0,0	8,5
6	80,0	0,0	14,0	5,0	1,0	0,0	4,8
7	80,0	0,0	15,0	3,0	2,0	0,0	4,9
8	52,0	0,0	5,0	40,0	3,0	0,0	14,5
9	50,0	0,0	40,0	10,0	0,0	0,0	11,0
10	70,0	0,0	19,0	10,0	1,0	0,0	7,3
11	70,0	0,0	20,0	8,0	1,5	0,5	7,7
12	50,0	0,0	10,0	37,0	2,0	1,0	15,1
13	80,0	0,0	4,5	15,0	0,5	0,0	5,7
14	50,0	2,0	3,0	40,0	4,0	1,0	15,8
15	65,0	0,0	8,0	25,0	1,9	0,1	10,2
16	85,0	0,0	7,0	7,0	1,0	0,0	4,0
17	70,0	0,0	10,0	5,0	15,0	0,0	11,0
18	25,0	1,0	2,0	66,0	4,0	2,0	24,3
19	40,0	1,5	2,0	53,0	3,0	0,5	18,5
20	70,0	0,0	0,5	29,0	0,5	0,0	9,1
21	0,0	3,0	0,0	90,0	6,0	1,0	31,3
22	5,0	1,0	0,0	90,0	3,0	1,0	29,6
23	10,0	0,5	0,0	88,0	1,5	0,0	27,2
SUMA	1296	15	225	701	54,9	8,1	2300
PROMEDIO	56,35	0,65	9,78	30,48	2,39	0,35	12,71
Porcentaje							0,13

Anexo 28. Índice de antropización de 1996

Unidad de análisis	1996						TOTAL
	0.00	0.10	0.20	0.30	0.50	1.00	
1	15,0	2,0	75,0	7,9	0,0	0,1	17,7
2	70,0	2,0	12,0	16,0	0,0	0,0	7,4
3	40,0	1,0	15,0	42,5	1,0	0,5	16,9
4	60,0	1,0	10,0	29,0	0,0	0,0	10,8
5	40,0	2,0	25,0	33,0	0,0	0,0	15,1
6	78,0	1,0	15,0	5,0	1,0	0,0	5,1
7	49,0	2,0	6,0	40,0	3,0	0,0	14,9
8	52,0	0,0	5,0	40,0	3,0	0,0	14,5
9	54,0	1,0	20,0	25,0	0,0	0,0	11,6
10	58,0	2,0	15,0	25,0	0,0	0,0	10,7
11	63,0	2,0	15,0	20,0	0,0	0,0	9,2
12	50,0	3,0	10,0	35,0	1,0	1,0	14,3
13	80,0	3,0	3,0	14,0	0,0	0,0	5,1
14	40,0	2,0	6,0	48,0	3,0	1,0	18,3
15	63,0	2,0	8,0	25,0	1,9	0,1	10,4
16	85,0	1,0	8,0	6,0	0,0	0,0	3,5
17	40,0	3,0	10,0	45,0	2,0	0,0	16,8
18	10,0	3,0	1,0	80,0	5,0	1,0	28,0
19	35,0	2,0	5,0	52,0	3,0	3,0	21,3
20	70,0	0,0	0,5	28,0	0,5	1,0	9,8
21	0,0	3,0	0,0	91,0	5,0	1,0	31,1
22	8,0	3,0	0,5	85,0	2,5	1,0	28,2
23	10,0	0,5	0,0	88,0	1,5	0,0	27,2
SUMA	1070,0	41,5	265,0	880,4	33,4	9,7	2300,0
PROMEDIO	46,5	1,8	11,5	38,3	1,5	0,4	15,1
						Porcentaje	0,15

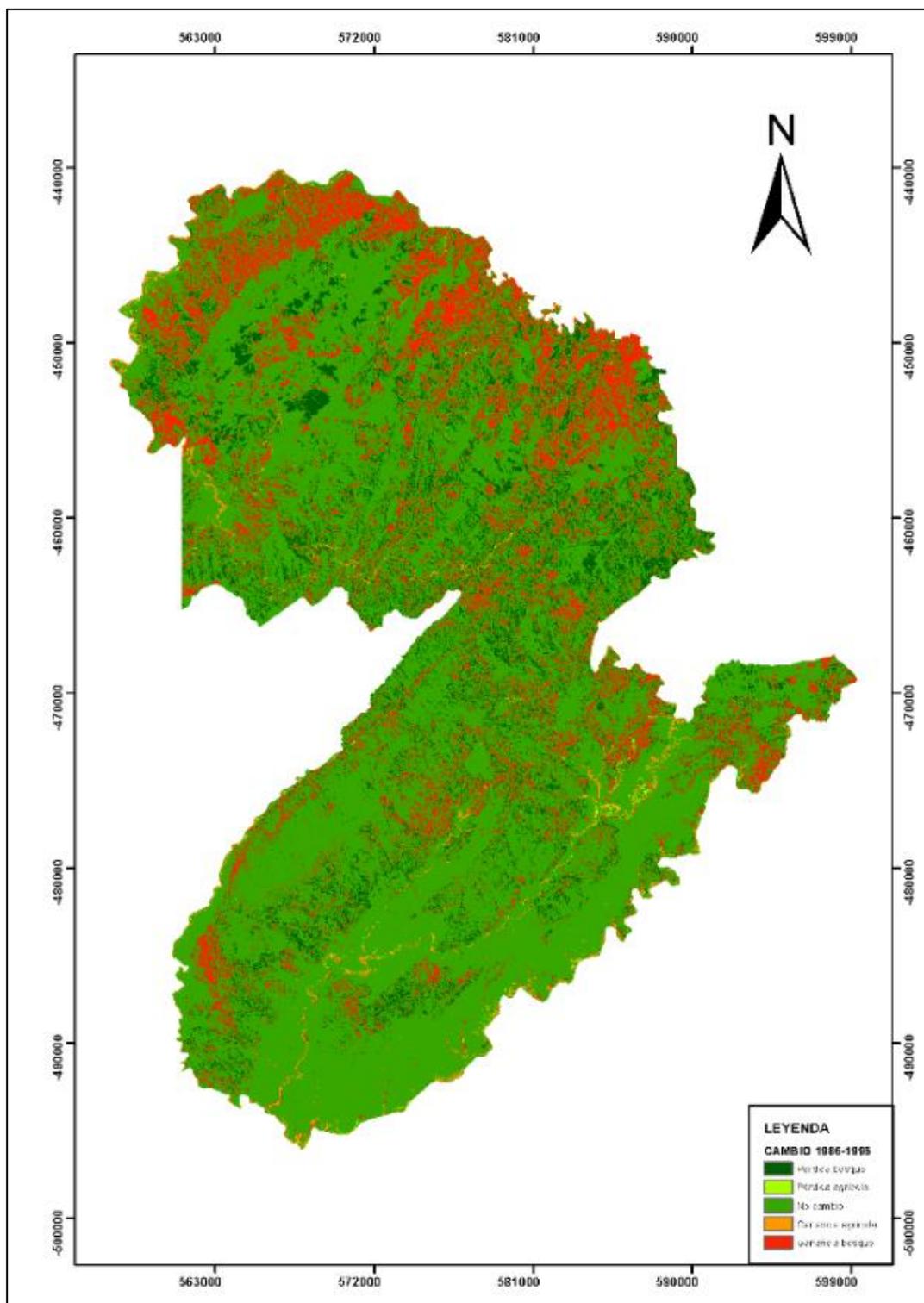
Anexo 29. Índice de antropización de 2006

