

Análisis de la dinámica de cambio de cobertura del suelo en áreas con plantaciones forestales comerciales en el municipio de Herveo (Tolima), durante el periodo 1986 - 2020



Mery Barreto Núñez

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C., Colombia
2021

**Análisis de la dinámica de cambio de cobertura del suelo en áreas con
plantaciones forestales comerciales en el municipio de Herveo (Tolima),
durante el periodo 1986 - 2020**

Mery Barreto Núñez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director: Andrés Felipe Carvajal Vanegas

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Ambiental
Especialización en Sistemas de Información Geográfica
Bogotá D.C., Colombia
2021

Dedicatoria

A Dios y a la Virgen María por siempre guiarme por el camino correcto y haberme permitido llegar hasta este punto y con esto lograr uno de mis objetivos, además de brindarme su infinita bondad y amor.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en los triunfos y en mi vulnerabilidad, por sus consejos, ejemplo de constancia y perseverancia.

Gracias por todo su apoyo incondicional, este logro es para ustedes

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo del Consejo Académico de la Universidad Antonio Nariño. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Mery Barreto Núñez

14/06/2021

Agradecimientos

La autora manifiesta sus agradecimientos a:

Todos los docentes de la Universidad Antonio Nariño, en especial a los de la Especialización en Sistemas de Información Geográfica de la Facultad de Ingeniería Ambiental que compartieron sus conocimientos, experiencias y vivencias dentro del proceso de formación en la especialización.

Al Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Ingeniera Yenifer Vizcaino Morales Responsable Nacional Del Programa Fitosanitario Forestal, Ingeniera Angie Molina Villarreal, quienes me apoyaron y ayudaron en todo el proceso de estudio, además de impulsar mi crecimiento personal y profesional en este tiempo.

A todas aquellas personas que directa e indirectamente, apoyaron a mi formación personal y profesional en el transcurso de la especialización.

Contenido

	<u>Pág.</u>
1. Introducción	12
2. Marco Teórico y Estado del Conocimiento	13
2.1 Sensores Remotos	13
2.2 Coberturas	14
2.3 Plantaciones Forestales con fines comerciales	14
3. Estado del conocimiento	15
4. Objetivos.....	17
4.1 Objetivo General	17
4.2 Objetivos Específicos.....	17
5. Metodología	17
5.1 Área de estudio.....	18
5.2 Fuentes de información.....	19
5.2.1 Registros de Plantaciones forestales	19
5.2.2 Imágenes satelitales	20
5.2.3 Coberturas.....	21
5.3 Identificación geográfica de las plantaciones forestales comerciales.	21
5.4 Identificación de coberturas del suelo presentes en el área de estudio.....	23
5.4.1 Obtención de imágenes	23
5.4.2 Pre-procesamiento de imágenes	24
5.4.3. Procesamiento.....	26
5.4.4 Clasificación supervisada.....	28
5.4.5 Principales transformaciones asociadas a las coberturas del suelo.	30
6. Resultados y Discusión	30
7. Conclusiones.....	47
8. Recomendaciones.....	49
9. Bibliografía.....	50

Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 1 Resumen metodología.....	18
Figura 2 Municipio de Herveo - Área estudio	19
Figura 3 Imágenes con corrección bandeamiento de acuerdo al proceso de mejoramiento realizado	25
Figura 4 Recorte delimitación zona de estudio.	26
Figura 5 Temporalidades analizadas combinación de bandas RGB – 432 para imágenes TM - ETM y RGB 543 para OLI	27
Figura 6 Coberturas identificadas nivel 1 y 2 Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra - Colombia.....	31

Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1 Imágenes de Satélite de mediana resolución empleadas en el estudio.....	20
Tabla 2 Características y vista previa de las imágenes Landsat	23
Tabla 3 Coberturas analizadas	29
Tabla 4 Área y porcentaje de coberturas del área de estudio de acuerdo a Metodología Corine Land Cover	35
Tabla 5 Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 1986 – 1990....	37
Tabla 6 Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 1990 – 1996....	38
Tabla 7 Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 1996 – 2000....	39
Tabla 8 Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 2000 - 2007.....	39
Tabla 9 Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 2007 – 2015....	40
Tabla 10 Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 2015 – 2020..	41
Tabla 11 Cobertura periodo 2020 – 1986	43
Tabla 12 Cobertura periodo 2020 – 1990	44
Tabla 13 Cobertura periodo 2020 – 1996	45
Tabla 14 Cobertura periodo 2020 – 2000	46
Tabla 15 Cobertura periodo 2020 – 2007	46
Tabla 16 Cobertura periodo 2020 – 2015	47

Lista de Símbolos y abreviaturas

ICA – Instituto Colombiano Agropecuario

SCP - *The Semi-Automatic Classification Plugin*

Resumen

El presente trabajo muestra un análisis multitemporal entre los años 1986 al 2020 a partir de imágenes de satélites obtenidas de Landsat, identificando como ha sido la dinámica de las plantaciones forestales comerciales en el corregimiento de Padua, Municipio de Herveo (Tolima) y determinando los posibles escenarios de transformación de estas áreas destinadas a la producción forestal, utilizando como categoría de análisis las capas de georreferenciación de áreas registradas por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA en la zona, para el reconocimiento de las coberturas en estas zonas teniendo en cuenta la clasificación Corine Land Cover establecida para Colombia. Se empleó el software de acceso libre Qgis para el procesamiento de imágenes y la obtención de resultados requeridos en el desarrollo de este proyecto, procesos como la clasificación supervisada, cruzada y el análisis del cambio de cobertura del suelo, se realizaron a través del Complemento de Clasificación Semi-automático SCP (*Por sus siglas en inglés*).

Los resultados muestran un aumento gradual del área de plantaciones forestales, el cual comienza en el año 1986 con 207,3 ha equivalente a un 23,61% del área total, en el año 1990 con 232,7 ha correspondiente al 26,5% y al año 2020 presenta 637,4 ha para un 72,59% de las zonas destinadas a la producción, se presentó una transformación importante para áreas abiertas con o sin poca vegetación, lo que en el año 1986 era esa cobertura al año 2020 son plantaciones forestales, así mismo ocurrió para bosques fragmentados que al periodo 2020 son cultivos forestales. Se observó que en promedio prevalece las plantaciones forestales como cultivos predominantes con un área de 396,56 ha respecto a los 34 años de los datos analizados, lo cual infiere a que se tomó de base las áreas de polígonos suministradas por el ICA para la zona de estudio.

Palabras clave: *Análisis multitemporal, imágenes Landsat, plantaciones forestales, coberturas, clasificación, Qgis, SCP.*

Abstract

The present work shows a multitemporal analysis between the years 1986 to 2020 from satellite images obtained from Landsat, identifying how the dynamics of commercial forest plantations have been in the village of Padua, Municipality of Herveo (Tolima) and determining the possible transformation scenarios of these areas destined for forest production, using as a category of analysis the georeferencing layers of areas registered by the Instituto Colombiano Agropecuario ICA in the area, for the recognition of the coverage in these areas, taking into account the classification Corine Land Cover established for Colombia. The free access software Qgis was used for image processing and obtaining the required results in the development of this project, processes such as supervised, cross classification and analysis of land cover change, were carried out through the Semi-Automatic Classification Plugin SCP.

The results show a gradual increase in the area of forest plantations, which begins in 1986 with 207.3 ha, equivalent to 23.61% of the total area, in 1990 with 232.7 ha corresponding to 26.5% and by 2020 it presents 637.4 ha for 72.59% of the areas destined for production, an important transformation was presented for open areas without or with little vegetation, which in 1986 was that coverage by 2020 are forest plantations, the same happened for fragmented forests that by the 2020 period are forest crops. It was observed that on average forest plantations prevail as predominant crops with an area of 396.56 ha compared to the 34 years of the data analyzed, which infers that the polygon areas provided by the ICA for the area were taken as a basis study.

Key words: *Multitemporal analysis, Landsat images, forest plantations, land covers, classification, Qgis, SCP*

1. Introducción

Según el plan desarrollo 2020-2023 (Gobernación del Tolima, 2020), los principales usos de suelos en el Departamento del Tolima se basan en cultivos agrícolas como el arroz, algodón, maíz y los denominados pan coger, las diversas condiciones edafoclimáticas y los incentivos gubernamentales a nivel nacional han permitido migrar hacia alternativas orientadas al establecimiento de plantaciones o cultivos forestales comerciales. (Calderón et al., 2018)

Las plantaciones forestales comerciales ofrecen múltiples beneficios en las zonas de influencia, bienes que aportan a la economía como la pulpa, tableros, madera bienes, servicios ecosistémicos como protección suelos y bosques naturales que conllevan a reducir la ampliación de la frontera agrícola, la tala de bosques naturales, conservación de áreas aledañas, contribuyen a mitigar el calentamiento global, brindan mano de obra en el establecimiento, para labores silviculturales, vigilancia y cosecha del productos final. (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2018)

Uno de los factores de importancia para el éxito de las plantaciones forestales es conocer la calidad de sitio, la cual permite la adaptabilidad y preservación de las especies forestales hasta la edad de turno (Salazar García et al., 2019), permitiendo la obtención de productos óptimos de transformación primaria provenientes de las plantaciones forestales comerciales registradas, sin que presente afectación de problemas fitosanitarios. (Moreno Orjuela et al., 2014)

Teniendo en cuenta los diversos beneficios que aportan las plantaciones forestales comerciales y los incentivos económicos para el establecimiento de nuevas áreas forestales, data de la década de los noventa un incremento en las zonas destinadas a plantaciones forestales con fines productivos en la zona del Municipio de Herveo principalmente en el

Corregimiento de Padua y veredas circundantes, siendo un posible agente transformador del paisaje.

Con el presente trabajo se quiere identificar la dinámica de las plantaciones forestales comerciales en la zona entre los años 1986 al 2020 y determinar los posibles escenarios de transformación de las áreas plantadas.

Por lo anterior lo que se propone en este trabajo es realizar un análisis multitemporal a partir de imágenes de satélites obtenidas de Landsat, identificando como ha sido la dinámica de las plantaciones forestales comerciales en el corregimiento de Padua, Municipio de Herveo. Como categorías de análisis se utiliza las capas de georreferenciación de áreas registradas desde el año 2010 de plantaciones con años de establecimiento de 1990 hasta el 2017 y las áreas de vigilancia fitosanitaria.

En este documento, se presentan inicialmente el marco teórico, los objetivos, en seguida la metodología y los principales resultados. Por último, se presenta la discusión, conclusiones y recomendaciones.

2. Marco Teórico y Estado del Conocimiento

A continuación, se describen tres grandes temas: sensores remotos, coberturas y plantaciones forestales con fines comerciales.

2.1 Sensores Remotos

Los sensores remotos generan las imágenes satelitales que permiten reconocer áreas con experiencia en las zonas, representan un método de bajo costo y permiten evaluar y reconocer extensiones grandes de terrenos, (Mata et al., 2014) además que sirve para identificar los cambios de coberturas.

De acuerdo a la (FAO, 2001) el análisis de imágenes satelitales permite contar con una fuente de información valiosa, para obtener datos confiables de la cubierta forestal y los cambios a través del tiempo que se producen en ella.

2.2 Coberturas de suelo

La cobertura de suelo suministra información esencial para diversos procesos nacionales como la generación de mapas de ecosistemas, ordenación de cuencas y del territorio, los conflictos de uso del territorio, seguimiento a la deforestación de los bosques y los inventarios forestales, entre otros más estudios que permitan su aplicabilidad. (IDEAM, 2010a)

Según (CONABIO, 2020) es de importancia conocer los cambios de cobertura representados cartográficamente, de manera que puedan identificarse donde han ocurrido las transformaciones y así reportar estadísticas de pérdida o ganancia de áreas de la cobertura del suelo.

