



**Análisis multitemporal de deforestación mediante matrices de transición en el
municipio de Floridablanca, Santander.**

Daniela Alejandra Zorrilla Vargas

11792226154

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

**Análisis multitemporal de deforestación mediante matrices de transición en el
municipio de Floridablanca, Santander.**

Daniela Alejandra Zorrilla Vargas

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director (a):

Ingeniero Wilmar Jair Gómez Ríos

Línea de Investigación:

Gestión ambiental

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

.

Firma del Tutor

.

Firma Jurado

.

Firma Jurado

Bogotá, 27 de junio del 2023.

Contenido

1	Resumen	1
2	Abstract	2
3	Preliminares.....	3
3.1	Planteamiento del problema.....	3
3.2	Justificación	5
4	Objetivos	6
4.1	Objetivo general	6
4.2	Objetivos específicos.....	6
5	Marco referencial.....	7
5.1	Estado del arte.....	7
5.2	Marco teórico	12
5.2.1	Bosque	12
5.2.2	Deforestación	12
5.2.3	Causas de la deforestación.....	14
5.2.4	Cambio de cobertura y uso del suelo.....	18
5.3	Marco geográfico	19
5.4	Marco legal	20
5.4.1	Contexto internacional.....	20
5.4.2	Contexto nacional.....	20
6	Metodología.....	21
6.1	Línea de investigación.....	21
6.2	Procedimiento metodológico	22
7	Resultados y análisis	24
7.1	Diagnóstico social, ambiental y económico de Floridablanca.....	24
7.2	Clasificación de coberturas	28
7.3	Matrices de transición.....	34
7.4	Análisis y discusión.....	36
8	Conclusiones	38
9	Recomendaciones	40

10	Referencias Bibliográficas	42
----	----------------------------------	----

Lista de Figuras

Figura 1. Municipio de Floridablanca.....	19
Figura 2. Áreas protegidas en Floridablanca.	27
Figura 3. Clasificación para coberturas de suelo año 2003.....	30
Figura 4. Clasificación para coberturas de suelo año 2015.....	31
Figura 5. Clasificación para coberturas de suelo año 2023.....	32
Figura 6. Porcentaje por cobertura para Floridablanca.	33

Lista de tablas

Tabla 1.....	20
Tabla 2.....	20
Tabla 3.....	22
Tabla 4.....	30
Tabla 5.....	31
Tabla 6.....	32
Tabla 7.....	34
Tabla 8.....	35
Tabla 9.....	35

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
<i>OIF</i>	Factor del índice óptico		<i>Ec. 1</i>
<i>Std</i>	Desviación estándar de cada banda		<i>Ec. 1</i>
<i>Cor</i>	Coefficiente de correlación de cada banda		<i>Ec. 1</i>

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>WWF</i>	Fondo Mundial para la Naturaleza
<i>REDD</i>	Reducción de Emisiones debidas a la Deforestación y Degradación
<i>REDD+</i>	Reducción de Emisiones debidas a la Deforestación y Degradación +
<i>ODS</i>	Objetivos de Desarrollo Sostenible
<i>ONU</i>	Organización de las Naciones Unidas
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>CAR</i>	Corporaciones Autónomas Regionales
<i>SIG</i>	Sistemas de Información Geográfica
<i>RAE</i>	Región Amazónica de Ecuador
<i>REM</i>	Remanentes Forestales Atlánticos
<i>REG</i>	Regeneración
<i>REF</i>	Reforestación
<i>NF</i>	No Forestal
<i>NDVI</i>	Índice de vegetación de diferencia Normalizada
<i>SAVI</i>	Índice de vegetación ajustado al suelo
<i>dNDVI</i>	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
<i>dNBR</i>	Ratio de Quemado Normalizado diferenciado
<i>SWAT</i>	Herramienta de Evaluación del Suelo y el Agua
<i>LUCC</i>	Cambios en el Uso y la Cubierta del Suelo
<i>GEI</i>	Gases efecto invernadero

Abreviatura**Término**

<i>GRF</i>	Recursos Forestales Globales
<i>FAO</i>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
<i>USGS</i>	Servicio Geológico de los Estados Unidos
<i>UTM</i>	Universal Transverse Mercator
<i>CLC</i>	Corine Land Cover
<i>POT</i>	Plan de Ordenamiento Territorial
<i>PDM</i>	Plan de Desarrollo Municipal
<i>POMCAS</i>	Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas
<i>AMB</i>	Área Metropolitana de Bucaramanga

1 Resumen

La deforestación es un problema ambiental bastante importante para la humanidad hoy en día, por lo que su estudio es requerido para poder mitigarla a corto y largo plazo, teniendo en cuenta las diferentes variables, sean estas naturales o antropogénicas, que puedan intervenir en su ocurrencia. Es así como, con este estudio, se quiere analizar el fenómeno de deforestación mediante matrices de transición en el municipio de Floridablanca, Santander, durante el periodo comprendido entre los años 2003 y 2023. Para ello se realizó un diagnóstico del municipio, para luego iniciar el proceso de clasificación supervisada para cada año, utilizando el algoritmo de Máxima Verosimilitud, y posteriormente revisar la dinámica histórica de acuerdo con la transición de áreas entre coberturas. Se obtuvo que, a pesar de que la cobertura boscosa predomina para los tres años de estudio, se ve afectada por las coberturas, de mayor a menor, Áreas heterogéneas, Pastos y Zonas urbanizadas, teniendo en cuenta también que las mayores áreas de cambio de bosque se dieron a estas coberturas. Con esto se identificaron las variables incidentes en la ocurrencia de esta problemática ambiental, siendo la expansión agrícola, el crecimiento poblacional y la migración, las cuales tienen gran influencia en el desarrollo de Floridablanca, de acuerdo con el diagnóstico realizado. Es por ello por lo que debe darse un debido control para mitigar la deforestación frente a estas variables, iniciando por la realización de este tipo de estudios y formulando normativas que impartan el desarrollo sostenible para el territorio.

Palabras clave: Deforestación, Variables, Clasificación supervisada, Matriz de transición.