2006							
Unidad de análisis	0.00	0.10	0.20	0.30	0.50	1.00	TOTAL
1	30,0	2,0	17,0	50,0	1,0	0,0	19,1
2	57,0	2,0	10,0	30,0	1,0	0,0	11,7
3	25,0	2,0	10,0	60,5	2,0	0,5	21,9
4	54,0	0,5	10,0	35,0	0,5	0,0	12,8
5	58,0	1,0	15,0	25,0	1,0	0,0	11,1
6	80,0	1,0	10,0	8,0	1,0	0,0	5,0
7	50,0	1,0	5,0	40,0	3,0	1,0	15,6
8	70,0	0,0	10,0	20,0	0,0	0,0	8,0
9	60,0	1,0	10,0	29,0	0,0	0,0	10,8
10	65,0	1,9	17,0	15,0	0,1	1,0	9,1
11	40,0	2,0	8,0	49,0	0,0	1,0	17,5
12	70,0	0,0	4,0	25,0	1,0	0,0	8,8
13	44,0	2,0	10,0	40,0	3,0	1,0	16,7
14	60,0	1,0	18,0	20,0	1,0	0,0	10,2
15	85,0	0,0	9,0	6,0	0,0	0,0	3,6
16	35,0	2,0	15,0	45,0	3,0	0,0	18,2
17	8,0	2,0	1,0	85,0	3,0	1,0	28,4
18	30,0	3,0	4,0	55,0	5,0	3,0	23,1
19	30,0	2,0	13,0	50,0	3,0	2,0	21,3
20	55,0	0,0	16,0	28,0	0,0	1,0	12,6
21	2,0	4,0	0,0	90,0	3,0	1,0	29,9
22	5,0	3,0	0,0	89,0	2,0	1,0	29,0
23	10,0	1,5	0,0	88,0	0,5	0,0	26,8
SUMA	1023,0	34,9	212,0	982,5	34,1	13,5	2300,0
PROMEDIO	44,5	1,5	9,2	42,7	1,5	0,6	16,1
Porcentaje							0,16

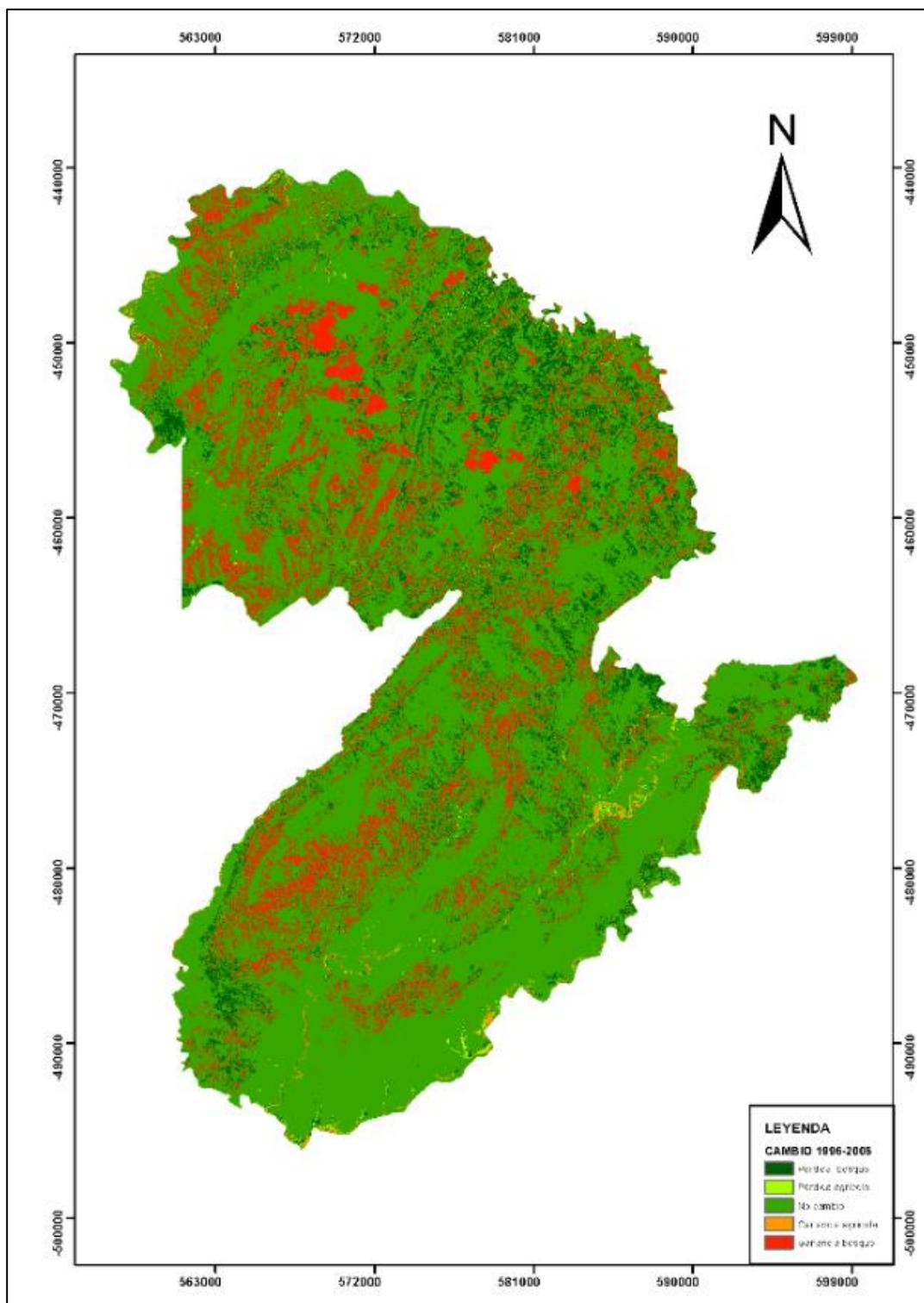
Anexo 30. Índice de antropización de 2016