2.3 Plantaciones Forestales con fines comerciales

En su artículo 2.3.3.2. define “[...] *Cultivos o plantaciones forestales con fines comerciales. Siembra o plantación de especies arbóreas forestales realizada por la mano del hombre, para la obtención y comercialización de productos maderables, con densidad de siembra uniforme e Individuos coetáneos. Son sinónimos de plantaciones forestales con fines comerciales[...]*”

El (Decreto 2398, 2019) del Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural en su artículo 2.3.3.3 establece que al Instituto Colombiano Agropecuario ICA le compete las funciones para la implementación del registro de plantaciones forestales y sistemas agroforestales con fines comerciales en el ámbito rural hasta la frontera agrícola.

El Instituto Colombiano Agropecuario ICA es la entidad competente para registrar las plantaciones forestales comerciales acorde al *Decreto 2398 de 2019*, actividad que realiza

desde el año 2006. Adicional a lo anterior como Autoridad Fitosanitaria Nacional efectúa actividades de vigilancia fitosanitaria forestal en 28 departamentos del país. (ICA, 2021)

3. Estado del conocimiento

Uno de los aspectos a tener en consideración son las investigaciones referentes al análisis multitemporal de coberturas mediante imágenes satelitales de mediana resolución, por lo tanto, se realizó revisión de trabajos internacionales y locales con el fin de conocer la metodología empleada para el desarrollo de los trabajos consultados.

(Velasco Murguía et al., 2014) Analizaron cambios en cobertura arbolada mediante una clasificación supervisada de imágenes Landsat, para once comunidades en Chinantecas, México, realizando delimitación de los polígonos de las comunidades, análisis de imágenes de satélites de tres fechas de los años 1990, 2000 y 2010, efectuando corrección geométrica y combinaciones en falso color (bandas 4, 7 y 1), a fin de resaltar contrastes en la vegetación, la clasificación supervisada se realizó a través de la selección de campos de entrenamiento, es decir regiones de interés, en la cual delimitaron seis clases de coberturas, en el proceso de transformación, reconocieron: Deforestación, cobertura arbolada en un tiempo inicial, cambio de condición no-arbolada en fecha posterior, revegetación y permanencia de cobertura arbolada y de condición no arbolada.

En el trabajo desarrollado por (Otavo & Echeverría, 2017) A partir de imágenes satelitales Landsat para los periodos 1986 y 2011 evaluaron el estado del paisaje y cambios espacio temporales de bosques nativos en la cordillera Nahuelbuta, realizando clasificación supervisada analizando ocho clases de coberturas, observando pérdida de bosque natural principalmente asociada a la sustitución por plantaciones forestales, cambios de cobertura y usos de suelos demuestran transformación del paisaje y segmentación avanzada de bosques nativos.

En el estudio realizado (Payn et al., 2015) encontró que entre 1990 a 2015 aumentó el área mundial de bosques plantados de 167,5 millones de hectáreas a 277,9 millones de ha, el cual varió según la región y dominio climático, encontrándose en las zonas templadas, boreal, tropical y subtropical, todas mostraron aumento de área, siendo la zona templada la de mayor aumento.

(Chichipe et al., 2017) Realizaron un estudio que consistía en determinar los cambios de coberturas a causa de deforestación en el distrito Leymebamba – Perú para periodos entre 1987 y 2016, utilizando cuatro imágenes Landsat, obtención de coberturas y uso mediante clasificación basada en objetos para cinco coberturas, la comparación multitemporal con el área de estudio determinaron un gran cambio de la cobertura boscosa a causa de la ampliación de fronteras agrícolas para los periodos analizados.

En Colombia en el estudio de (Corredor Gil et al., 2011) efectuaron un análisis multitemporal para imágenes satelitales periodos de 1987 y 2007, con lineamientos de la metodología Corine Land Cover, realizando la interpretación visual por computador de las imágenes Landsat, como resultado establecieron estadísticas para cada año de los cambios en la cobertura de la zona de estudio.

Otro estudio local (Moreno, 2015) realizó análisis de dos temporalidades de imágenes Landsat para monitoreo de cambios de cobertura del santuario de fauna y flora de Iguaque a través del plugin para clasificación semiautomática de Qgis que realiza clasificación supervisada el estudio lo efectuó para nueve clases, para Landsat 5 composición RGB 543 y para la imagen Landsat 8 RGB 654, verificación para cada imagen de la precisión de la clasificación, en la que estimo porcentajes de precisión de la herramienta y el usuario.

En el estudio de (Guzmán-Manrique & Flórez-García, 2019) Fragmentación del paisaje a partir del cambio de coberturas periodos comprendidos de 1986 y 2013 mediante análisis

multitemporal emplearon imágenes satelitales Landsat para la identificación de los cambios de cobertura mediante clasificación supervisada definiendo 6 clases, validaron información de precisiones, índices y matriz del grado de concordancia de las clases asignadas para las dos imágenes y presentación del análisis de la fragmentación de los elementos del paisaje.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

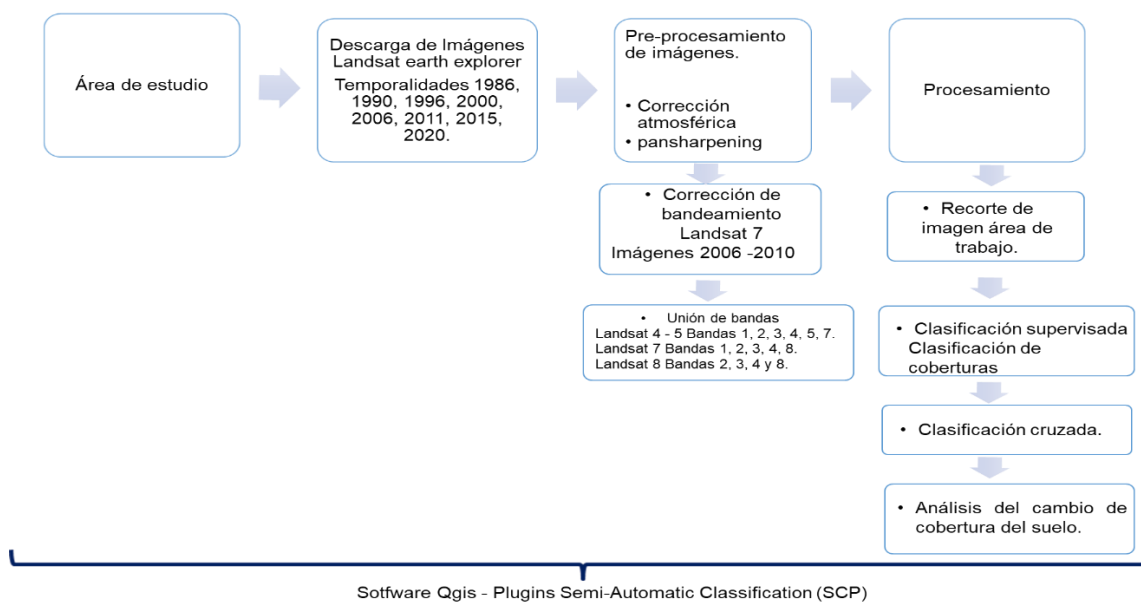
Analizar la dinámica de cambio de cobertura del suelo en áreas con Plantaciones forestales comerciales en el municipio de Herveo (Tolima), mediante imágenes de satélite de mediana resolución espacial durante el periodo 1986-2020.

4.2 Objetivos Específicos

1. Identificar las coberturas del suelo presentes en el área de estudio para el periodo 1986 – 2020, teniendo en cuenta la clasificación Corine Land Cover establecida para Colombia.
2. Reconocer los cambios de las coberturas del suelo en áreas destinadas al establecimiento de plantaciones forestales comerciales en el municipio de Herveo.

5. Metodología

A continuación, se muestra el resumen de la metodología utilizado en el desarrollo de este trabajo, seguido de la descripción de los procedimientos.

Figura 1*Resumen metodología*

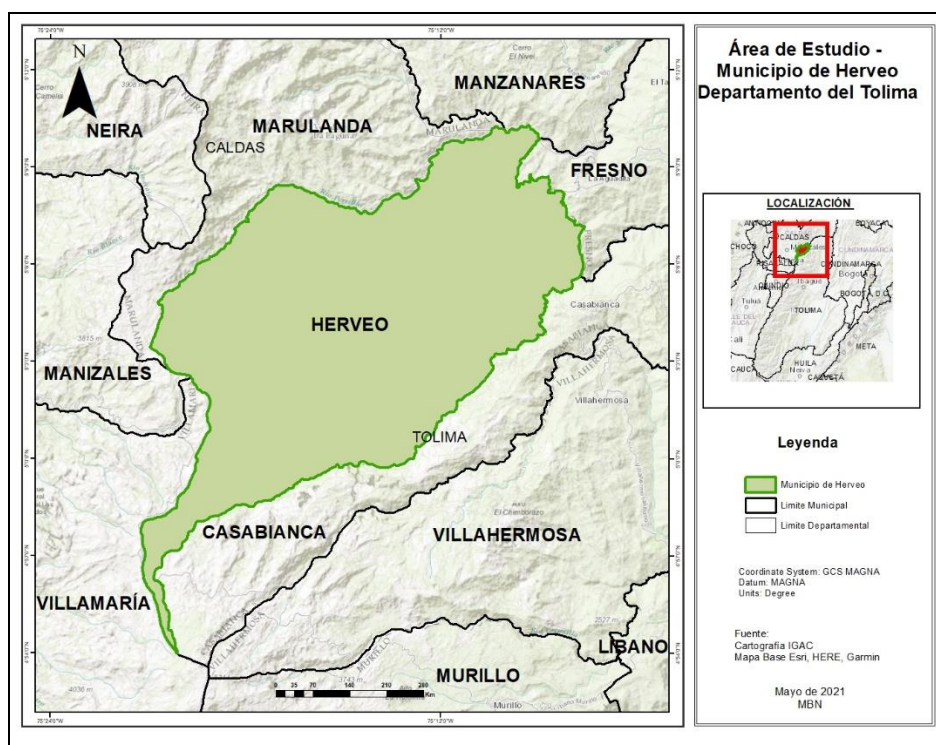
Fuente: Ajustado por el autor.

5.1 Área de estudio.

El área de estudio se ubica en el Municipio de Herveo - Departamento del Tolima (figura 2), limita al norte con los Municipios de Marulanda y Manzanares (Departamento de Caldas), al occidente con Villamaría y Manizales, oriente con el Municipio de Fresno – Tolima y al sur con el Casabianca municipio del Departamento del Tolima. La zona de estudio se encuentra localizada en mayor área en el Corregimiento San Antonio de Padua, el cual se ubica por la vía principal que conduce del Municipio de Fresno a la capital del departamento de Caldas. Presenta las siguientes características: Temperatura promedio de 16° C, Altitud de 2.250 m.s.n.m. (BINET, s. f.)

Figura 2

Municipio de Herveo - Área estudio



Fuente: Ajustado por el autor.