2 Abstract

Deforestation is an especially important environmental problem for humanity today, so its study is required to mitigate it in the short and long term, considering the different variables, whether natural or anthropogenic, that may intervene in its occurrence. Thus, this study aims to analyze the phenomenon of deforestation through transition matrices in the municipality of Floridablanca, Santander, during the period between 2003 and 2023. For this purpose, a diagnosis of the municipality was made, and then the supervised classification process was started for each year, using the Maximum Likelihood algorithm, and then the historical dynamics were reviewed according to the transition of areas between coverages. It was obtained that, although the forest cover predominates for the three years of study, it is affected by the coverages, from highest to lowest, Heterogeneous areas, Pastures and Urbanized areas, also considering that the largest areas of forest change occurred in these coverages. With this, the incident variables in the occurrence of this environmental problem were identified, being the agricultural expansion, population growth and migration, which have profound influence on the development of Floridablanca according to the diagnosis made. It is for this reason that a due control should be given to mitigate deforestation in the face of these variables, starting with the realization of this type of studies and formulating regulations that impart sustainable development for the territory.

Key words: Deforestation, Variables, Supervised classification, Transition matrix.

3 Preliminares

3.1 Planteamiento del problema

Los bosques son uno de los ecosistemas con más importancia para el desarrollo de la humanidad, ofreciendo grandes beneficios que hacen posible su subsistencia y mejoramiento de calidad de vida, impulsando así la evolución y, como consecuencia, la transformación del área forestal. Dichos beneficios proporcionados por estos ecosistemas se traducen en servicios esenciales como recursos para el sustento, más que todo, de la población rural, son un medio de mitigación de los impactos de los desastres naturales, aportan a la conservación de la biodiversidad y actúan como sumideros y depósitos de carbono (Cantillo y Garza, 2022).

Sin embargo, las transformaciones del área boscosa traen como consecuencia su eliminación, lo que produce la deforestación, que, con el paso de los años, ha aumentado con rapidez poniendo en peligro la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Fathizad et al., 2015). Es entonces que, organizaciones como el WWF mencionan que la pérdida de bosque se concentra en 24 frentes de deforestación alrededor del mundo. Para 2021, cubrían un área de 710 millones de hectáreas, estando la mitad cubierta de bosques (377 millones de hectáreas), siendo dos tercios bosques primarios o intactos (256 millones de hectáreas). Además, más del 10% (alrededor de 43 millones de hectáreas) de este ecosistema se perdió en el interior de estos frentes entre 2004 y 2017 (González-González et al., 2021). Es consecuencia, se han implementado diversos enfoques para detener este fenómeno, pero sin lograr mayores avances porque no se dan acciones colectivas y enfoques con mayor integración y adaptativos a cada caso (Pacheco et al., 2021), Además, los factores causantes suelen variar de un territorio a otro, sean estos sociales, económicos, ecológicos, climáticos, entre otros (González-González et al., 2021).

La deforestación para Colombia, siendo este parte de programas internacionales como la REDD+ y proponerse metas para cumplir con los ODS, adoptados por la ONU, es aún un gran desafío. En este caso, variedad de factores sociales, económicos, institucionales, culturales y de género influyen en la problemática y deben ser atendidos para disminuir significativamente la pérdida de los servicios que ofrece a las formas de vida que dependen de este ecosistema. Así, después de la firma del Acuerdo de paz y el proceso de posconflicto, se plantea considerar al bosque como sujetos de gestión y gobernanza del territorio que contribuyan de manera sostenible al desarrollo rural integral y la protección al medio ambiente (MINAMBIENTE e IDEAM, 2018). Un ejemplo son las cifras reportadas para el periodo 2017-2018, donde la deforestación se redujo en un 10%, pasando de 219.973 hectáreas deforestadas a 197.155 hectáreas, pero siendo igualmente drásticas (Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible, 2022).

Ahora, Santander fue el décimo departamento en tasa de deforestación para el periodo 2012-2018, perdiendo 23.684 hectáreas. Sin embargo, este territorio posee gran potencial al contar con cerca de 1.755.445 hectáreas aptas para productividad forestal. Es por ello por lo que se hace necesario aplicar estrategias de manejo sostenible y aprovechar las potencialidades de la zona, estando estas identificadas debidamente frente a las autoridades ambientales, como el IDEAM y las CAR en Santander (CAS, 2020).

En este caso, Floridablanca, municipio de Santander y parte del AMB, tiene pocas cifras medidas para la deforestación, como la expresada en el Plan de Desarrollo 2020-2023, donde se registra que el territorio presentó, para 2018, 3.505,94 hectáreas de bosque estable y 3,21 hectáreas deforestadas (Alcaldía municipal de Floridablanca, 2020). Por lo tanto, el municipio se encuentra influenciado por factores ambientales, sociales y económicos que hacen que, con el paso de los años, tenga grandes transformaciones en su organización territorial, por lo que puede ser una

zona potencialmente afectada por fenómenos ambientales, para lo cual es importante resolver en este estudio ¿Cuánto ha evolucionado la deforestación en Floridablanca en los últimos 20 años? y ¿Cuáles han sido las variables con mayor influencia en dicha problemática?

3.2 Justificación

La deforestación es un fenómeno que ha afectado al mundo entero, generando una serie de problemas ambientales y sociales (Ansari et al., 2022). El presente estudio se enfoca en el análisis de la deforestación en el municipio de Floridablanca, Santander, entre 2003 y 2023, identificando así las variables que inciden en su ocurrencia. La investigación es relevante debido a la necesidad de conocer el impacto que ha tenido la deforestación en la región de Floridablanca, así como para tomar medidas que permitan mitigar sus efectos. Asimismo, el estudio contribuirá a crear conciencia en la comunidad sobre la importancia de la recuperación y conservación de los bosques.

La viabilidad de la investigación se sustenta en la utilización de insumos que brindan información relevante para el desarrollo del estudio, encontrándose entre estos la documentación de archivos proporcionados por entidades territoriales relacionadas con el tema, así como las imágenes satelitales para los años de estudio necesarios para realizar un análisis temporal. De esta forma, se podrá establecer un contexto adecuado para la identificación de variables que inciden en la deforestación de la zona, lo que permitirá diseñar posteriormente estrategias efectivas para su mitigación.

Los beneficios del estudio no solo son de carácter ambiental, sino también educativo y personal. La comunidad educativa podrá contar con un método de estudio sobre un fenómeno ambiental relevante como la deforestación, lo que contribuirá a la toma de decisiones informadas para la

gestión y ordenamiento del territorio. Además, el estudio aportará metodologías para hacer un análisis temporal de la deforestación utilizando herramientas como la teledetección y los SIG, que son métodos económicos y prácticos para el estudio de la tierra. Por último, el estudio permitirá al investigador aplicar lo aprendido durante su especialización a un caso real, lo que contribuirá al perfeccionamiento de sus habilidades.

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Cuantificar el fenómeno de deforestación mediante matrices de transición en el municipio de Floridablanca, Santander, durante el periodo comprendido entre los años 2003 y 2023.