Unidad de análisis	2016						TOTAL
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,50	1,00	
1	45,0	3,0	11,0	40,0	1,0	0,0	15,0
2	60,0	2,5	5,0	29,0	3,0	0,5	12,0
3	31,0	2,0	1,0	60,0	5,0	1,0	21,9
4	15,0	1,0	1,0	80,0	3,0	0,0	25,8
5	55,0	1,0	8,0	30,0	5,5	0,5	14,0
6	80,0	1,0	7,0	10,0	2,0	0,0	5,5
7	60,0	2,5	6,0	26,0	5,0	0,5	12,3
8	50,0	1,0	6,0	41,0	2,0	0,0	14,6
9	43,0	1,0	2,0	50,0	3,5	0,5	17,8
10	65,0	2,0	9,0	21,0	2,0	1,0	10,3
11	45,0	2,0	8,0	41,0	2,0	2,0	17,1
12	40,0	1,0	3,0	54,0	1,5	0,5	18,2
13	30,0	3,0	3,0	59,0	3,0	2,0	22,1
14	40,0	1,0	10,0	46,0	2,5	0,5	17,7
15	75,0	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0	6,0
16	34,0	2,0	8,0	50,0	5,0	1,0	20,3
17	5,0	1,0	0,0	88,0	5,0	1,0	30,0
18	28,0	2,0	4,0	57,0	5,0	4,0	24,6
19	36,0	3,0	5,0	50,0	3,0	3,0	20,8
20	60,0	0,0	2,0	37,0	0,0	1,0	12,5
21	2,0	3,0	0,0	87,0	6,0	2,0	31,4
22	6,0	3,0	0,0	80,0	8,0	3,0	31,3
23	30,0	1,0	0,0	66,0	2,9	0,1	21,5
SUMA	935,0	39,0	114,0	1112,0	75,9	24,1	2300,0
PROMEDIO	40,7	1,7	5,0	48,3	3,3	1,0	18,4
Porcentaje							0,18