La economía en el Municipio de Herveo se distribuye en áreas destinadas para ganadería, cultivos de papa, frutales de clima frío y otras zonas cafeteras, presenta coberturas con cultivos permanentes como café tecnificado, caña, frutales y plátano, semestrales como maíz, papa, yuca, frijol, hortalizas, zonas forestales referentes a bosques naturales protectores, cercas vivas de especies como Eucaliptos, Alisos, Urapanes, alisos. Se presentan provincias climáticas, Páramo Alto Superhúmedo (PASH), páramo Bajo Superhúmedo (PBSh), páramo Bajo Húmedo (PBH), Frío Superhúmedo (FSH), Frío Húmedo (FH) y Templado Húmedo (TH). (Alcaldía Municipal de Herveo, 2020)

5.2 Fuentes de información

5.2.1 Registros de Plantaciones forestales

El presente trabajo se desarrolló a partir de análisis de tipo descriptivo de los registros de Plantaciones Forestales con fines comerciales, información tomada del Programa

Fitosanitario Forestal del Instituto Colombiano Agropecuario ICA entidad encargada de las funciones del registro de Plantaciones forestales y sistemas agroforestales con fines comerciales acorde con lo establecido en el Decreto 2398 de 2019 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, utilizando como categorías de análisis las capas de georreferenciación de las visitas de vigilancia fitosanitaria y áreas registradas desde el año 2010 de plantaciones establecidas desde el año 1990.

5.2.2 Imágenes satelitales

Para el estudio se realizó adquisición de imágenes de mediana resolución del satélite Landsat, sensores TM, ETM+ y OLI (Tabla 1), como principal insumo para la identificación y clasificación de la cobertura del suelo, que permitieron visualizar la diferencia multitemporal del área de estudio.

La tabla muestra las imágenes inicialmente descargadas con las bandas usadas en el estudio para el procesamiento, las cuales fueron seleccionadas con porcentaje bajo de nubosidad para ocho temporalidades, periodos comprendidos desde 1986 al 2020 que guardaron distancia temporal de cinco años aproximadamente de acuerdo a la calidad y visualización y las bandas utilizadas para cada imagen.

Tabla 1

Imágenes de Satélite de mediana resolución empleadas en el estudio

Satélite	Sensor	Bandas
Landsat 4	TM	B1: Azul, B2: Verde, B3: Rojo, B4: Infrarrojo cercano (NIR) B5: SWIR 1 B7: SWIR2

Landsat 5	TM	B1: Azul, B2: Verde, B3: Rojo, B4: Infrarrojo cercano (NIR) B5: SWIR 1 B7: SWIR2
Landsat 7	ETM	B1: Azul, B2: Verde, B3: Rojo, B4: Infrarrojo cercano (NIR) B8: Pancromática
Landsat 8	OLI_TIRS	B2: Azul B3: Verde B4: Rojo B5: Infrarrojo cercano (NIR) B6: SWIR 1 B7: SWIR 2 B8: Pancromática

Fuente: (*EarthExplorer*, 2021) Ajustado por el autor.

5.2.3 Coberturas

Se basó en el reconocimiento de coberturas relacionados en la metodología Corine Land Cover Colombia (CLC), según (IDEAM, 2010b) permiten realizar descripción, caracterización, clasificación y comparación de coberturas y ser interpretadas a partir del uso de imágenes de satélite de mediana resolución Landsat.

5.3 Identificación geográfica de las plantaciones forestales comerciales.

El Municipio de Herveo tiene 25 registros de plantaciones forestales con fines comerciales expedidos entre los años 2007 al 2019, representados en un área de 896,58 hectáreas, de las cuales 896,4 ha corresponden a Plantaciones forestales de las especies Pino (*Pinus patula*), Eucalipto (*Eucalyptus grandis*), Pino (*Pinus maximinoi*) el cual representa el 99,9 % del total registrado, el 0,02% restante corresponde a sistemas agroforestales de la

especie Nogal Cafetero (*Cordia alliodora*) para un área registrada de 0,18 Ha. (ICA-SPV-DTEVF-PFF, 2021)

Se realizó revisión y validación de 16 archivos de georreferenciación producto de la verificación en campo de vigilancia y registro, que corresponden a 918,96 hectáreas de Plantaciones forestales comerciales del género *Pinus spp.* en el Municipio de Herveo, áreas concentradas en el corregimiento de San Antonio de Padua, Veredas Mesones y Cruz Gorda.

Teniendo en cuenta que la metodología que se planteó fue en función de la información de vigilancia fitosanitaria y registro de plantaciones forestales con fines comerciales, con la anterior validación se permitió acotar a nivel de vereda el área de estudio, zonas en las cuales se analizará la dinámica del cambio de cobertura en las áreas de plantaciones forestales del Municipio.

Cabe aclarar que las áreas determinadas como plantaciones forestales se tiene certeza de su existencia por las visitas de verificación de vigilancia y registro, pero no son las únicas que hay en la zona.

Del producto de consolidación y validación de las georreferenciaciones en la zona de influencia se creó una sola capa, por lo tanto en virtud de esta información verificada en campo se realizará el recorte de la máscara, las cuales son en base al cruce de información de capas de vigilancia fitosanitaria y registros de plantaciones expedidos desde el año 2010 hasta el año 2019 con años de establecimiento entre 1990 y 2017, que sirven de marco de referencia para evaluar los cambios de coberturas en las áreas georreferenciadas de plantaciones forestales comerciales en la zona de estudio para los periodos analizados.

5.4 Identificación de coberturas del suelo presentes en el área de estudio.

5. 4.1 Obtención de imágenes

La descarga de las imágenes de satélite se desarrolló por la página de la USGS - United States Geological Survey (*EarthExplorer*, 2021), para Landsat collection 1 Level 1, Landsat 4-5, Landsat 7, Landsat 8.

En la búsqueda de información disponible de imágenes de Landsat para la zona de estudio, se escogieron con porcentajes bajo de nubosidad que facilitaran la visualización y análisis. Donde se obtuvo la siguiente descarga (Tabla 2)

Tabla 2

Características y vista previa de las imágenes Landsat

Fecha de adquisición	Imágenes de satélite	Identificador de producto Landsat	% de nubosidad
08/09/1986	Landsat 5	LT05_L1TP_009056_19860908_20170216_01_T1.tar	11%
23/06/1990	Landsat 4	LT04_L1TP_009056_19900623_20170130_01_T1.tar	67%
02/08/1996	Landsat 5	LT05_L1TP_009056_19960802_20170103_01_T1.tar	26%
21/08/2000	Landsat 7	LE07_L1TP_009056_20000821_20170210_01_T1.tar	23%
22/08/2006	Landsat 7	LE07_L1TP_009056_20060822_20170107_01_T1.tar	14%
21/01/2010	Landsat 7	LE07_L1TP_009056_20100121_20161216_01_T1.tar	18%
29/12/2015	Landsat 8	LC08_L1TP_009056_20151229_20170331_01_T1.tar	24,53%
04/08/2020	Landsat 8	LC08_L1TP_009056_20200804_20200821_01_T1.tar	38,30%

Fuente: (*EarthExplorer*, 2021) Ajustado por el autor.

Para el procesamiento de imágenes y la obtención de resultados requeridos en el desarrollo de este proyecto se empleó el sistema de Información Geográfica y código abierto QGIS. (*Proyecto QGIS!*, s. f.)

5.4.2 Pre-procesamiento de imágenes

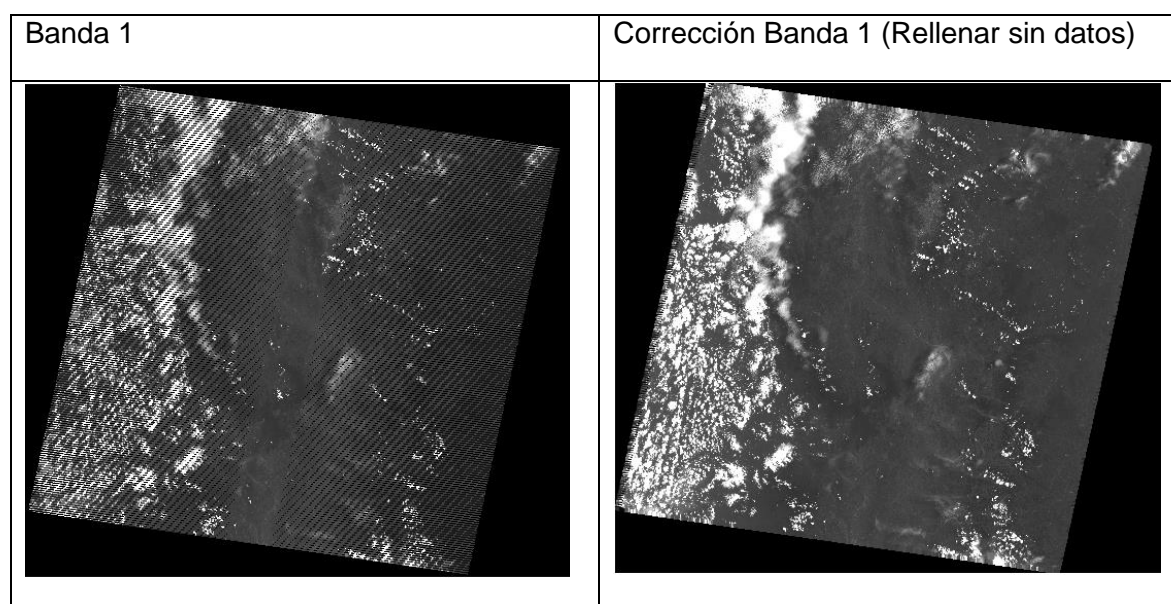
El preprocesamiento consistió inicialmente en la corrección atmosférica para cada una de las imágenes, dicho proceso mejora la calidad visual de las imágenes, así como logra eliminar los componentes de la atmósfera. (Aguilar Arias et al., 2015) procesos realizados a través del complemento *The Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)* (Congedo Luca, 2020).

Empleando la herramienta SCP se realizó la corrección atmosférica para eliminar píxeles oscuros por el método DOS1 -Dark Object Subtraction- o SPO -Método de Substracción de Píxeles oscuros (Martínez et al., 2019), posteriormente se aplicó la técnica de *pansharpening* consiste en combinar las bandas multiespectrales de resolución de 30 m, con la resolución pancromática (PAN) de resolución de 15 m, aplicada para las imágenes Landsat 7 y 8, cuyo resultado es mutliespectral de imagen con resolución espacial de 15 m. (Learngeom, s. f.)