4.2 Objetivos específicos

- Identificar las principales variables que inciden en la ocurrencia de la deforestación entre los años 2003 y 2023 en la zona de estudio, por medio de la documentación dispuesta por parte de los organismos de control competentes, relacionados con los ámbitos ambiental, social, económico, entre otros.
- Categorizar las coberturas del suelo existentes en el municipio mediante clasificaciones supervisadas utilizando el algoritmo de Máxima Verosimilitud.
- Analizar la dinámica histórica de la deforestación en Floridablanca a partir de matrices de transición, para calcular el cambio de, principalmente, la cobertura forestal a otras, para así determinar el área aproximada de deforestación en los últimos 20 años.

5 Marco referencial

5.1 Estado del arte

Para iniciar, es necesario realizar una revisión de los trabajos previos relacionados con estudios de análisis multitemporal de la deforestación a nivel internacional y nacional. Se tienen en cuenta los métodos implementados para llevar a cabo dicho proceso y la identificación de variables, estas relacionadas ya sea con el ámbito natural o con la acción humana, que inciden en la ocurrencia de este fenómeno.

El estudio realizado por Haq et al. (2021) emplearon la clasificación supervisada, con el algoritmo de máxima Verosimilitud, de imágenes Landsat y Sentinel 2A para los años de 1980, 2000, 2010 y 2017 con el fin de averiguar el impacto del crecimiento demográfico y la expansión de la red vial en la cubierta forestal del valle de las Palas en Pakistán. Se presenta una reducción importante de la cobertura forestal al ser convertida a otros usos, mayormente a las áreas adyacentes a las zonas urbanas, durante el periodo de estudio. Así mismo, Heredia-r et al. (2021) analizaron la multitemporalidad del cambio de uso del suelo en el Bloque Petrolero ITT (Ishpingo, Tambococha y Tiputini), de la RAE, utilizando SIG para procesar y, posteriormente, clasificar las imágenes satelitales de los sensores Landsat 7 y Landsat 8 para los años 2001, 2014 y 2017. Como resultado se tiene que la cobertura boscosa disminuyó un 24,23%, aumentando, por el contrario, la infraestructura y los cultivos en 0,27% y 0,23%, respectivamente. Además, la tasa de cambio del uso de la tierra más relevante está relacionada con las coberturas de suelo desnudo y área cultivada.

Por su parte, Maciel et al. (2021) identificaron y mapearon áreas de forestación y deforestación en los límites de las Unidades de Conservación del Valle de Ribeira para los años 1985, 1995, 2006 y 2017. Compararon posteriormente los resultados obtenidos con toda la región, utilizando

cuatro imágenes de los sensores Landsat 5 y Landsat 8, que fueron procesadas para realizar las combinaciones RGB pertinentes y luego clasificar, por medio del algoritmo de Máxima Verosimilitud Compuesta, y hacer matrices de transición para denotar el cambio entre coberturas (REM, REG, REF y NF). Se obtuvo que la regeneración forestal representó cerca del 30% de la ganancia neta total, mientras que la deforestación fue de aproximadamente el 22% de 1985 a 2017. Las unidades que presentaron deforestación marcada fueron APA Quilombos do Médio Ribeira, APA Serra do Mar, PE Turvo y RDS Barreiro Anhemas, a diferencia de otras que no tuvieron transiciones significativas con respecto a este proceso. Otro ejemplo es la investigación realizada por Delgado-Artés et al. (2022) al profundizar en la evolución forestal y sus implicaciones tras el proceso de abandono de tierras que inicio en la segunda mitad del siglo XX. Inicialmente se realizó una fotointerpretación por muestreo, utilizando cinco tipos generales de ocupación y uso del suelo y cuatro tipos específicos de ocupación para el periodo comprendido entre los años 1957-2007) en la Provincia de Castello, España. Se obtuvo, a partir de matrices de transición, que la cobertura de bosques densos (matorrales y bosques) ha aumentado del 17% al 28%, y la superficie transitoria que fue abandonada después de ser destinada para uso agrícola ha aumentado del 8% al 21%. También se trazó un mapa de vías de evolución forestal para identificar una doble vía alternativa, esto basado en el análisis de las transiciones aleatorias y sistemáticas entre categorías. Se encontró que, para la evolución progresiva hacia los bosques densos, se han dado tasas que pueden depender de condiciones climáticas del lugar, lo cual los autores dicen revisar con mayor profundidad en otros estudios. Se determina posteriormente que el método de las matrices de transición para evaluar los cambios de coberturas permite identificar con precisión los cambios entre categorías dominantes a lo largo del tiempo. Además, los

resultados obtenidos apoyarían a la gestión forestal, la planificación del uso del suelo, el almacenamiento de carbono y la provisión de servicios ambientales.

A su vez, Rodríguez et al. (2022) analizaron las transiciones en el cambio de uso del suelo en el Estado de Puebla, México, que tuvieron lugar entre los años 1980 y 2016, para comprender la dinámica espacial e identificar los patrones de cambio en el uso del suelo que más se destacan. Procesaron la información cartográfica de las cartas de uso de suelo y vegetación en sus series I, II, III, IV, V y VI, producto del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. A partir de ello, se delimitó y cálculo el área ocupada por el Estado de Puebla y sus regiones económicas, de formaciones vegetales y otros usos del suelo. Luego aplicaron la metodología de matrices de cambio, lo cual permitió analizar las transiciones partiendo de la conformación inicial del uso del suelo. Es así como, en los 36 años de estudio, se ha presentado una disminución del 21% de la cobertura vegetal en la zona, dado el crecimiento de la producción agrícola y la vegetación ya perturbada, teniendo a Mixteca, la Sierra Norte y Atlixco-Valle de Matamoros como las zonas más afectadas. En términos generales, los usos del suelo que más se expandieron fueron en orden de magnitud, urbano (1523%), suelo desnudo (146%) y los cuerpos de agua (83%). Al contrario, bosques y selvas presentaron pérdidas superiores al 30%. Los autores concluyeron que los cambios en la zona de estudio están influenciados principalmente por la cercanía a zonas urbanas. Las regiones alejadas de las ciudades principales mantienen mayor dinamismo de la actividad agrícola y pecuaria, siendo esta situación preocupante, ya que, al crecer la producción agrícola y las zonas urbanas, el suelo sería insostenible. Se recomienda tomar los hallazgos en cuenta para la planeación territorial, mejorando así el aprovechamiento y sostenibilidad del suelo.