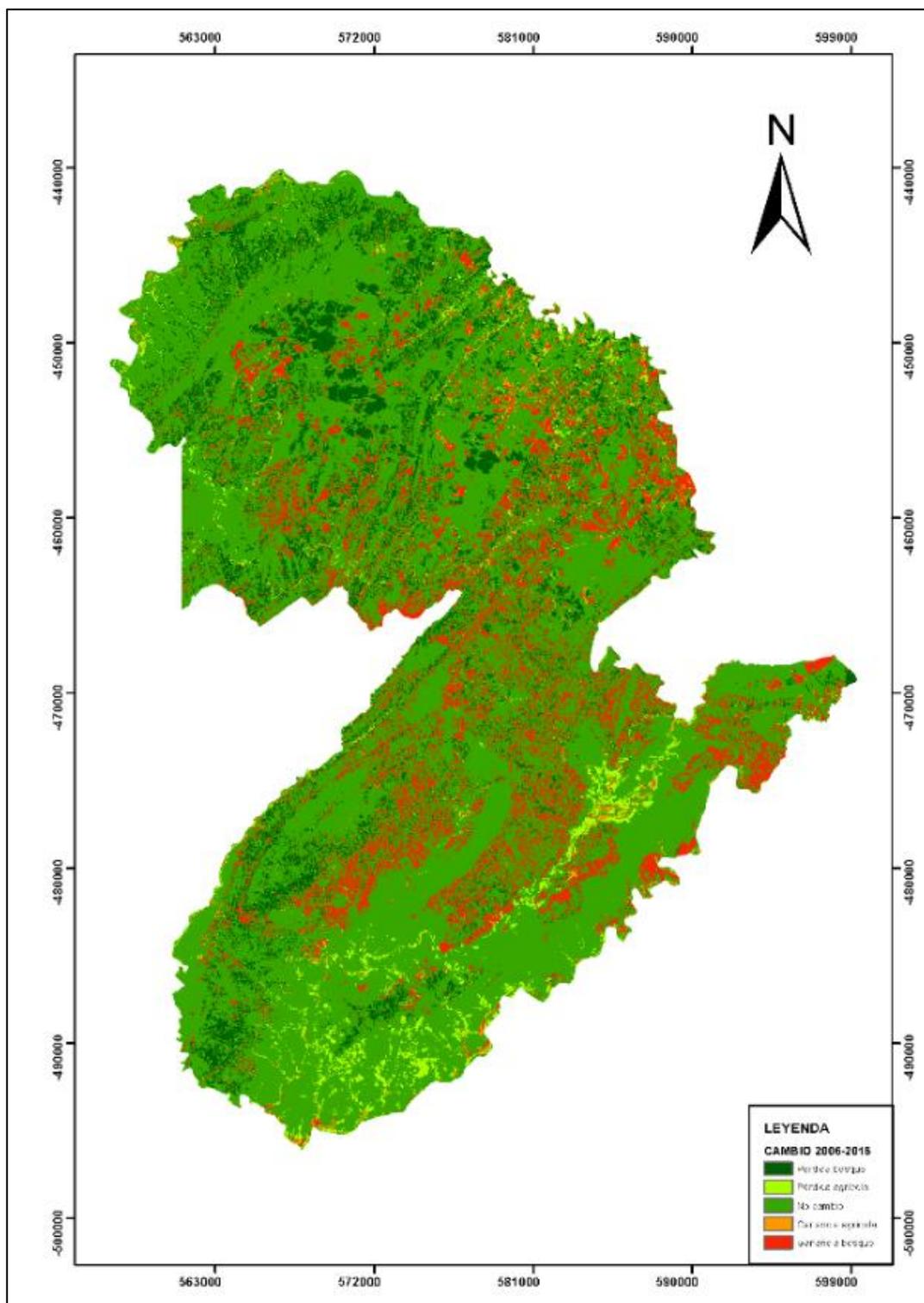
Fuente: Elaboración propia

Anexo 31. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a bosque 1986-1996

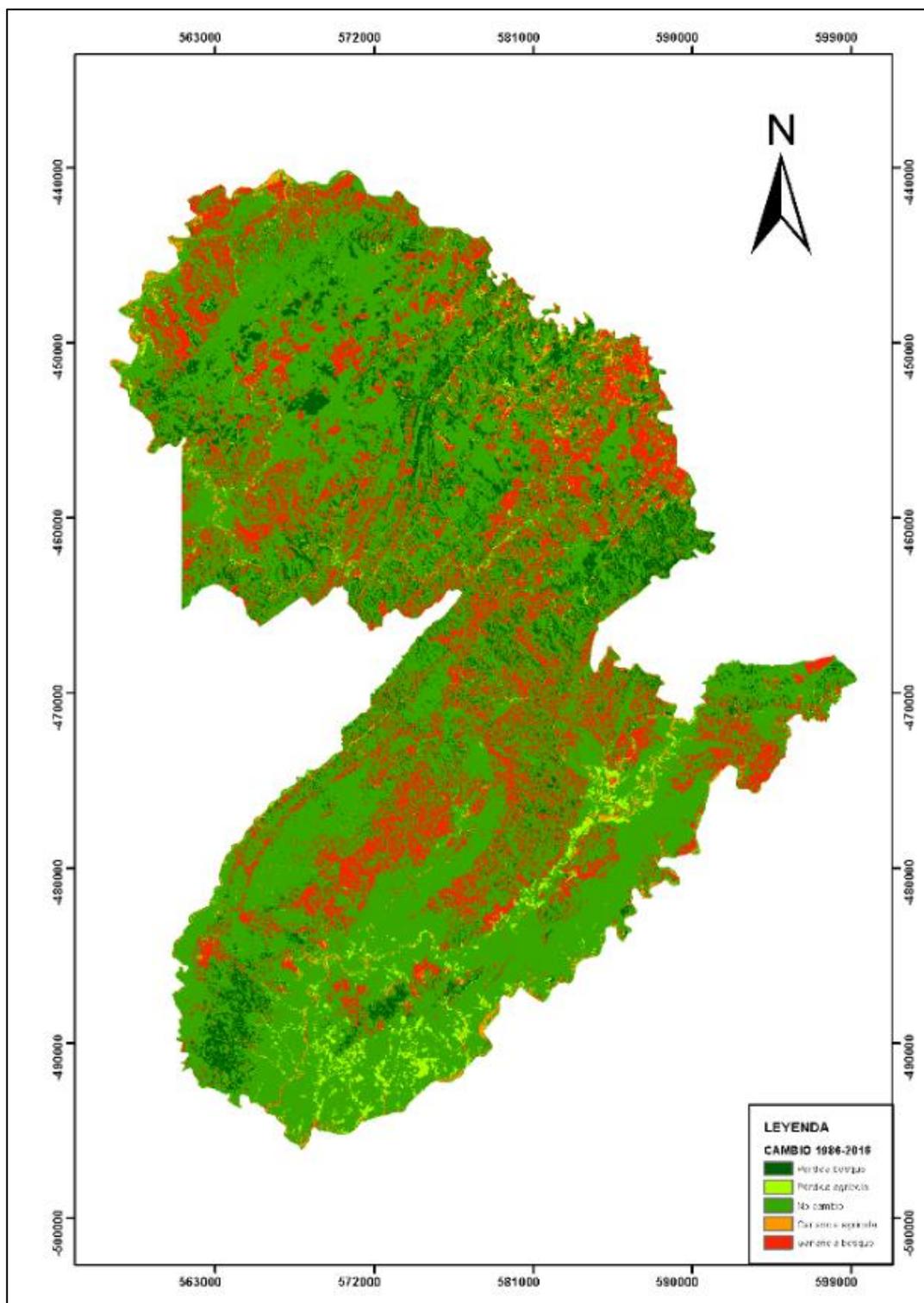
Anexo 32. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a bosque 1996 – 2006



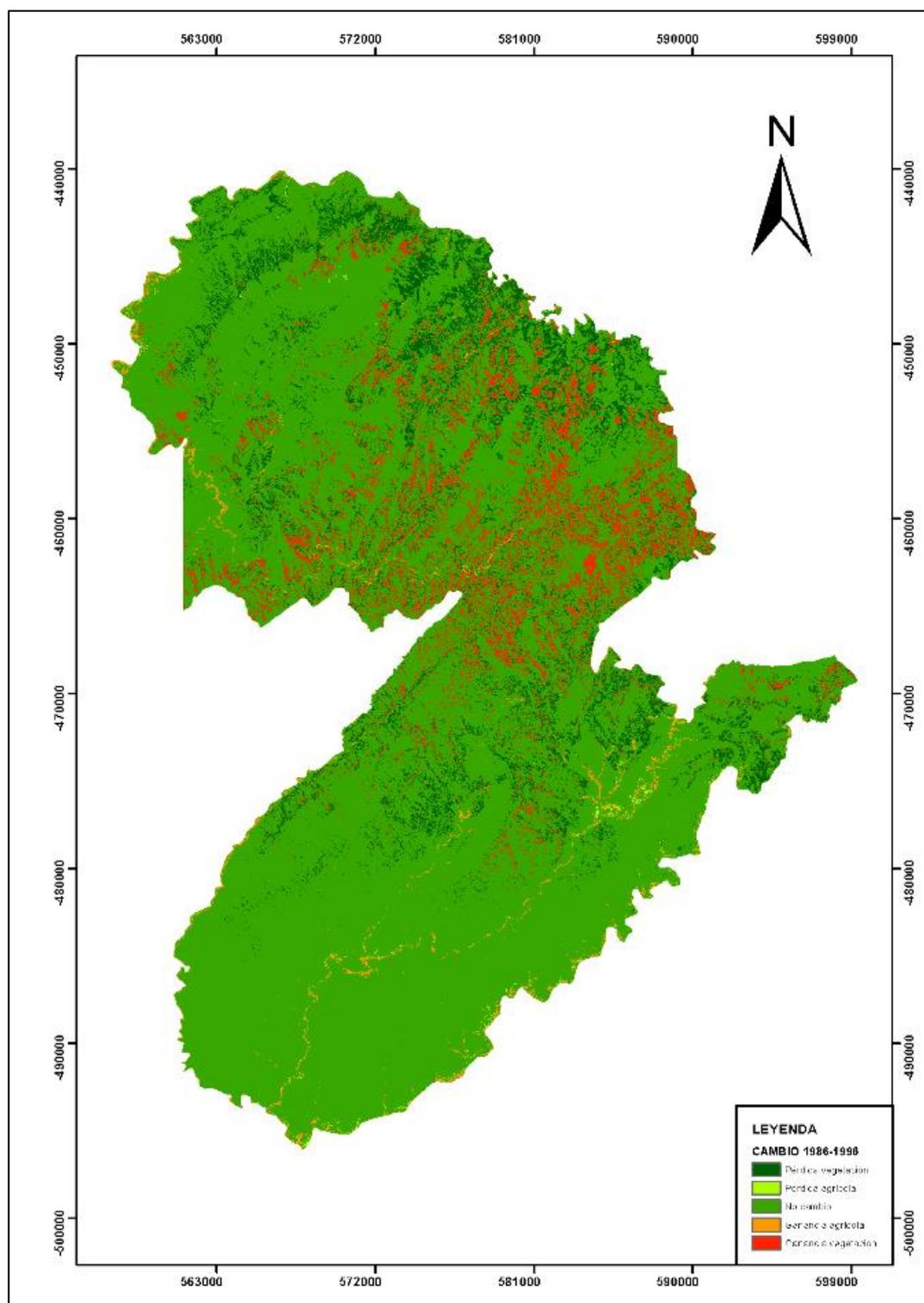
Anexo 33. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a bosque 2006 – 2016