Adicional a lo anterior, para el caso de las imágenes de fecha de adquisición 22/08/2006 y 21/01/2010 de Landsat 7, debido a una falla del sensor las imágenes presentan bandeamiento (figura 3), por lo cual se realizó la corrección mediante el proceso de gaps y se obtuvo el mejoramiento del aspecto visual de las imágenes en el procesamiento. (Velázquez, 2018)

Figura 3

Imágenes con corrección bandeamiento de acuerdo al proceso de mejoramiento realizado



Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Una vez corregidas tanto en términos atmosféricos como el de bandeamiento, se procedió hacer la unión de bandas:

Para el caso del sensor TM Landsat 4 y 5 se unieron las bandas B1: Azul, B2: Verde, B3: Rojo, B4: Infrarrojo cercano (NIR), B5: SWIR 1m, B7: SWIR2,

Sensor ETM de Landsat 7 B1: Azul, B2: Verde, B3: Rojo, B4: Infrarrojo cercano (NIR), B8: Pancromática

Sensor OLI de Landsat 8 se realizó la unión para la resolución a 15 metros para las bandas B2: Azul, B3: Verde, B4: Rojo, B8: Pancromática,

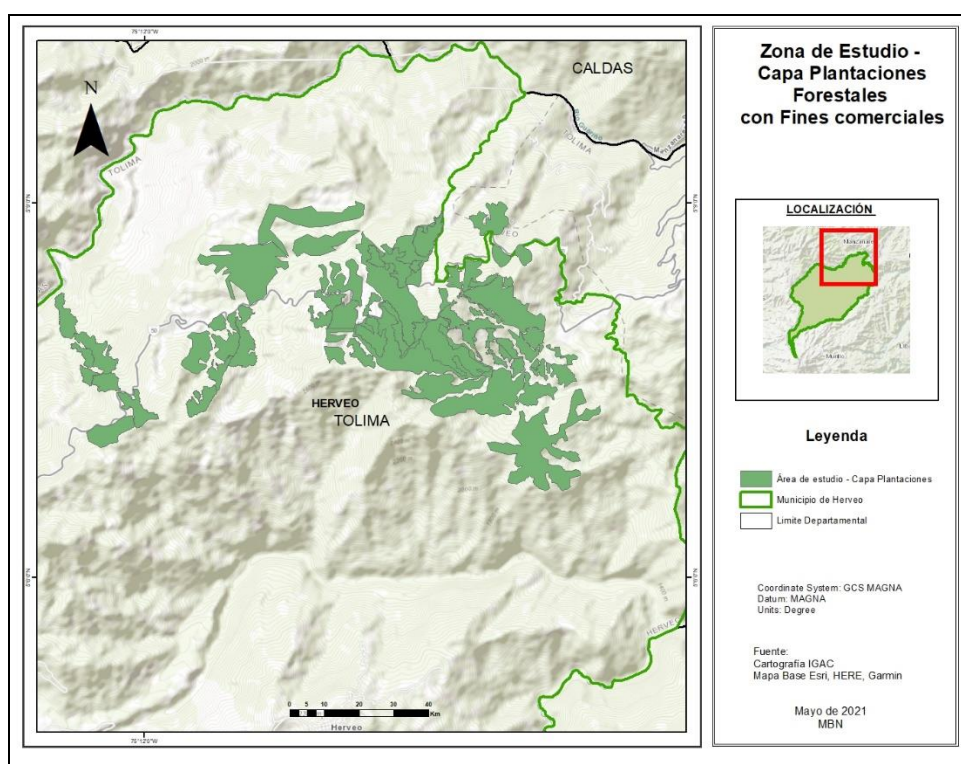
Las imágenes procesadas en el complemento *SCP* evidencia que no genera para la banda del infrarrojo cercano (NIR) el proceso de reducción de escala por medio del *pansharpenig* (Congedo Luca, 2017) por lo cual además se creó una imagen a 30 m para las bandas de la 2 a la 7 en la que se pudo incorporar la banda infrarroja, lo cual permitió generar una mejor clasificación.

5.4.3. Procesamiento

Una vez realizada las correcciones y la unión de bandas para cada una de las imágenes, se procedió a recortar la zona de influencia en base a la capa de georreferenciación de Plantaciones forestales con fines comerciales. (Figura 4)

Figura 4

Recorte delimitación zona de estudio.



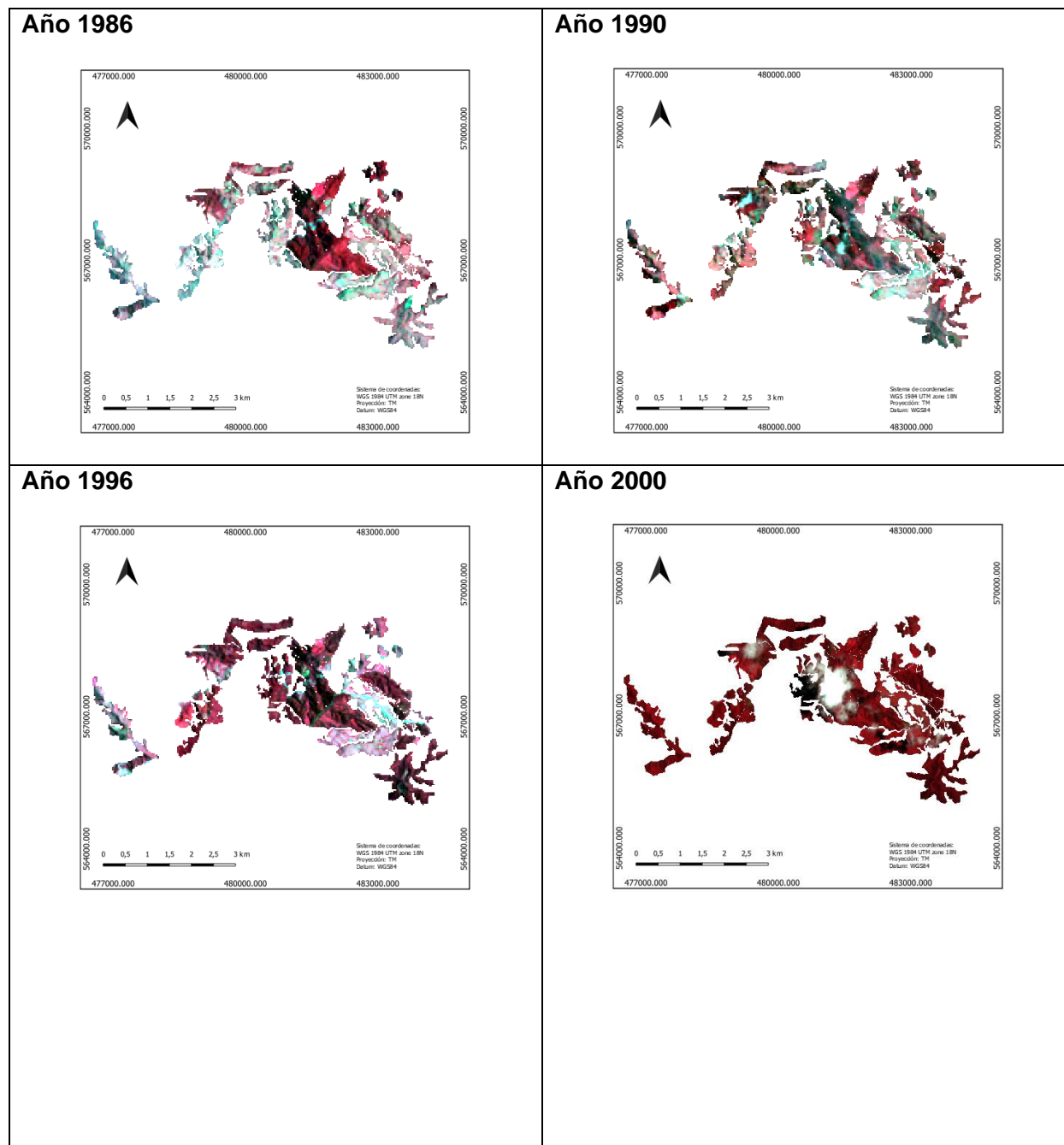
Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s.f.), zona de influencia – capa de georreferenciación de vigilancia y registros de plantaciones forestales (ICA-SPV-DTEVF-PFF, 2021) Ajustado por el autor.

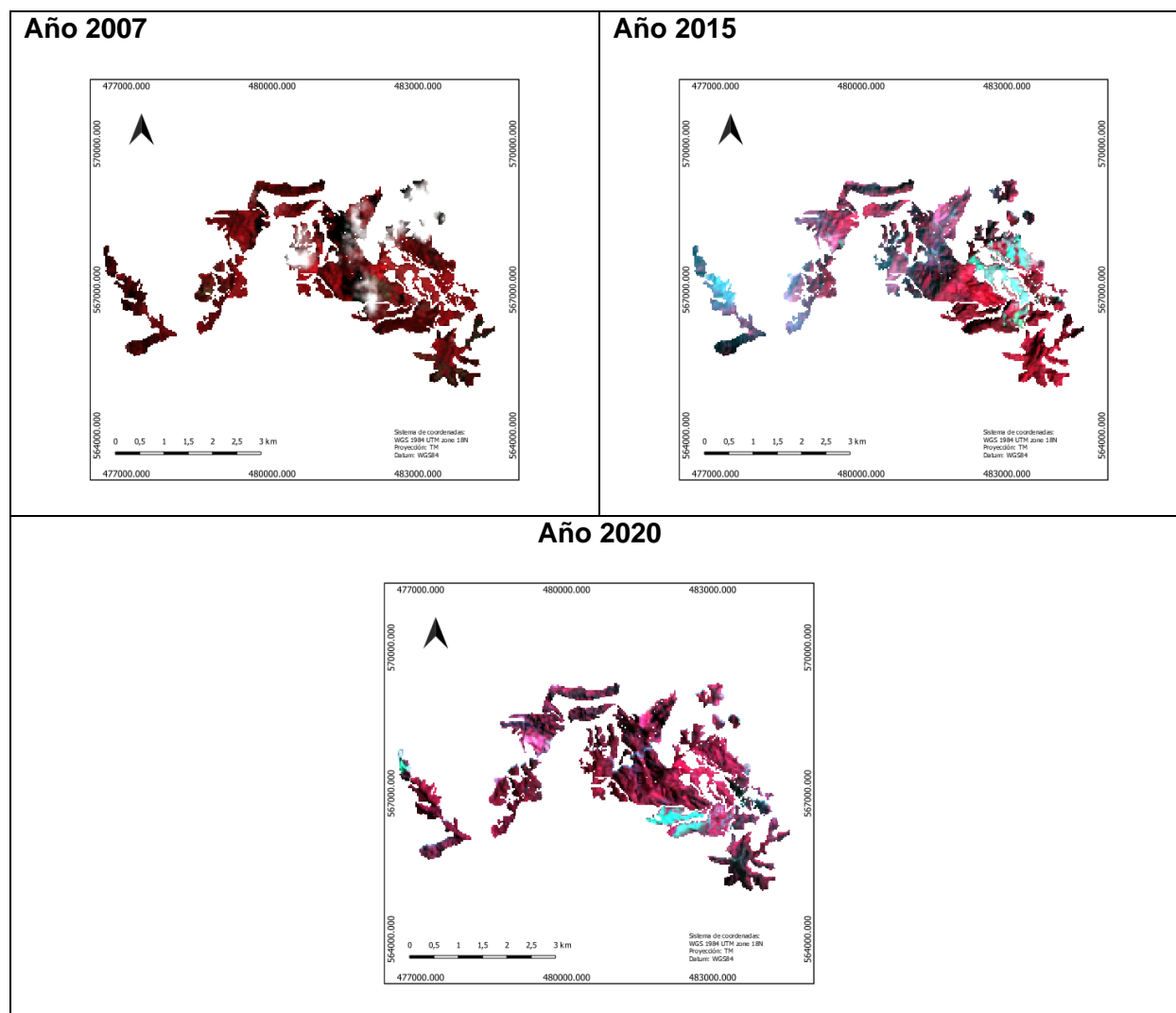
A continuación, se representa el aspecto visual de las temporalidades analizadas combinación de bandas RGB – 432 para imágenes TM - ETM y RGB 543 para el caso de las

imágenes OLI dando coloración que realza la vegetación, para la identificación de coberturas se realizaron varias combinaciones de bandas que permitieran definir las.

Figura 5

Temporalidades analizadas combinación de bandas RGB – 432 para imágenes TM - ETM y RGB 543 para OLI





Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) – Ajustado por el autor.