Por otro lado, al tener la variable incidente identificada en la zona de estudio, Yang et al. (2018) describen un método automatizado para identificar las perturbaciones mineras de Martin County KY y Logan County WV en el este de Estados Unidos. Esto se realizó por medio de puntos muestrales, y se caracterizó la recuperación de la cubierta vegetal en las zonas afectadas utilizando 26 imágenes Landsat durante un periodo de 32 años (1984 – 2015), y, para el análisis, el NDVI. Luego crearon una plantilla de perturbación típica de las zonas mineras para describir patrones multitemporales del índice antes, durante y después de las perturbaciones. Lograron identificar las perturbaciones mineras con una precisión del 97%, el año de perturbación y el tipo de trayectoria de recuperación de la perturbación con una precisión del 90%. Algo semejante ocurre en el estudio de Reyes et al. (2019) al combinar la multitemporalidad y diferentes índices para facilitar la identificación de zonas quemadas en el sur de Chile, del 15 al 30 de enero de 2017, fechas en las que se consumió gran parte de la cobertura forestal de la zona. Tomaron imágenes de satélite Landsat 8 previas y posteriores al evento como insumos. Luego calcularon diferentes índices para la detección de cambios. Posteriormente realizaron una combinación RGB de las nuevas bandas donde, el cañón rojo corresponde a los índices anteriores al evento, el cañón verde a los índices posteriores al evento y el cañón azul a la diferencia multitemporal. Se tiene como resultado que el índice SAVI - Multitemporal permite una descripción visual del 93%. Además, se estimó que 157.116.173 hectáreas fueron afectadas durante dicho periodo de tiempo. Igualmente, se presenta un estudio para evaluar la ocurrencia de incendios forestales mediante teledetección con el fin de dar apoyo en la elaboración de una propuesta de plan de acción en Ecuador. Se propone realizar un análisis de los índices espectrales dNDVI, para clasificar la severidad del incendio; y dNBR, para cartografiar las zonas quemadas. Esto se realiza a partir imágenes Landsat para el periodo comprendido entre los años 2014 – 2020. Los

modelos resultantes fueron validados en campo, obteniendo el 99,1% de precisión con respecto a la categoría de severidad más alta. Se denota que por la aplicación de dichos métodos y su posterior análisis de resultados se pudo plantear un plan de acción verídico, con el cual se pudo definir una ruta de evacuación segura y eficaz para reducir el número de víctimas si se diesen futuros eventos (Morante-Carballo et al., 2022).

En el contexto nacional, Elizalde y Pascual (2018), identificaron la pérdida del bosque en paisajes fragmentados de la amazonia colombiana por medio de un análisis multitemporal de la composición y configuración del paisaje entre los años 1990 y 2016. Se estableció una toma muestral en determinadas áreas donde predomina la vegetación, teniendo que el 56.34% de áreas de bosque transitaron a otros usos, aumentó el número de parches y la distancia entre relictos, evidenciando procesos activos de fragmentación. Además, en los bosques muestreados, se identificó la dominancia de especies heliófitas generalistas de ecosistemas perturbados, dándose una severa fragmentación del paisaje por una reducción en la complejidad estructural asociada a la baja densidad e individuos ($DAP \geq 10$ cm) en el estrato superior arbóreo. Así mismo, se presenta el estudio relacionado al análisis espacio-temporal de la respuesta hidrológica a los cambios de cobertura del suelo en la subcuenca del río Chicú. Se utilizó un enfoque integrado por un modelo hidrológico SWAT y diferentes mapas LUCC, producto del uso de imágenes satelitales Landsat para los años 1997, 2006, 2011 y 2016. Se dió respuesta hidrológica en la cuenca con los cambios de cobertura presentados, ya que la modelación SWAT presenta que la escorrentía superficial varía de acuerdo con el tipo de cobertura y extensión, aumentando o disminuyendo el flujo de agua de acuerdo con sus características. Como ejemplos, la disminución de bosques densos y fragmentados afectó la escorrentía y el caudal de las fuentes de agua de la subcuenca durante el periodo de estudio. Pero con la presencia de los pastos limpios,

que fue creciendo entre 2006 y 2011, la escorrentía superficial se mantuvo casi constante, considerada esta cobertura por los autores como estable (Barreto-Martin, 2021).

Es importante indicar que no se encontraron investigaciones de este tipo relacionadas con el área de estudio.

5.2 Marco teórico

5.2.1 *Bosque*

La cubierta forestal mundial hoy representa aproximadamente el 31% de la superficie terrestre total (FAO, 2010; Appiah et al., 2019). Esta cumple con funciones relevantes como la producción de oxígeno, la protección del ciclo del agua (Ansari et al., 2022), la provisión de hábitats alrededor del 75% de la biodiversidad terrestre, la regulación del cambio climático (FAO, 2014; Appiah et al., 2019) y el almacenamiento de carbono. Aproximadamente el 80% de carbono terrestre aéreo y el 70% del carbono orgánico del suelo se encuentra en biomas forestales (Batjes, 1996; Jobbagy y Jackson, 2000; Appiah et al., 2019). Los bosques mantienen los sistemas alimentarios tanto humanos como naturales (Ansari et al., 2022). Ofrecen gran variedad de productos y servicios que impulsan el crecimiento social y económico de los países en desarrollo y desarrollados especialmente para las comunidades rurales, las cuales están conectadas internamente con estos ecosistemas (Köhl et al., 2015; Appiah et al., 2019).

5.2.2 *Deforestación*

“La deforestación es considerada como la segunda mayor fuente de emisiones antropogénicas de GEI” (van der Werf et al. 2009; Smith et al., 2014; Zvobgo y Tsoka, 2021) y “el principal impulsor de la pérdida de biodiversidad” (Angelsen et al. 1999; Maxwell et al., 2016; Tilman et al., 2017; Zvobgo y Tsoka, 2021), lo que la convierte en una preocupación y

amenaza mundial con una producción acelerada (Achard et al., 2014; Zvobgo y Tsoka, 2021).

Sin embargo, el informe sobre los GRF presentado por la FAO, se observa la disminución de la tasa de deforestación en las últimas décadas, ya que, para 1990-2000, esta fue de 7,8 millones de hectáreas al año, pasando a 5,2 millones de hectáreas al año entre 2000 y 2010 y finalmente a 4,7 millones de hectáreas al año en 2010-2020, atribuyendo este descenso a una reducción del ritmo de expansión forestal (FAO, 2020; Zvobgo y Tsoka, 2021).