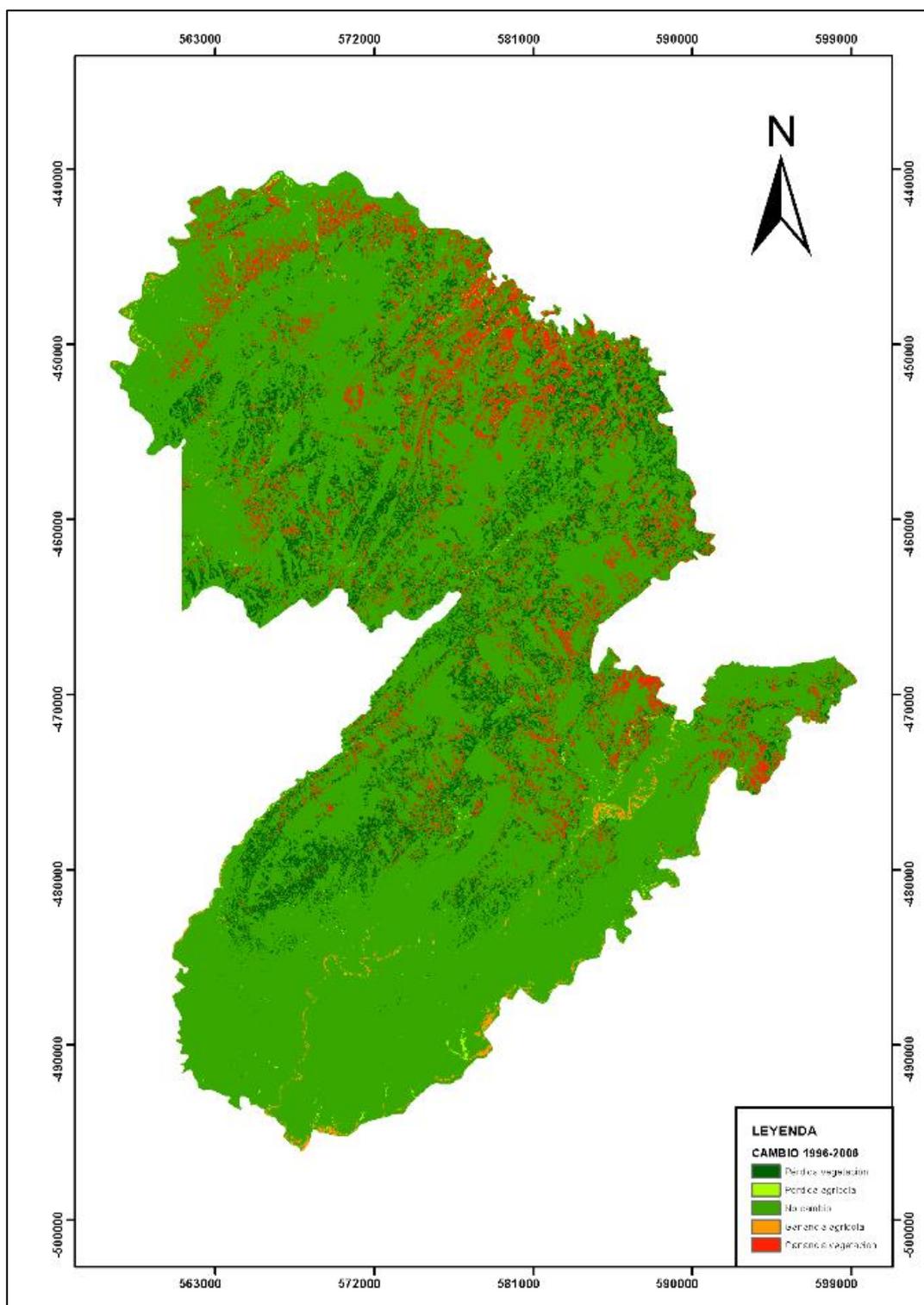
Anexo 34. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a bosque 1986 – 2016