5.4.4 Clasificación supervisada

La clasificación supervisada está basada en el conocimiento de la zona, a partir del cual se seleccionan las muestras para las categorías a analizar, se debe contar con habilidades para interpretación de las clases que son creadas por los algoritmos del software. (Dollenz & Santana', 2000), se crea la entrada de entrenamiento en el SCP donde se relacionan los niveles de las coberturas los cuales se basaron en la clasificación de la metodología Corin Land Cover para Colombia, para el estudio se identificaron las siguientes coberturas de los niveles 1 y 2 que se analizaron, utilizando el algoritmo de mínima distancia .

Tabla 3*Coberturas analizadas*

Código		Código	
Nivel 1.	Cobertura	Nivel 2.	Cobertura
1.	Territorios Artificializados	1.	Territorios Artificializados
2.	Territorios Agrícolas	2.	Pastos
3.	Bosques y Áreas seminaturales	3.	Bosque Fragmentado
		4.	Plantación forestal
			Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
4.	Áreas Húmedas	5.	vegetación
5.	Nubes	6.	Áreas Húmedas
6.	Sombras	7.	Nubes
		8.	Sombras

Fuente: Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Colombia (IDEAM, 2010b)

Ajustado por el autor

Inicialmente se plantearon los niveles de coberturas relacionados en la tabla anterior, pero a lo largo del proceso de clasificación no se encontró ningún cuerpo de agua, por tanto esa categoría no se evaluó, esto puede inferir en que el área de estudio de plantaciones forestales comerciales por normatividad no permite el establecimiento en zonas de restricciones ambientales, las cuales incluyen zonas protectoras hídricas es posible concluir la ausencia de estas coberturas; además se incluyó en el análisis coberturas no definidas en la metodología Corine Land Cover como son nubes y sombras.

En el proceso de selección de muestras para las imágenes Landsat 7 que se les realizó corrección de bandeamiento, no fue posible la clasificación en razón al nivel de detalle las cuales presentaban ruido (Posada, 2012) , para suplir la temporalidad se realizó descarga de la imagen (*EarthExplorer*, 2021) 2007_LT05_L1TP_009056_20071004_20161112_01_T1 con fecha de adquisición del 04/10/2007 satélite Landsat 5.

5.4.5 Principales transformaciones asociadas a las coberturas del suelo.

Una vez se realiza el proceso de clasificación de cada una de las imágenes se procede a realizar una clasificación cruzada, la cual tiene como propósito identificar entre cada uno de los periodos evaluados cuales fueron las coberturas que se mantienen y las transformadas.

Finalmente se hace un análisis del cambio de cobertura del suelo en base al último periodo el cual corresponde al 2020, se presenta la interpretación de las tablas de cambio de cobertura del suelo, la cual se hicieron en función de una sola imagen, para el análisis se tomó la 2020 que correspondía al último periodo de vigencia, con el propósito de identificar esa transformación de manera directa, es decir cuáles eran las coberturas presentes en los periodos 1986, 1990, 1996, 2000, 2007, 2015 que al momento del estudio estaban dadas bajo la categoría de plantación forestal con fines comerciales teniendo en cuenta los registros ICA.

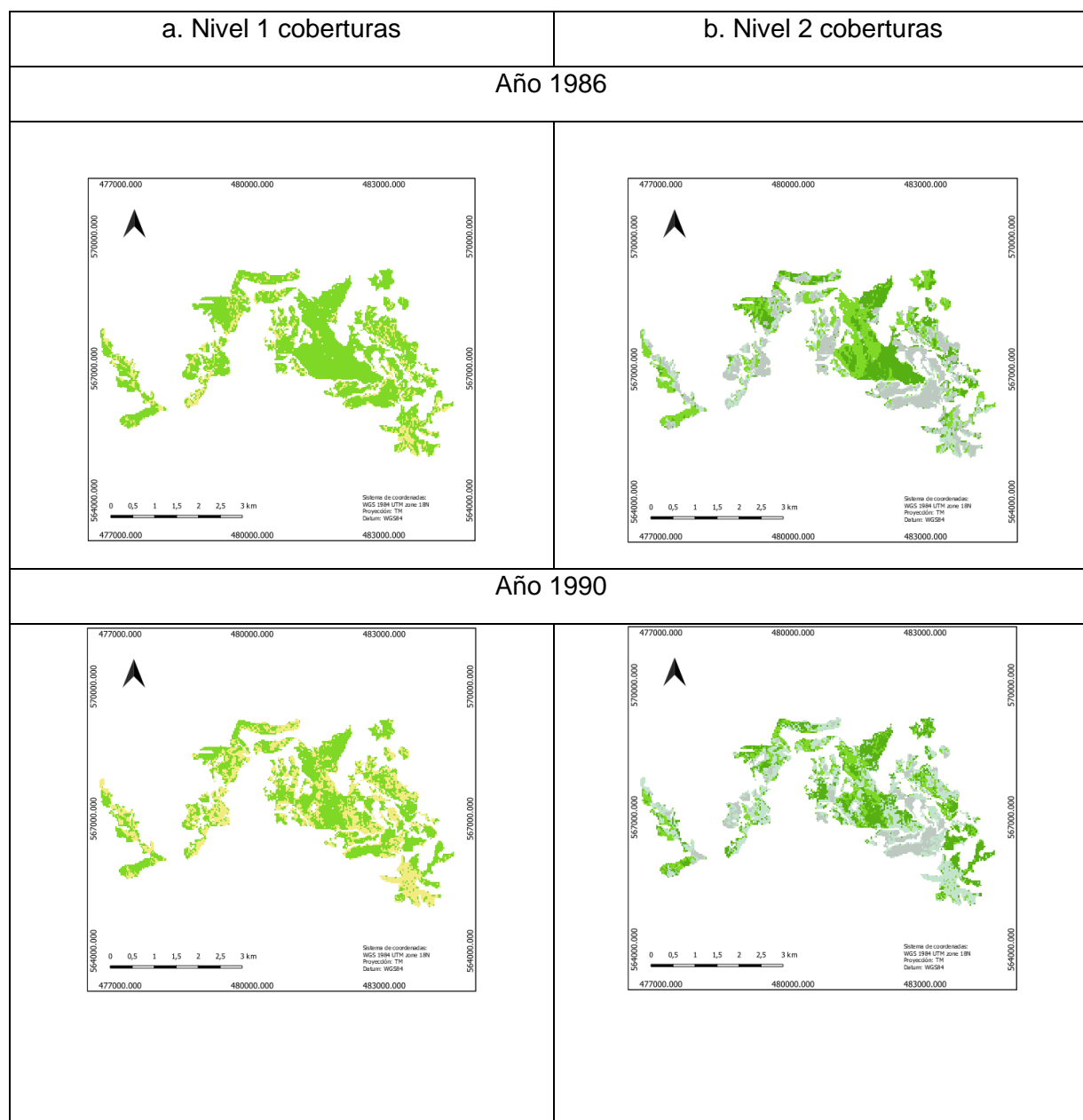
6. Resultados y Discusión

Se presenta los cambios, transformaciones y comparaciones de coberturas para los años 1986, 1990, 1996, 2000, 2007, 2015 y 2020 identificadas en el corregimiento de Padua y veredas lindantes correspondientes al área de estudio, seleccionadas acorde a la metodología de Corine Land Cover para los niveles 1 y 2, reconociendo coberturas macro como son territorios artificializados, territorios agrícolas, Bosques y áreas naturales seminaturales. (Figura 6 a.)

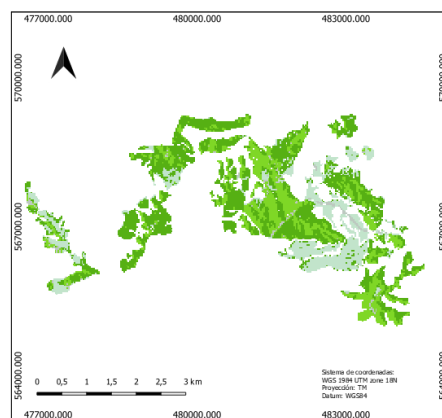
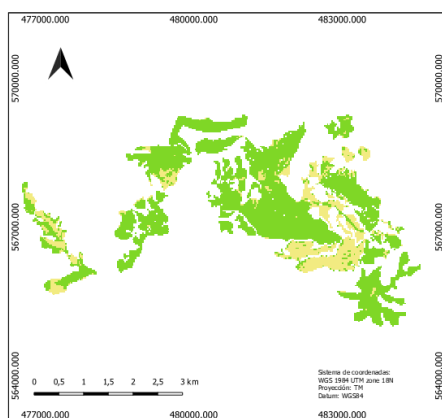
Las coberturas representativas en cada una de las imágenes corresponden para el nivel dos a: territorios artificializados, pastos, bosques fragmentados, plantaciones forestales, áreas abiertas sin o con poca vegetación, además por su naturaleza temporal y diferenciables se seleccionaron para los años 1990, 2000 y 2007 las coberturas de nubes y sombras. (Figura 6)

Figura 6

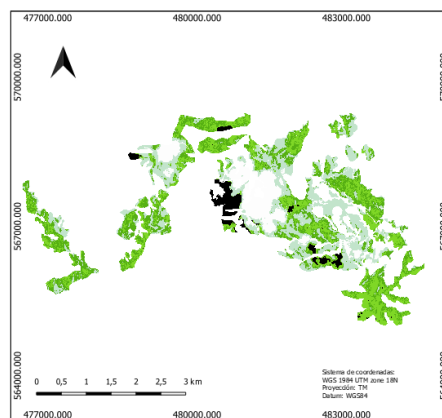
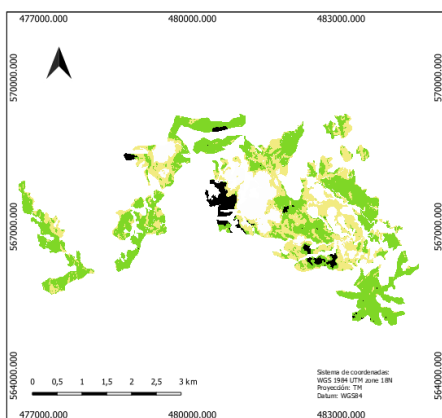
Coberturas identificadas nivel 1 y 2 Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra - Colombia



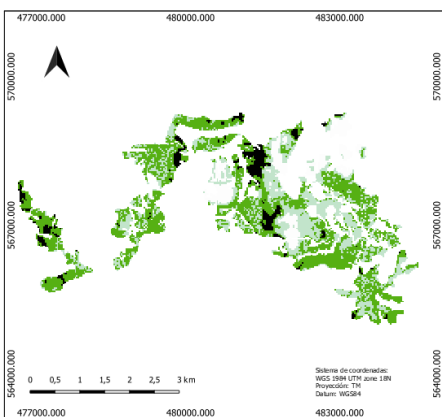
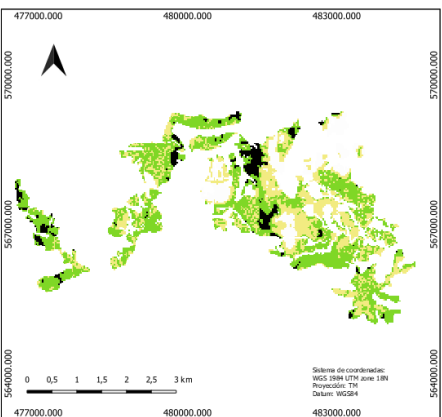
Año 1996