Esto también es resultado de la aplicación de proyectos mundiales como REDD y REDD+, siendo uno de sus objetivos el mantener el calentamiento global por debajo de 1,5°C o 2°C por encima de niveles preindustriales (IPCC 2018; Mackey et al., 2020; Moomaw et al., 2020; Manning 2020; Zvobgo y Tsoka, 2021). Además de otras prácticas como la plantación de árboles, que se asocia a la gestión sostenible de los bosques, ya que tiene gran importancia para alcanzar objetivos sociales, económicos y medioambientales (Koranteng et al., 2019). Con estas acciones se facilita la intervención y cambio de prácticas y políticas de uso del suelo para las entidades del Estado que planean el territorio, con el fin de mitigar la pérdida de bosque (Grybas et al., 2020). Sin embargo, pesar de estos logros, la deforestación aún es un reto, más que todo en países en desarrollo por “la menor superficie per cápita y la escasa capacidad de adaptación” (Iftekhar y Hoque 2005; Fagan et al. 2020; Hossain et al., 2023), además del rápido crecimiento poblacional (Capitani et al., 2019).

Teniendo este contexto, la deforestación ha provocado la transición acelerada de bosques a otras coberturas en las últimas décadas, siendo los principales motores la extensión de la franja agrícola, los asentamientos rurales y la urbanización, que tienen como principal finalidad satisfacer la demanda de una población en constante crecimiento (Wan Mohd Jaafar, 2020; Ansari et al., 2022), Se considera que estos efectos antropogénicos causan una dinámica espacial

en los bosques (Salomon et al., 2021). Además, está afectando el clima, ya que estas transiciones modifican el intercambio de energía y agua entre la tierra y la atmósfera (Alkama, 2016; Ansari et al., 2022). Esto se atribuye también el cambio de la temperatura de la tierra, teniendo como consecuencia las emisiones masivas de gases efecto invernadero a la atmósfera, que tiene una relación directamente proporcional con la tala arbórea (Amjad 2019; Ansari et al., 2022).

Cabe mencionar la fragmentación forestal, siendo los madereros, los cultivadores comerciales, los planificadores de asentamientos, los promotores de infraestructuras y la expansión poblacional algunas causas destructivas de este suceso y que, a su vez, aceleren su ocurrencia (Pyngrope et al., 2021). Igualmente aumentan el aislamiento de poblaciones y efectos de borde (Hernández-Pérez et al., 2022). Además, dicha fragmentación llega a amenazar la existencia de paisajes forestales intactos, teniendo que, entre 2000 y 2013 se perdió el 7,2% (919.000 km²) de esta superficie en el mundo (Potapov et al., 2017; Slattery y Fenner, 2021). Este caso también tiene impulsores de la fragmentación, siendo naturales, como los incendios forestales, o antropogénicos, como la construcción de carreteras y vías férreas, las plantaciones exóticas, la pérdida de hábitats de especies dispersión de contaminantes, el aumento de las emisiones acústicas, el cambio de las condiciones climáticas locales, la falta de equilibrio hídrico (Jaque Castillo et al., 2022), la tala de madera, la expansión agrícola y la urbanización, los cuales, como se ha venido mencionado, han aumentado con el paso del tiempo (Galbraith et al., 2018; Slattery y Fenner, 2021).

5.2.3 Causas de la deforestación

De acuerdo con la compilación literaria realizada por Saavedra et al. (2022), se plantean las siguientes causas directas e indirectas de la deforestación para el contexto colombiano.

- *Causas directas*

Para iniciar, la expansión agropecuaria trae importantes consecuencias a los ecosistemas naturales, partiendo por: i. La siembra en suelos productivos, que, al no ser manejados correctamente, tienden a degradarse y perder sus propiedades (Armenteras et al. 2006; Saavedra et al., 2022); ii. Las practicas inapropiadas al sembrar en zonas con poca vocación productiva para cierto tipo de cultivos, lo que genera ineficiencias en el uso del suelo (Armenteras, 2013; García, s.f.; Saavedra et al., 2022); iii. Los incendios forestales generados por el hombre (García, s.f.; Saavedra et al., 2022); y iv. La siembra de cultivos ilícitos, teniendo ciclos complejos de conversión, abandono y preservación no planeada del suelo, viéndose estos efectos después de la firma del Acuerdo de paz en 2016 (Mendoza, 2020; Saavedra et al., 2022), además de la limitación del control del uso del suelo por parte del Estado con respecto a áreas protegidas y ecosistemas estratégicos (IDEAM, 2011; Saavedra et al., 2022).

Por otro lado, está la ganadería intensiva, que en Colombia ocupa casi el 34% (40 millones de ha) del territorio nacional, representando aproximadamente el 60% de la deforestación en el país (Grau y Aide, 2008; García, s.f.; Saavedra et al., 2022). Además, se presentan casos en los que se producen incendios para como practica tradicional de manejo al establecer la ganadería comercial.

También se encuentra la minería, considerada como causa al degradar y fragmentar el suelo, perdiendo este su fertilidad, y al alterar la dinámica hídrica de las fuentes abastecedoras de este recurso, esto cuando se realizan extracciones de minerales que afectan, no solo a las áreas forestales que se encuentran protegidas, sino también a las comunidades, sean estas indígenas o campesinas, que dependen de los servicios que estos ecosistemas ofrecen (IDEAM, 2011; Saavedra et al., 2022).

Por último, se pueden relacionar los factores ambientales asociados al clima y al suelo, como la topografía, la calidad del suelo y las sequías, se las cuales se suelen provocar los incendios forestales sin incidencia antrópica al presentarse periodos secos prolongados causados por el fenómeno El Niño, siendo las regiones Orinoquia, Andina y Caribe las más afectadas (Armenteras, 2013; Saavedra et al., 2022).

- *Causas indirectas*

Se consideran causas indirectas variables demográficas como el crecimiento poblacional, la densidad y la migración, teniendo que las áreas con cobertura forestal degradada son aquellas donde se encuentra mayor población, con presión de densidad y baja calidad de vida; denotando también que, principalmente en la región Andina, la migración hacia los centros poblados han presionado los recursos naturales, compitiendo su suelo con otros usos como la agricultura para solventar la demanda de alimentos y vivienda, generando así la apropiación de terreno en ecosistemas estratégicos y ambientalmente frágiles (IGAC et al., 2002; García, s.f.; Saavedra et al., 2022).

El mercado de productos maderable, que se encuentra ligado a los siguientes casos: i. La tala ilegal, acompañada del transporte y la posterior comercialización de madera que no está debidamente regulada por la ley nacional (García, s.f.; Saavedra et al., 2022).; y ii. La tala como actividad extractiva, para satisfacer necesidades básicas de los habitantes locales (Ministerio de Ambiente, 2012; Saavedra et al., 2022).