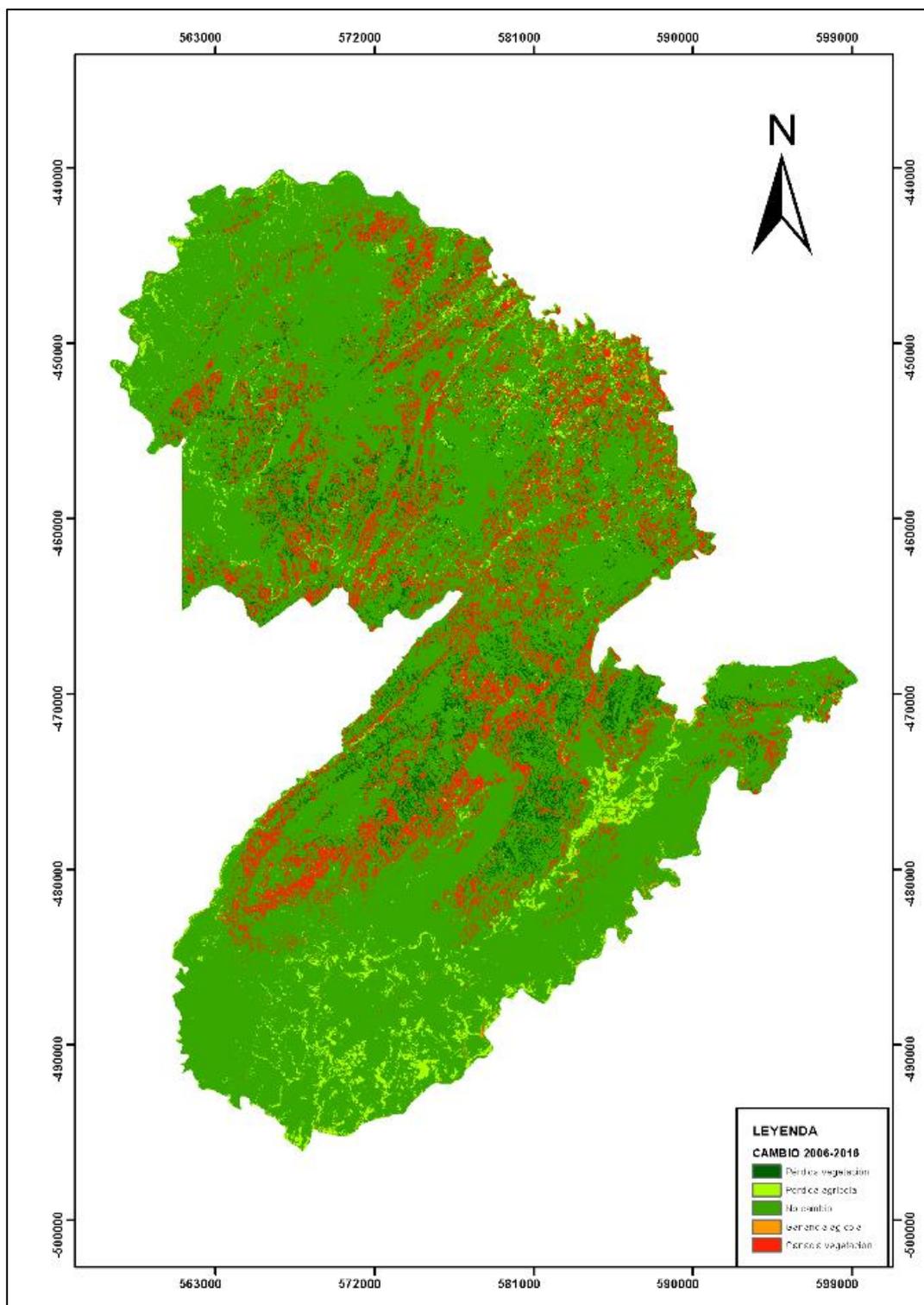
Anexo 35. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a vegetación arbustiva y herbácea 1986-1996



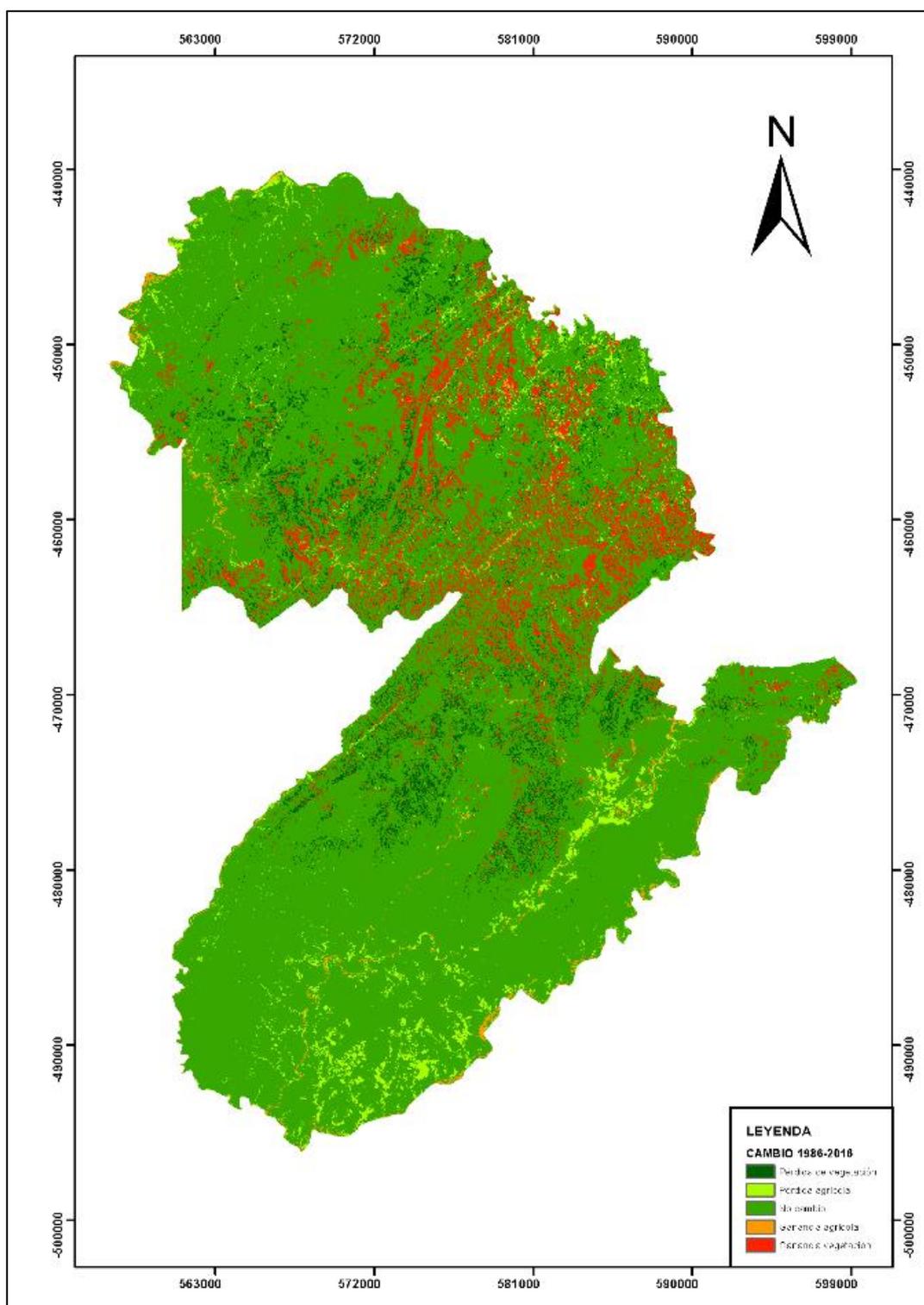
Anexo 36. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a vegetación arbustiva y herbácea 1996 – 2006