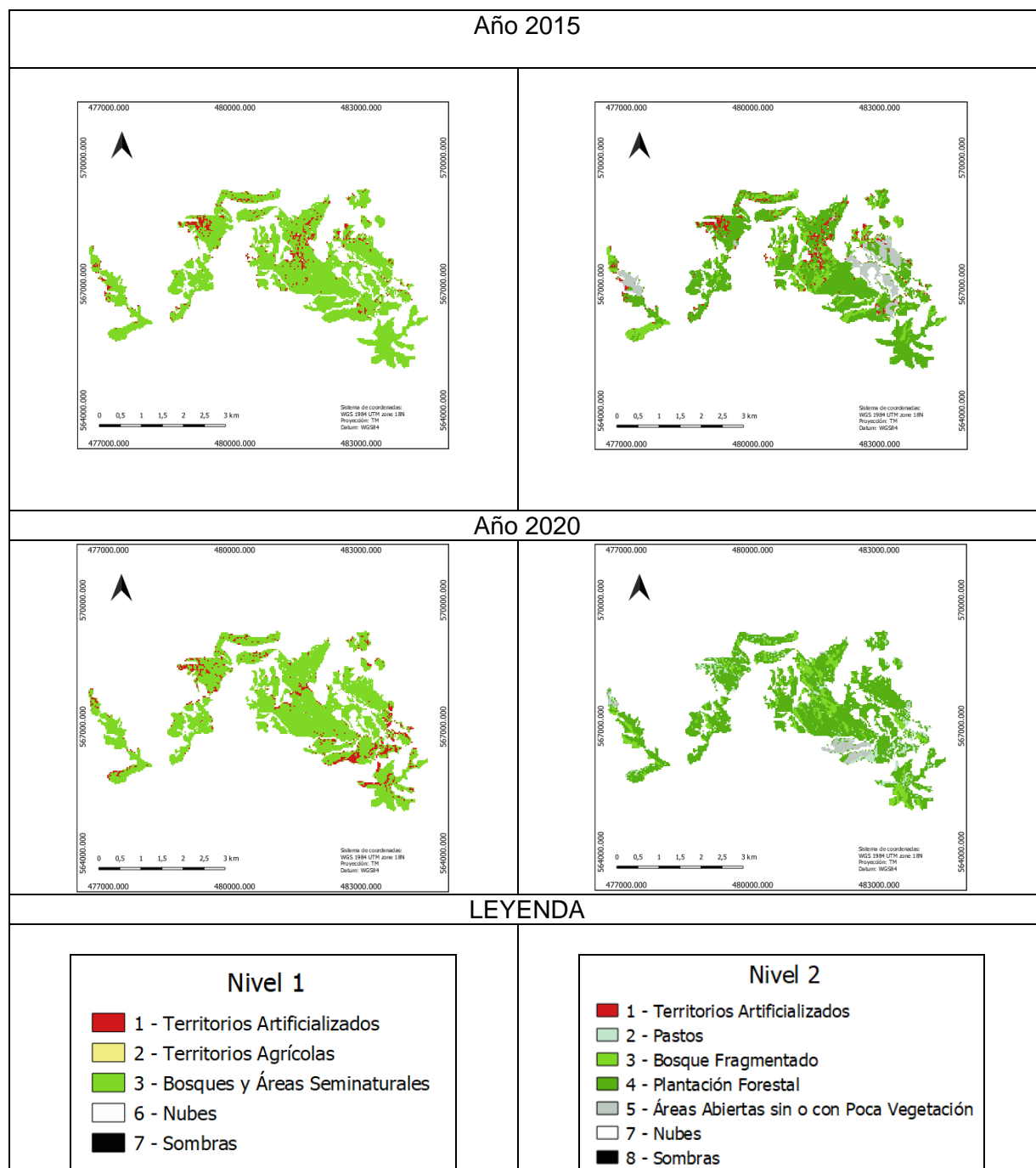


Año 2000



Año 2007





Fuente: *Software Qgis (Proyecto QGIS!, s. f.) Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Colombia (IDEAM, 2010b), Ajustado por el autor.*

Se aprecia las hectáreas y porcentajes de coberturas identificadas en el área de estudio para los periodos analizados, la cual permite identificar que para el año 1986 la mayor área de coberturas son las áreas abiertas sin o con poca vegetación con 259,1 ha equivalentes al 29,51% del total analizado, seguido por bosque fragmentado con 257,9 ha correspondiente al 29,37% y plantaciones forestales con 207,3 hectáreas con 23,61 %. (Tabla 4)

Tabla 4

Área y porcentaje de coberturas del área de estudio de acuerdo a Metodología Corine Land Cover

Clase 2 Coberturas	1986		1990		1996		2000		2007		2015		2020	
	Área ha	Porcen taje %	Área ha	Porce ntaje %	Área Ha	Porcen taje %	Área Ha	Porcen taje %	Área Ha	Porcen taje %	Área Ha	Porce n taje %	Área Ha	Porce ntaje %
Territorios Artificializado s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54,6	6,22%	0	0
Pastos	153,7	17,51%	354, 6	40,38 %	179,9	20,49%	273,2	31%	289,9	33,02%	0	0	76,7	8,74%
Bosque fragmentado	257,9	29,37%	170, 8	19,45 %	246,3	28,05%	221,5	25%	0	0	150, 1	17,10 %	129,3	14,73 %
Plantaciones forestales	207,3	23,61%	232, 7	26,50 %	430,2	48,99%	240,8 4	27%	442,9	50,45%	584, 6	66,58 %	637,4	72,59 %
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	<u>259,1</u>	<u>29,51%</u>	111, 3	12,68 %	21,6	2,47%	0	0	0	0	88,7	10,11 %	<u>34,5</u>	<u>3,94%</u>
Nubes	0	0%	8,6	0,98%	0	0%	99,7	11%	81,09	9,23%	0	0	0	0
Sombras	0	0	0	0	0	0	41,9	5%	64,08	7,30%	0	0	0	0

Fuente: Software Qgis (Proyecto QGIS!, s. f.) Ajustado por el autor.

Las transformaciones de la coberturas naturales en los diversos niveles analizados desde el año 1986 al 2020, permiten visualizar que la intervención del ser humano en actividades económicas, generaron un cambio en el uso del suelo que impactó la cobertura, las cuales están ligadas directamente con la ampliación de la frontera agrícola para producción de cultivos transitorios, monocultivos, pastos y ganadería extensiva (Contreras et al., 2004).

De igual manera, se evidenció un aumento gradual del área de plantaciones forestales, el cual comienza en el año 1986 con 207,3 ha equivalente a un 23,61% del área total, en el año 1990 con 232,7 ha correspondiente al 26,5% y al año 2020 presenta 637,4 ha para un 72,59% de las zonas destinadas a la producción, mientras que se presenta una disminución en las áreas abiertas sin o con poca vegetación, resaltando con esto una recuperación de áreas degradadas y masa vegetal, que si bien no es igual a la inicial, representa una mejora en los suelos y de las áreas de la zona (Soledispa, 2015).

Teniendo en cuenta el proceso del cultivo es posible encontrar zonas de pastos o áreas abiertas sin o con poca vegetación, dada la cosecha de plantaciones esa dinámica se ve reflejada en la zona de estudio.

Clasificación cruzada coberturas

En este apartado se tiene el interés de resaltar el análisis de los cambios de coberturas naturales (Áreas abiertas sin o con poca vegetación, pastos y bosque fragmentado) en el periodo comprendido entre 1986 y 2020, y cómo ha sido su transformación en las zonas que actualmente son destinadas a las plantaciones forestales con fines comerciales, por lo cual el análisis tendrá esta orientación.

Vale la pena resaltar que posiblemente por temas de reflectancia para algunas coberturas presentaron traslape en la identificación, teniendo en cuenta la baja resolución espectral de las imágenes, además de la similitud de estructuras, alturas y/o características

propias de la vegetación, lo cual no permitieron su discriminación con total exactitud, sin embargo, se interpretan los resultados de la clasificación.

En congruencia con lo anterior se encuentran estudios como el desarrollado por (Otavo & Echeverría, 2017) en el cual tuvo como resultado en la clasificación de imágenes, que la clase analizada de plantaciones exóticas fue la menos precisa en el periodo analizado correspondiente a 1986, confundiéndola con coberturas de bosques nativos.

Periodo 1986 – 1990

En la tabla 5 para este período de tiempo, se observa que la cobertura de pastos presenta coincidencia de 88,11 ha para los años analizados, igualmente para bosque fragmentado se mantiene un área de 115,56 ha, para plantaciones forestales 99,72 ha y finalmente, 82,44 ha de áreas abiertas sin o con poca vegetación.

Para el año 1986 lo que había en área de bosque fragmentado, tuvo una transformación en pastos correspondiente a 74,7 (ha) para el año 1990 y para plantaciones forestales 58,95 ha; para áreas abiertas sin o con poca vegetación se presentó un cambio de 124,29 ha de pastos y 44,37 ha para plantaciones forestales, siendo así, las áreas abiertas sin o con poca vegetación y bosque fragmentado son las dos principales coberturas afectadas para estos periodos.

Tabla 5

Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 1986 – 1990

1990 1986	Pastos	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Total
Pastos	88,11	<u>74,70</u>	67,50	<u>124,29</u>	354,60
Bosque fragmentado	18,81	115,56	31,77	4,68	170,82
Plantación forestal	29,70	<u>58,95</u>	99,72	<u>44,37</u>	232,74

Áreas abiertas sin o con poca vegetación	16,65	6,93	5,31	82,44	111,33
Nubes	0,45	1,80	3,06	3,33	8,64
Total	153,72	257,94	207,36	259,11	878,13

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Periodo 1990 – 1996

El área de plantaciones forestales en 1990 presentó una transformación para el año 1996 en mayor proporción para bosques fragmentados con 58,14 ha, seguido de pastos con 19,53 ha y 2,97 ha en áreas abiertas sin o con poca vegetación y mantuvo su cobertura para los dos periodos en 152,10 ha.

Tabla 6

Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 1990 – 1996

1996 \ 1990	Pastos	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Nubes	Total
Pastos	81,09	6,03	19,53	69,57	3,69	179,91
Bosque fragmentado	80,82	104,94	58,14	1,53	0,90	246,33
Plantación forestal	185,76	51,30	152,10	36,99	4,05	430,20
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	6,93	8,55	2,97	3,24	0	21,69
Total	354,60	170,82	232,74	111,33	8,64	878,13

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Período 1996 - 2000

Las coberturas que permanecieron para los periodos analizados son bosques fragmentados, pastos y plantaciones forestales con 114,23 ha, 128,02 ha y 150,52 ha respectivamente, siendo las áreas de plantaciones forestales las que más persistieron.

Tabla 7

Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 1996 – 2000

2000 \ 1996	Pastos	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Total
Pastos	128,02	36,45	117,78	10,35	292,61
Bosque fragmentado	13,07	114,23	76,54	5,71	209,56
Plantación forestal	30,69	42,68	150,52	4,05	227,94
Nubes	14,64	39,33	39,19	3,46	96,63
Sombras	8,64	8,59	22,05	0	39,28
Total	195,07	241,29	406,10	23,58	866,04

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Período 2000 – 2007

De las 215,03 ha de cobertura de bosque fragmentado que se identificaron para el año 2000, 124,24 ha se transformaron en plantaciones forestales en 2007, además para estos periodos se presentaron coberturas de nubes y sombras, lo cual no permitió visualizar las coberturas presentes en estos años.