Los bajos retornos a la actividad agrícola relacionados a las bajas productividades del suelo, puesto que los agricultores se sienten frustrados al no obtener las ganancias suficientes, por

factores como la ausencia de carreteras, y por ello deciden ocupar más terreno para cultivar (Botero, 2018; Saavedra et al., 2022).

La construcción de infraestructura vial cuando estas no son eje articulador de ordenamiento territorial y de la definición de zonas de desarrollo y ocupación, tienden a fomentar el establecimiento de nuevos asentamientos que producen consecuentemente la deforestación en los alrededores (Botero, 2018; Saavedra et al., 2022).

Las políticas agrarias o de tierras asociadas con incentivos perversos es una causa indirecta con respecto a la adjudicación ilegal de terrenos baldíos, ya sea por personas naturales o jurídicas, dándose en pequeños agricultores y productores que contratan personal local para labores de corte y quema, siembra de pastos y establecimiento de viviendas (Botero, 2018; Saavedra et al., 2022).

Las tecnologías de producción láctea pueden ser causa indirecta al incentivar la deforestación con la construcción de corredores viales desde las veredas para la comercialización de estos productos (Revelo, 2019; Saavedra et al., 2022).

Por último están las capacidades institucionales que tienen las entidades ambientales para el control de la deforestación, teniendo a nivel regional las CAR, que pueden verse inmersas en acciones fraudulentas y a su vez afectar a su territorio a cargo al tener mayores indicios de tala ilegal; a nivel intraurbano, los POT, que definen áreas de protección basadas en la Estructura Ecológica Principal y los POMCAS, cuyo suelo suele competir con el suelo urbano que no valora su función ecológica y lo destina para usos de vivienda o informal, por lo que se desencadenan conflictos de uso del suelo (Maldonado, 2005; Saavedra et al., 2022).

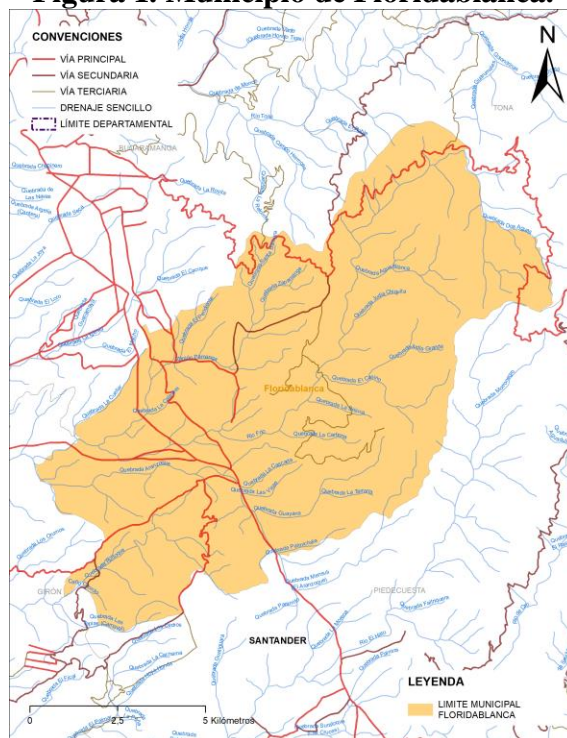
5.2.4 *Cambio de cobertura y uso del suelo*

Para aclarar, el suelo es un capital natural en donde se desarrollan actividades económicas, sociales, ecológicas, entre otras actividades humanas (Dampha, 2021). La cobertura terrestre es una capa de suelo y biomasa que puede incluir objetos naturales y artificiales que cubren su superficie, y el uso del suelo es la finalidad de la explotación humana de esa cubierta, por ejemplo, la agricultura y la construcción de edificaciones (Fresco, 1994; Latip et al., 2022). Ahora, los cambios de la cobertura terrestre y de uso del suelo, sea natural o por actividades antropogénicas, están relacionados con las decisiones del hombre a llevar a cabo, lo que puede evidenciarse en la rápida urbanización ocurrida en el mundo en las últimas décadas (Glaeser y Kahn, 2004; Koomen et al., 2008; Brueckner, 2009; Abdulkareem et. al, 2019), contribuyendo a que estos procesos sean la fuerza principal para que suceda el cambio (Barlow et al. 2016; Bruijnzeel, 2004; Islam et al. 2017; Rawat y Kumar 2015; Tsegaye et al. 2010, Dinka y Chaka, 2019). Además, estos sucesos han contribuido de forma importante en el cambio del medio ambiente (Perring et al., 2016; Ibarra- Bonilla et, al., 2021), estando sus efectos relacionados a procesos de fragmentación y degradación, causando la pérdida de biodiversidad en ecosistemas naturales (Adhikari y Hansen, 2018; Ibarra- Bonilla et, al., 2021). Estos cambios se han convertido en retos significativos, ya que la mayoría no están planificados y por ello, a determinado plazo, se presentan problemas ecológicos como la deforestación, (Kumar et al., 2022). Sin embargo, no todos los impactos de estas transiciones son negativos (Lambin et al., 2003; Dorocki et al. 2019; Bielecka et al., 2020), ya que pueden ser un componente clave en estrategias planificadas para el desarrollo sostenible y para la gestión y el seguimiento de recursos naturales (Kumar et al., 2022). Por ello, su comprensión y cartografía es de suma importancia para la elaboración de políticas que estén relacionadas con los procesos anteriormente mencionados (Alawamy et al., 2020).

5.3 Marco geográfico

El municipio de Floridablanca está ubicado en la Provincia de Soto, en la zona montañosa del costado occidental de la cordillera oriental, comprendiendo terrenos en el Macizo de Santander y en las zonas de las mesetas, teniendo gran variedad de flora y fauna en el lugar. Tiene una extensión de 9.879,68 hectáreas y limita al norte con los municipios de Bucaramanga y Tona, al oriente con los municipios Tona y Piedecuesta, al sur con el municipio de Piedecuesta y al occidente con los municipios Girón y Bucaramanga, además, junto con los municipios de Girón, Bucaramanga, y Piedecuesta forman el AMB (Alcaldía de Floridablanca, 2018).

Figura 1. Municipio de Floridablanca.



Nota: Elaboración propia con datos IGAC, 2022.

5.4 Marco legal

5.4.1 Contexto internacional

Tabla 1.

Legislación internacional frente a la deforestación.