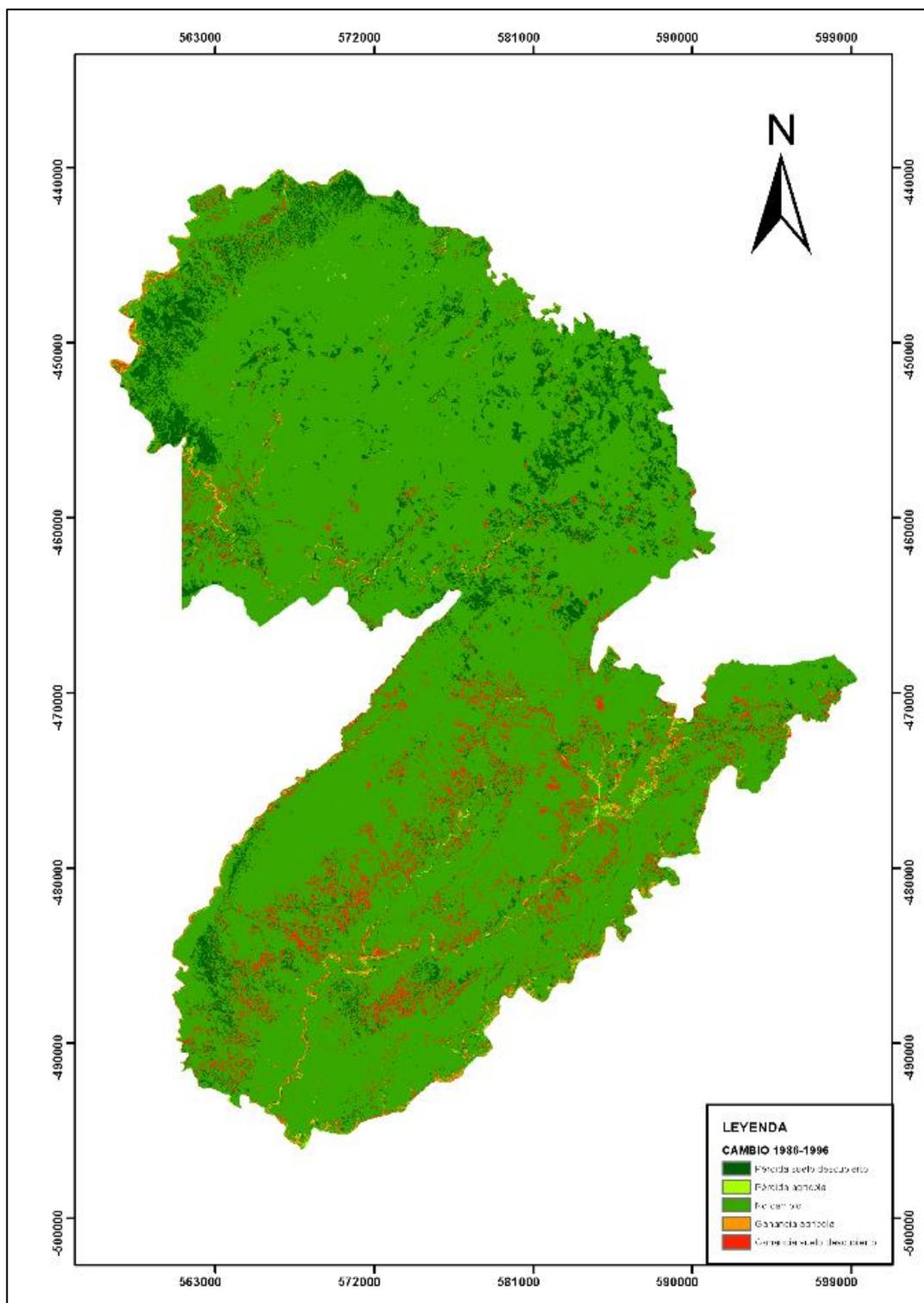
Anexo 37. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a vegetación arbustiva y herbácea 2006 – 2016