Tabla 8

Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 2000 - 2007

2007 \ 2000	Pastos	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Nubes	Sombras	Total
Pastos	113,35	63,72	72,58	32,91	10,28	292,86
Plantación forestal	104,51	<u>124,24</u>	128,74	51,43	17,93	426,87
Nubes	39,91	6,90	16,24	2,61	10,75	76,43
Sombras	13,86	20,16	17,68	9,67	0,31	61,69
Total	271,64	215,03	235,26	96,63	39,28	857,85

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Período 2007 – 2015

Para este periodo en el área de estudio, se constató que la cobertura que se mantuvo fue plantaciones forestales con un área de 291,69 ha; se evidencia que pastos tuvo transformaciones de 14,94 ha para coberturas de territorios artificializados, bosques fragmentados de 31,05 ha, 206,1 ha de plantaciones forestales y para áreas abiertas sin o con poca vegetación 37,89 ha.

Tabla 9

Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 2007 – 2015

2015 \ 2007	Pastos	Plantación forestal	Nubes	Sombras	Total
Territorios Artificializados	14,94	29,34	7,11	3,24	54,63
Bosque fragmentado	31,05	77,94	17,55	23,58	150,12
Plantación forestal	206,10	291,69	53,82	33,03	584,64
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	37,89	44,01	2,61	4,23	88,74
Total	289,98	442,98	81,09	64,08 a	878,13

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Según (Muñoz & De la Cruz, 2016) el cambio en la cobertura de bosque entre los periodos 2003 – 2016, esta relacionado con actividades asociadas a la reforestación, procesos de recuperación natural y sucesión vegetal; para las Plantaciones forestales se presentó una reducción, la cual fue consecuencia de las actividades de aprovechamiento forestal realizado en esos periodos. Sin embargo, comparando los resultados obtenidos para este estudio se puede concluir que el comportamiento del área difiere debido a que posiblemente estas áreas tenían un uso y categoría diferente al tipo de plantaciones establecidos en las zonas del presente estudio, las cuales son destinadas a la producción.

Período 2015 – 2020

Finamente para los periodos 2015 y 2020 se mantienen 427,5 ha de plantaciones forestales como la mayor área, seguida de bosque fragmentado con 35,19 ha y 0,63 ha de áreas abiertas sin o con poca vegetación, la mayor transformación de 2015 a 2020 fue de 94,86 ha bosque fragmentado a plantaciones forestales.

En el estudio de expansión de áreas con plantaciones forestales en Puerto López Meta, muestra como resultado buena dinámica de crecimiento de cultivos forestales comerciales, con aumento de área para todas las especies para los periodos analizados correspondiente de 2016 a 2020. (Amézquita, 2020), acorde con el anterior estudio, se puede inferir que el comportamiento de las plantaciones forestales en las dos zonas presenta un aumento similar en el área de éstas coberturas, debido a la alta demanda de productos maderables en el país y las especies establecidas para estos fines.

Tabla 10

Resultado en hectáreas para las coberturas analizadas periodo 2015 – 2020

2020 \ 2015	Territorios Artificializados	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Total
Pastos	10,35	12,24	50,49	3,69	76,77
Bosque fragmentado	8,46	35,19	81,18	4,50	129,33
Plantación forestal	35,19	94,86	427,50	79,92	637,47
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,63	7,83	25,47	0,63	34,56
Total	54,63	150,12	584,64	88,74	878,13

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Cambio de cobertura del suelo

Colombia presenta condiciones que permiten la adaptabilidad de plantaciones forestales en zonas degradadas, donde aspectos como la altitud, clima, suelo, entre otros, hacen que estas zonas sean óptimas para establecer plantaciones con fines productivos.

En todos los periodos asociados en función de 2020, fue posible identificar las coberturas analizadas del nivel dos, este análisis fue posible debido a que las imágenes fueron tomadas en periodos de sequía, las cuales permitieron reconocer los procesos concernientes al establecimiento de plantaciones y labores asociadas a la preparación del suelo (Programa Socioambiental y de Desarrollo Forestal, 2005).

Según (CONIF, 1998) el departamento del Tolima presenta zonas aptas para el establecimiento de proyectos de reforestación comercial con especies de alta demanda, las cuales presentan condiciones de variabilidad ecosistémica que permiten el adecuado desarrollo de individuos arbóreos, mejoramiento de las condiciones físicas del suelo y además genera ganancias económicas que mejoran la calidad de vida de los habitantes de la zona. Determinando con este estudio que las áreas de influencia, permitieron que las plantaciones forestales, hayan aumentado y mantenido su cobertura a través de los periodos analizados. La transformación de la cobertura se debe al cambio de actividades económicas, los incentivos para el desarrollo de labores relacionadas con las plantaciones, la vocación forestal de la zona y las especies establecidas en este tipo de cobertura (manejo y silvicultura).

Para el cambio de cobertura de los periodos comparados en los cuadros sombreados se resaltan los cambios más importantes, los cuales muestran aquellas coberturas que presentaron mayor transformación, igualmente en las diagonales se presentan las áreas que para ambos periodos se mantienen fijas, permitiendo notar una conquista amplia de esos cultivos en la zona.

Cambio cobertura periodo 2020 – 1986

Siendo el primer año de análisis de cambio de cobertura en función de la imagen 2020, se evidencia que la actividad forestal comercial está establecida desde la década de los noventa y quizá mucho antes en la zona de estudio, siendo tradicional la inclusión en esas áreas. De acuerdo al (DNP, 1989), se observó que las áreas de plantaciones forestales presentaron un auge, que estaba ligado con estrategias y políticas de fomento forestal impulsadas a través de los planes de gobierno, para llevar acabo esto formularon el plan de acción forestal para Colombia, con directrices orientadas a las actividades forestales en los siguientes años, igualmente mediante *la Ley 139 de 1994* se creó el Certificado de Incentivo Forestal – CIF como un reconocimiento económico para el establecimiento de nuevas plantaciones forestales, que establece lineamientos que van encaminados al desarrollo forestal en el país.

Para los periodos analizados se presentaron 173,52 ha de plantaciones forestales que desde 1986 son de este tipo de cobertura y que se mantienen al 2020; desde 1986 del total de la información de la imagen el 5,06 %, se viene destinando a las plantaciones forestales comerciales.

Tabla 11

Cobertura periodo 2020 – 1986

2020 \ 1986	Pasto	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Total
Pasto	14,58	20,34	14,13	27,72	76,77
Bosque fragmentado	23,67	83,79	18,27	3,60	129,33
Plantación forestal	109,80	151,83	173,52	202,32	637,47
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	5,67	1,98	1,44	25,47	34,56

Total	153,72	257,94	207,36	259,11	3425,04
-------	--------	--------	--------	--------	---------

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Se evidencia como hubo una transformación importante para áreas abiertas sin o con poca vegetación, lo que en el año 1986 era esa cobertura al año 2020 son plantaciones forestales, así mismo ocurrió para bosques fragmentados que al periodo 2020 son cultivos forestales.

La dinámica que presentan las plantaciones forestales con fines comerciales, entorno a los procesos de manejo, silvicultura y aprovechamiento, están enmarcados al turno de cosecha, que en promedio es de doce años de acuerdo a la especie establecida (PROFOR, 2017). Así mismo, se podría inferir que el cambio en las imágenes y los patrones de éstas, se encuentran asociados al crecimiento, desarrollo, calidad de sitio y/o factores adversos.

Período 2020 – 1990

La cobertura de menor área para el 2020 corresponde a 32,76 ha de pastos, se mantiene la cobertura de plantaciones forestales con la mayor área de 190,8 ha destinadas a zonas de producción comercial, se incluye en el análisis coberturas de nubes sin presencia para el periodo 2020.

Tabla 12

Cobertura periodo 2020 – 1990

2020 \ 1990	Pasto	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Nubes	Total
Pasto	32,76	11,25	19,98	11,79	0,99	76,77
Bosque fragmentado	36,72	70,29	20,34	1,62	0,36	129,33
Plantación forestal	276,48	88,47	190,80	78,21	3,51	637,47

Áreas abiertas sin o con poca vegetación	8,64	0,81	1,62	19,71	3,78	34,56
Total	354,60	170,82	232,74	111,33	8,64	3425,04

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Período 2020 – 1996

Para los periodos analizados se identifica la persistencia de las siguientes coberturas: plantaciones forestales con 371,88 ha, bosque fragmentado con 105,75 ha, pastos con 22,95 ha y 0,27 ha de áreas abiertas sin o con poca vegetación.

Tabla 13

Cobertura periodo 2020 – 1996

2020 \ 1996	Pasto	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Total
Pasto	22,95	10,80	41,67	1,35	76,77
Bosque fragmentado	2,79	105,75	13,05	7,74	129,33
Plantación forestal	123,84	129,42	371,88	12,33	637,47
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	30,33	0,36	3,60	0,27	34,56
Total	179,91	246,33	430,20	21,69	3425,04

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Período 2020 – 2000

En este análisis se presenta que los pastos, bosque fragmentado y plantaciones forestales son las coberturas que permanecen, siendo esta última la de mayor área representativa. Además, se puede observar que las nubes y sombras del periodo 2000, no se mantienen para el 2020. Los de mayor transformación fueron Pastos con 205, 69 Ha, seguido de bosque fragmentado con 125,95 ha.

Tabla 14*Cobertura periodo 2020 – 2000*

							Total
		Pasto	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Nubes	Sombras	
2020	2000						
Pasto	19,89	15,86	21,51	7,67	4,79	76,77	
Bosque fragmentado	17,48	62,64	23,80	18,83	5,15	129,33	
Plantación forestal	205,69	125,95	175,97	69,57	24,72	637,29	
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	15,95	5,10	6,66	0,56	4,61	34,56	
Total	273,15	221,49	240,57	99,72	41,94	3418,65	

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.**Período 2020 – 2007**

Se mantienen las áreas de plantaciones forestales y pastos como las coberturas que más han permanecido respecto a los demás periodos, además nubes y sombras no se presentan para el periodo 2020.

Tabla 15*Cobertura periodo 2020 – 2007*

						Total
		Pasto	Plantación forestal	Nubes	Sombras	
2020	2007					
Pasto	23,31	45,81	4,50	3,15	76,77	
Bosque fragmentado	36,81	63,00	7,56	21,96	129,33	
Plantación forestal	221,22	313,47	66,33	36,45	637,47	
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	8,64	20,70	2,70	2,52	34,56	
Total	289,98	442,98	81,09	64,08	3425,04	

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

Período 2020 – 2015

De las 3425,04 hectáreas analizadas, 427,5 ha están destinadas a áreas de plantaciones forestales comerciales, 35,19 ha para bosque fragmentado y 0,63 ha áreas abiertas sin o con poca vegetación.

Tabla 16

Cobertura periodo 2020 – 2015

2020 \ 2015	Territorios Artificializados	Bosque fragmentado	Plantación forestal	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Total
Pasto	10,35	12,24	50,49	3,69 a	76,77
Bosque fragmentado	8,46	35,19	81,18	4,50	129,33
Plantación forestal	35,19	94,86	427,50	79,92	637,47
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,63	7,83	25,47	0,63	34,56
Total	54,63	150,12	584,64	88,74	3425,04

Fuente: Software Qgis (*Proyecto QGIS!*, s. f.) Ajustado por el autor.

7. Conclusiones

En la clasificación supervisada para la zona de estudio se evidencia como las coberturas para las temporalidades analizadas van generando cambios de áreas con poca vegetación o pastos a plantaciones forestales, con lo cual se demuestra que desde la década de los noventa hubo un cambio gradual de las coberturas de las zonas que actualmente son netamente destinadas con plantaciones forestales con fines comerciales.

En las zonas que actualmente están destinadas a plantaciones forestales no hubo un proceso intermedio de transformación entre cobertura natural y cobertura forestal, es decir, no

se encontraron otros cultivos u otro tipo de uso agropecuario en la zona del área de estudio distinto al forestal, pasó de pastos y/o áreas abiertas sin o con poca vegetación a plantaciones forestales comerciales.

En el análisis de cambio de coberturas es posible inferir que las áreas de polígonos, que se tomó de base para la zona de estudio suministradas por el ICA, evidencian diferentes coberturas que van muy conectadas con el proceso de los cultivos forestales con fines comerciales de acuerdo a la dinámica que presentan las plantaciones comerciales.

De acuerdo a la identificación de coberturas presentes en los años de 1986 al 2020, se observó que en promedio prevalece las plantaciones forestales como cultivos predominantes con un área de 396,56 ha en la zona de estudio con respecto a los 34 años de los datos analizados.

Otras coberturas de relevancia identificadas para los mismos periodos y sus promedios para bosques fragmentados con 167,98 ha y áreas abiertas sin o con poca vegetación con 59,31 ha.

El incremento más evidente se presentó en el año 2007 para las plantaciones forestales, lo que puede inferir que esto ocurrió por el incremento de incentivos para el establecimiento y su auge de la producción de pulpa para papel.

En las comparaciones se evidencia presencia de coberturas de plantaciones forestales desde el periodo 1986 para 176,52 ha con un aumento progresivo hasta el 2020 para un área de 427,5 ha, la cobertura que mayor transformación tuvo fue áreas abiertas sin o con poca vegetación para 0,63 hectáreas para el periodo de 2020.

Para los periodos 2007, 2015 y 2020 las plantaciones forestales dieron su mayor porcentaje en el área de estudio, siendo el 2020 la más representativa con 637,4 ha. Para

bosques fragmentados en el año 2007 perdió relevancia frente a los otros periodos con área nula, para el año 1990 la cobertura de pastos tuvo su mayor área con 354,6 ha; de igual manera, para las dos últimas coberturas mencionadas se observa que su comportamiento a través del tiempo presenta fluctuaciones con respecto a las plantaciones forestales, las nubes y sombras han afectado en gran medida la evaluación de las diferentes coberturas principalmente para los periodos 2000 y 2007 que abarcan 141,6 ha y 145 ,17 ha respectivamente.

8. Recomendaciones

Es importante que las entidades oficiales, reforestadores cuenten con información georreferenciada de alto detalle de las áreas de plantaciones forestales comerciales, de tal forma que se pueda reducir el porcentaje de error que puede generar entre coberturas similares, como es el caso de los bosques con las plantaciones forestales comerciales, para una adecuada estimación de las áreas y análisis de las transformaciones de coberturas de suelo.

El disponer de información del levantamiento geográfico detallado de las áreas plantadas por especies con fines comerciales, permite ampliar este tipo de estudios, escalarlos a nivel nacional y poder hacer una diferenciación más exacta en esas transformaciones de coberturas en zonas del país que están destinadas actualmente a la producción de especies forestales comerciales.

Estos estudios permiten analizar las transformaciones que se tienen en zonas específicas, como inciden las áreas aledañas, factores climáticos en determinadas franjas, la metodología descrita puede ser interpretada en métodos generales que sirven de guía para

áreas de estudio de zonas forestales, además de otras coberturas que conlleven a resolver inquietudes y ampliar el panorama respecto al cambio de cobertura de suelos.

El empleo de imágenes Landsat facilita la interpretación en un primer momento de las coberturas analizadas, además su acceso libre permite llevar estas investigaciones a cabo.

En aras de realizar una interpretación más exacta de las coberturas donde no se cuente con conocimiento de la zona, se deberá emplear para estos estudios de análisis multitemporal con imágenes de mejor resolución espacial y espectral.

Para una mejor precisión de los resultados es fundamental realizar un reconocimiento del área de estudio, mediante visitas de campo con el fin de evidenciar y evaluar las coberturas allí establecidas, los patrones de economía local, los cultivos y el desarrollo que tienen en la zona.

9. Bibliografía

- Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R., & Vargas Bolaños, C. (2015). METODOLOGÍA PARA LA CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA DE IMÁGENES ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 Y LANDSAT 8 CON EL MÓDULO FLAASH DEL SOFTWARE ENVI. ATMOSPHERIC CORRECTION METHODOLOGY FOR ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 AND LANDSAT 8 IMAGES WITH ENVI FLAASH MODULE SOFTWARE. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 39-59. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Alcaldía Municipal de Herveo. (2020). <http://www.herveo-tolima.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Amézquita, S. P. M. (2020). *EVALUACIÓN DEL ÁREA DE EXPANSIÓN DE LAS PLANTACIONES FORESTALES EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ-META, POR MEDIO DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL*. 15.

- Calderón, J. M. S., Trujillo, Ó. A. N., Flórez, G. A. R., Santamaría, M. C., Echeverri, L. C. V., & Uribe, A. G. (2018). *CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL CONPES*. 114.
- Chichipe, M. E. M., López, R. S., & Castillo, E. B. (2017). Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú). *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(2), 67-76. <https://doi.org/10.25127/indes.20153.210>
- CONABIO. (2020). *Monitoreo de la cobertura de suelo*. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/cobertura-suelo>
- Congedo Luca. (2017). *7. Preguntas Frecuentes*. <https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/faq.html#after-pan-sharpening-of-landsat-8-images-why-nir-bands-still-have-30m-resolution>
- Congedo Luca. (2020). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25480.65286/1>
- CONIF. (1998). *Guía para Plantaciones Forestales Comerciales Tolima.pdf*. <https://www.guao.org/sites/default/files/biblioteca/Gu%C3%ADa%20para%20Plantaciones%20Forestales%20Comerciales.Tolima.pdf>
- Contreras, I. A., Latina (Project), E. de tendencias y perspectivas del sector forestal en A., Food, & Nations, A. O. of the U. (2004). *Informe nacional Colombia*. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). <https://books.google.com.co/books?id=bTh7eN1FTbEC>
- Corredor Gil, L. P., Cárdenas Quiroga, E. A., & Ordóñez López, J. C. (2011). APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER EN LA DETERMINACIÓN DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA EN EL PARQUE NATURAL LOS FLAMENCOS. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 153-167.

- DNP, D. N. de P. (1989). *Plan de Acción Forestal para Colombia*.
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/2429.pdf>
- Dollenz, O., & Santana', A. (2000). *CLASIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN DE CABO NEGRO (MAGALLANES, CHILE) UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES*. ' 6.
- EarthExplorer*. (2021). <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- FAO. (2001). *Causas y tendencias de la deforestación en América Latina*.
<http://www.fao.org/3/ad680s/ad680s00.htm#TopOfPage>
- Gobernación del Tolima. (2020). *Plan de Desarrollo 2020—2023, El Tolima nos une*.
<https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/Ordenanza-Plan-de-desarrollo-version-8.pdf>
- Guzmán-Manrique, J., & Flórez-García, A. C. (2019). Fragmentación del paisaje empleando análisis multitemporal de imágenes de satélite Landsat TM y ETM+ en el municipio de Montelíbano, Córdoba-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 31-41.
<https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.76116>
- ICA. (2021). *Instituto Colombiano Agropecuario—ICA*. <https://www.ica.gov.co/el-ica/funciones>
- ICA-SPV-DTEVF-PFF. (2021). *Base de Datos Registros de Plantaciones Forestales con Fines comerciales—Municipio de Herveo—Tolima*.
- IDEAM. (2010a). *Informe de Gestión* (p. 50). IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
ideam.gov.co/documents/24024/84386/Informe+de+Gestion+2010+IDEAM.pdf/a964fab3-b5c6-4068-9e11-37b1fd341c03?version=1.0
- IDEAM. (2010b). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia : escala 1:100.00*.
- Learngem. (s. f.). Pansharpening Landsat 8 images. *Learn Geomatics*. Recuperado 7 de junio de 2021, de <https://www.learngeom.com/2021/02/pansharpening-landsat-8-images.html>

- Martínez, M., Birkel, C., Espinoza, E., Lizano, M., Philippe, E., & Benegas, L. (2019). Evaluación espaciotemporal del cambio global en el Departamento Sur de Haití, de 1973 al 2017. *MASKANA*, 10(2), 42-53. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.05>
- Mata, G. D. de L., Álvarez, A. P., & Guerrero, J. H. M. (2014). Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2014(84), 42-53. <https://doi.org/10.14350/rig.36568>
- Decreto 2398, 9 (2019) (testimony of Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural).
- Moreno, M. F. R. (2015). *MONITOREO DE CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL DEL SANTUARIO DE FLORA Y FAUNA DE IGUAQUE Y SU AREA DE INFLUENCIA, ENTRE 1986 Y 2014, EMPLEANDO SOFTWARE LIBRE DE CODIGO ABIERTO*. 26.
- Moreno Orjuela, R. D., Villota Echeverri, N., & Gutiérrez Rodríguez, E. (2014). *Protocolo para seguimiento y control a la movilización de productos maderables y productos no maderables del bosque*. Gobernanza Forestal en Colombia.
- Muñoz, G. A., & De la Cruz, J. M. (2016). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y CAMBIO DE USO DEL SUELO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROGRAMA DE REFORESTACIÓN DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA*. 58.
- Otavo, S., & Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 924-935. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.041>
- Payn, T., Carnus, J.-M., Freer-Smith, P., Kimberley, M., Kollert, W., Liu, S., Orazio, C., Rodriguez, L., Silva, L. N., & Wingfield, M. J. (2015). Changes in planted forests and future global implications. *Forest Ecology and Management*, 352, 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.021>
- Posada, E. (2012). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA PARTE*. 154.

- PROFOR. (2017). *Plantaciones Forestales con fines comerciales en Colombia. Oportunidades y desafíos*. https://www.unique-landuse.de/images/publications/vereinheitlicht/2017%20PROFOR_Plantaciones%20comerciales%20en%20Colombia_Sintesis_Calidad.pdf
- Programa Socioambiental y de Desarrollo Forestal. (2005). *Establecimiento y manejo de plantaciones forestales*. Gobierno de Nicaragua, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, Programa Socioambiental y Desarrollo Forestal (POSAF II/BID-1084).
- Proyecto QGIS!* (s. f.). Recuperado 7 de junio de 2021, de <https://www.qgis.org/es/site/>
- Salazar García, J. G., Santiago Trinidad, O., Sánchez Monsalvo, V., Monroy Rivera, C., & Couttolenc Brenis, E. (2019). MODELO PARA DETERMINAR CALIDAD DE SITIO A EDADES TEMPRANAS DE CUATRO ESPECIES TROPICALES. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(11), 71-80. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i11.518>
- Soledispa, J. R. B. (2015). *ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES FORESTALES Y SU INCIDENCIA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS*. 64.
- Unidad de Planificación Agropecuaria, U. (2018). *Plantaciones Forestales con Fines Comerciales para la Obtención de Madera y su Cadena Productiva*. <http://localhost:8080/handle/11438/8636>
- Velasco Murguía, A., Medina, E. D., Rivera, R., & Bray, D. B. (2014). Cambios en la cobertura arbolada de comunidades indígenas con y sin iniciativas de conservación, en Oaxaca, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2014(83), 55-73. <https://doi.org/10.14350/rig.34975>
- Velázquez, A. G. (2018). *DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA REPARACIÓN DE HUECOS (GAPFILLING) DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM+*. 48.