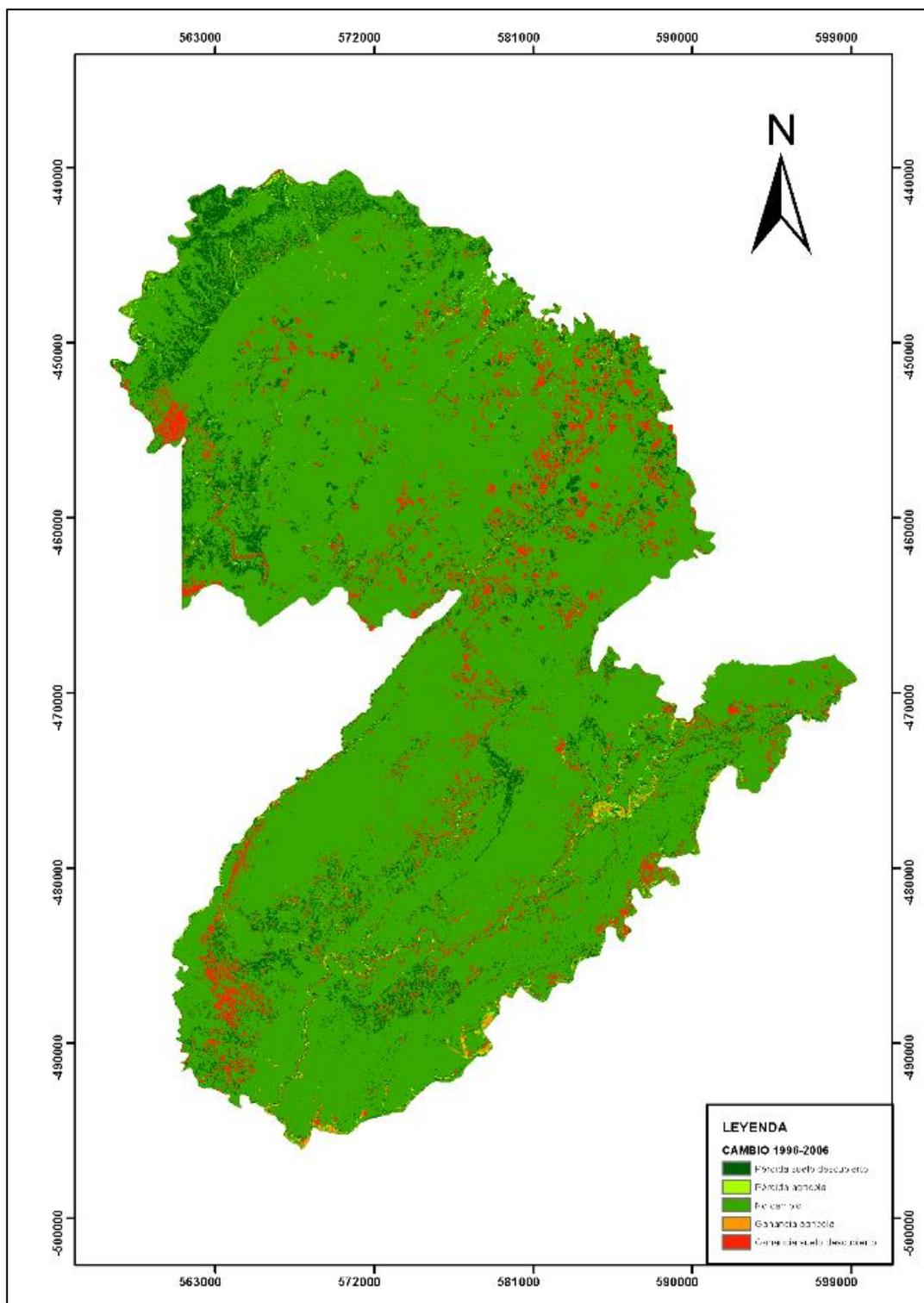
Anexo 38. Extensión de la frontera agrícola con respecto a vegetación arbustiva y herbácea 1986 – 2016



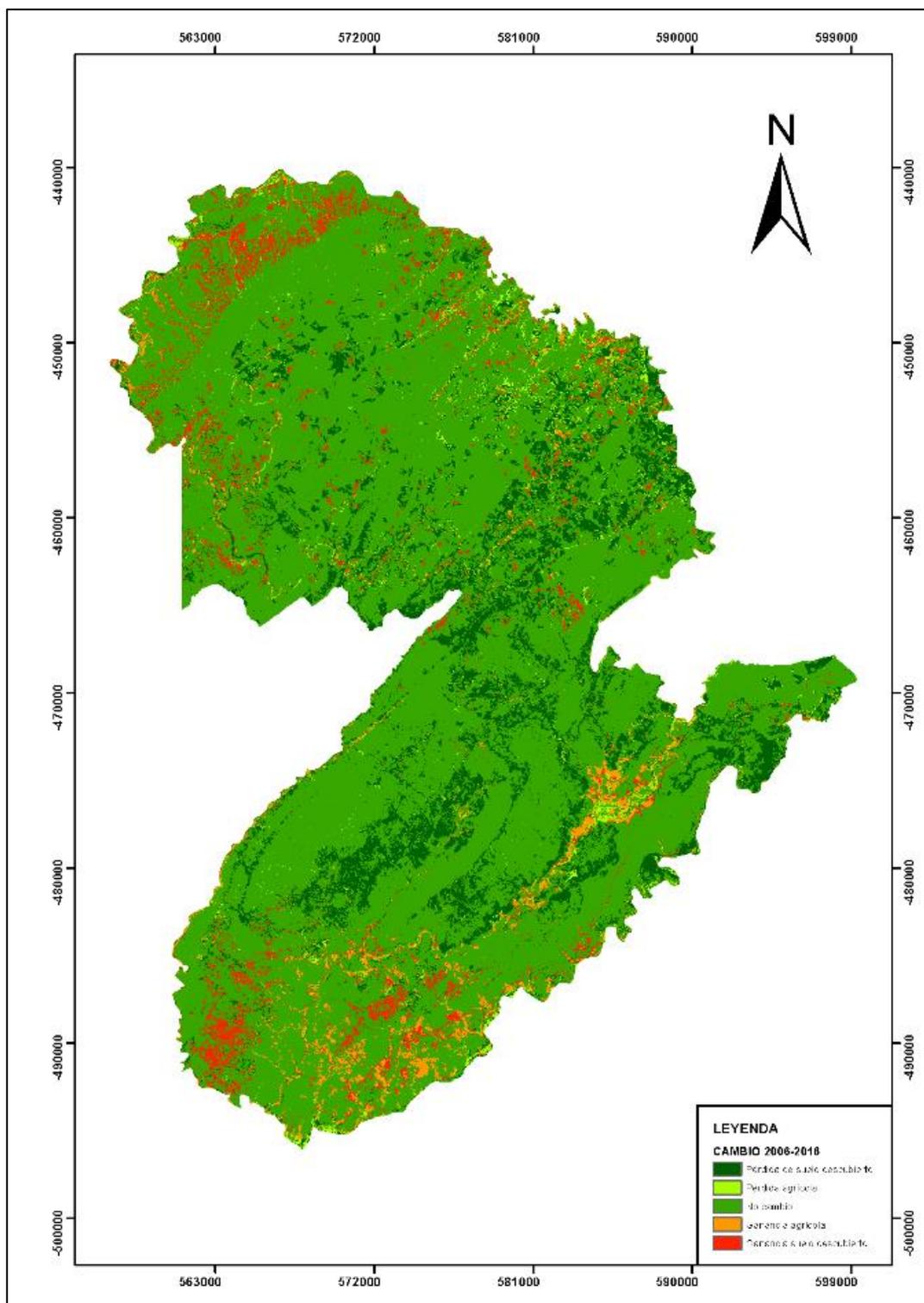
**Anexo 39. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a suelo descubierto
1986-1996**



**Anexo 40. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a suelo descubierto
1996 – 2006**



**Anexo 41. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a suelo descubierto
2006 – 2016**



Anexo 42. Mapa de la extensión de la frontera agrícola con respecto a suelo descubierto
1986 – 2016