Norma adoptada	Acuerdo	Descripción
Ley 165 de 1994	Convenio sobre la diversidad Biológica	Establece los mecanismos y los porcentajes para la distribución de las regalías que se pagan por la explotación de los recursos naturales no renovables, como el petróleo, el gas y el carbón.
2014	Declaración de Nueva York sobre los bosques	Reducir a la mitad la pérdida de bosques naturales a nivel mundial para el año 2020, mientras que para el año 2030 se concentran los esfuerzos en lograr la meta de deforestación neta cero.
Ley 1753 de 2015	ODS	Establece medidas para el control de la deforestación en Colombia. Aunque esta ley no fue adaptada específicamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el medio ambiente, como el ODS 13 (acción por el clima) y el ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres), su implementación puede contribuir indirectamente al cumplimiento de estos objetivos.
2017	Alianza por los Bosques Tropicales (TFA)	Establecer convenios con empresas del sector privado con el fin de regular y evitar la deforestación resultante de la explotación de productos agropecuarios.

Nota: Adaptación CONPES 4021. Política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques, 2020.

5.4.2 Contexto nacional

Tabla 2.

Legislación nacional frente a la deforestación.

Norma	Descripción	Aplicación
Decreto 2278 de 1953	Establece que las zonas forestales protectoras incluyen pendientes, cabeceras y márgenes de ríos, manantiales y otras fuentes de agua, entre otras áreas que requieren protección.	Limita la acción humana en los bosques que protegen las laderas y las fuentes de agua.

Decreto Ley 2811 de 1974	Regula la gestión y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente en Colombia.	Regular el uso de los recursos naturales renovables y proteger el medio ambiente. Esta ley establece normas específicas para la protección y gestión de los bosques y sus recursos. El Título 3 de esta ley se enfoca en definir y regular las áreas forestales, incluyendo su aprovechamiento sostenible, investigación y manejo sostenible.
Ley 1753 de 2015	ODS	Establece medidas para el control de la deforestación en Colombia. Aunque esta ley no fue adaptada específicamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el medio ambiente, como el ODS 13 (acción por el clima) y el ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres), su implementación puede contribuir indirectamente al cumplimiento de estos objetivos.
Ley 139 de 1994	Establece disposiciones para la conservación de la diversidad biológica y el uso sostenible de los recursos naturales renovables en Colombia.	Propone la implementación del CIF para bosques naturales como una medida para incentivar la conservación y mantenimiento de servicios ambientales. Sin embargo, dicho incentivo aún no ha entrado en vigor.
Decreto 2041 de 2014	Reglamenta las especificaciones, requisitos y actividades sujeto de licenciamiento ambiental.	Garantiza la imposición de restricciones, previene la degradación y establece las responsabilidades para solicitar estudios, alternativas, acciones de mitigación y planes de manejo que prevengan la afectación o eliminación de ecosistemas forestales de gran importancia ecológica.
Decreto 1076 de 2015	Establece las disposiciones reglamentarias para la gestión ambiental en el país. Este decreto aborda temas como la licencia ambiental, el plan de manejo ambiental, la evaluación y seguimiento ambiental, entre otros.	Recopila y sintetiza todas las normas ambientales existentes hasta la fecha, que se derivan de las leyes ambientales. En cuanto a la regulación forestal, el decreto establece normas para los bosques, los recursos forestales, la flora silvestre y la biodiversidad.

Nota: Adaptación CONPES 4021. Política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques, 2020.

6 Metodología

6.1 Línea de investigación

Este estudio sigue la línea de investigación experimental, ya que se busca determinar relaciones de causa - efecto con respecto al fenómeno de la deforestación, teniendo en un inicio

el material de control como la información documental del diagnóstico del territorio de la zona de estudio, Luego, al tener conocimiento del área, se aplican métodos de análisis espacial para un periodo determinado de tiempo, en este caso, los últimos 20 años, siendo este el sujeto experimental. Posteriormente se evaluará la dinámica histórica a partir de clasificaciones supervisadas que representen el municipio y que definirán datos numéricos a partir de las matrices de transición, con lo que será posible determinar las variables que tienen mayor incidencia en la deforestación de Floridablanca (Tamayo, 2009).

6.2 Procedimiento metodológico

Inicialmente, se descargaron tres imágenes satelitales en formato *.tif, una para cada periodo de estudio, del USGS, correspondientes a la Colección Landsat 2 Nivel 1, de los conjuntos de datos de Landsat 7 ETM+ y Landsat 8-9 OLI/TIRS, teniendo entonces las siguientes fechas de toma:

Tabla 3.

Fechas de toma de imágenes satelitales utilizadas para el estudio.

Periodo de estudio	Fecha de toma	Satélite fuente
2003	04/01/2003	Landsat 7 (1999 – Actualidad)
2015	04/01/2015	Landsat 8 (2013 – Actualidad)
2023	27/01/2023	Landsat 9 (2021 – Actualidad)

Nota: Elaboración propia a partir del USGS.

Luego se realizó el diagnóstico ambiental, social y económico del municipio, de acuerdo con la información documental y espacial proporcionada por los instrumentos de ordenamiento territorial, con el fin de tener conocimiento del estado de las áreas naturales presentes en Floridablanca, actualidad de la demografía y las actividades que realizan allí.

Teniendo el contexto, en el software ArcGIS Pro 3.0, se efectuó la superposición de las bandas multiespectrales, con la misma resolución espacial, guardando el resultado en formato *.tif para

ser procesado en ERDAS Imagine 2014. En este software, el archivo obtenido fue re-proyectado al sistema de referencia espacial UTM y Datum WGS 84 UTM Zone 18N EPSG 32618, cambiando en el mismo proceso el tamaño del píxel de salida a 15 metros. Después, se realizó el re-escalamiento de la imagen, de 16 bits a 8 bits. Para terminar el procesamiento de la imagen, esta se recortó en forma rectangular para abarcar la extensión del municipio y posteriormente se fusionó con la banda pancromática. Se realizó un análisis estadístico multibanda, con el fin de obtener una matriz de varianza y covarianza y una matriz de correlación, y así calcular posteriormente el OIF, que definirá la combinación de tres bandas de la imagen satelital (Acharya et al., 2018), siguiendo la siguiente fórmula matemática:

$$OIF = \frac{Std_i + Std_j + Std_k}{|Cor_{i,j}| + |Cor_{i,k}| + |Cor_{j,k}|}$$

Ec. 1

Teniendo mayor conocimiento del territorio, se procedió a realizar la clasificación supervisada de coberturas, realizada en el software ENVI 5.3, iniciando con la toma de áreas piloto (ROI), que comprenderán un tamaño de 25 píxeles por el número de bandas empleadas, este proceso de acuerdo con las clases definidas, teniendo como guía la Metodología CLC para Colombia (IDEAM, 2010). Teniendo estas muestras, se entrenó el algoritmo clasificador de Máxima Verosimilitud, escogido principalmente por su uso frecuente en la teledetección, al ser práctico y fácil de implementar (Chuvieco, 2006; Tso y Mather, 2009; Del Toro Espín et al., 2015). Cabe mencionar que se evaluaron las clasificaciones obtenidas para verificar su correspondencia con la realidad, esto mediante áreas muestrales de la imagen real, tomando de 50 a 70 puntos por clase, matrices de confusión, para analizar las relaciones múltiples entre categorías (Campbell, 1987; Bravo et al., 2022) y, derivado de esto, el índice kappa (k), que mide la diferencia entre lo observado y la realidad (Landis y Koch, 1987; Bravo et al., 2022). Con esto se determina si la

clasificación ha discriminado las clases con precisión mayor a la que hubiese tenido en una asignación aleatoria. Este proceso fue realizado en el software libre SAGA GIS 7.8.2.

Ya con ello, se analizó el cambio de coberturas, utilizando el software ArcGIS Pro 3.0, utilizando el insumo vector de la clasificación proporcionado por ENVI como resultado, extrayendo así las áreas resultantes de cada clasificación. Luego estas fueron interceptadas entre periodos para calcular las superficies de cambio entre coberturas, que fueron representadas en una matriz de transición, evaluando desde las clases del periodo inicial (ubicadas en la columna izquierda) hasta las mismas, pero del periodo final (ubicadas en la fila superior), leyéndose esta de izquierda a derecha, donde el punto de cruce entre las filas y las columnas indica el área de cambio.

Con lo obtenido del proceso anterior y el contexto frente a la deforestación del municipio, se interpretaron los resultados para tener mayor claridad de las posibles variables que tienen mayor incidencia en la ocurrencia del fenómeno de deforestación durante los 20 años de estudio en Floridablanca.

7 Resultados y análisis

7.1 Diagnóstico social, ambiental y económico de Floridablanca

El municipio de Floridablanca, ubicado en el departamento de Santander, tiene una altitud que varía entre los 1000 y los 3500 msnm (Alto El Picacho), permite la existencia de tres pisos térmicos, desde el medio o templado, el frío y el subpáramo (muy frío). Las temperaturas medias anuales ambientales van de 8°C a 23°C. Además, la distribución de las lluvias fluctúa entre los 1250 a 2000 mm anuales, determinando diferentes provincias de humedad, desde la semihúmeda hasta la superhúmeda (Alcaldía de Floridablanca, 2018).

El municipio de Floridablanca se encuentra ubicado sobre la microcuenca del río Frío (parte de la Subcuenca de río de Oro y que, a su vez, pertenece a la Cuenca del río Lebrija), la cual nace a 3.050 msnm en la divisoria de aguas de los ríos Tona y Lato, con una longitud de 30,1 km y una extensión aproximada de 11.820 ha. Se encuentra ubicada en una región montañosa de la Cordillera Oriental, costado oriental de la Subcuenca río de Oro, a alturas que varían entre 800 y 3.000 metros, precipitaciones que van de 1.000 a 2.000 mm y temperaturas que oscilan entre 10 y 25°C. La microcuenca tiene diversos climas ambientales, desde cálido semiseco hasta frío muy húmedo. En esta zona se ubica el área urbana de Floridablanca y las veredas del municipio Aguablanca, Mensulí, Altos de Mantilla, Alsacia, La Judía, Río Frío, Vericute, Guayanas, Santa Bárbara, San Ignacio y Helechales. Además, tiene como principales afluentes las Quebradas de Zapamanga, Mensulí, la Estancia, la Judía Grande y Agua Blanca. Cabe decir que la microcuenca recibe en su recorrido las aguas servidas del casco urbano de Floridablanca, tratadas en un 90% en la PTAR, pero que, al desembocar en el río de Oro, vuelven a contaminarse (Alcaldía de Floridablanca, 2018).

En el municipio de Floridablanca se encuentran dos áreas protegidas. El Parque Natural Regional (PNR) Cerro La Judía, aprobado por el Acuerdo 1167 de 2009, está localizado al oriente de los municipios de Floridablanca y Piedecuesta, en zona andina y altoandina del costado occidental de la cordillera oriental, en el nororiente de la subcuenca Río de Oro y microcuencas Río Frío-Río Lato-Río Oro Alto. Comprende territorios por encima de la cota de los 1.800 msnm hasta los 3.000 msnm, los cuales delimitan ecosistemas transformados por actividades agropecuarias y ecosistemas naturales boscosos altamente fragmentados, otros levemente intervenidos y de especial importancia ambiental al generar corrientes de agua como los ríos Frío y Lato, y la quebrada de afluentes del Río Oro. Es por ello por lo que destaca como ecosistema estratégico,

pero no sólo por su oferta natural en biodiversidad y reserva hídrica, sino también por la presión y demanda socioambiental ejercida por la población urbano-rural que se beneficia de los bienes y servicios ambientales que el parque ofrece, estando entonces zonificado en zona de preservación, zona de restauración y zona de uso público (Alcaldía de Floridablanca, 2018). La siguiente es el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) de Bucaramanga, establecido de acuerdo con el Decreto 1246 de 2013, está delimitado por la vía Palenque – Café Madrid al occidente, por el anillo vial Floridablanca - Girón al sur, por el Río Suratá al norte, y por las divisorias de aguas de las cuencas de las quebradas Zapamanga, La Iglesia, Chitota, y La Majada al oriente. Comprende una extensión de 4834,7 ha y encontrándose en altitudes de 700 a 1400 msnm. En este distrito se encuentran áreas de preservación, restauración, uso sostenible y de uso público, los cuales permiten ordenar, planificar y regular el uso y manejo de los recursos naturales y de las actividades económicas que se realizan allí, fundamentado esto bajo criterios de desarrollo sostenible, para así mantener la biodiversidad biológica, regular la oferta de bienes y servicios ambientales, controlar la erosión y regular las corrientes hídricas que nacen y cruzan el DRMI. Cabe mencionar que, esta zona, al encontrarse limitando el área urbana de Floridablanca en el costado oriental, ha sido ocupado por asentamientos urbanos que se encuentran en modalidad de ordenamiento (Alcaldía de Floridablanca, 2018).

implementación de megaproyectos ligados al sector terciario, principalmente de salud y turismo, y la saturación del suelo urbano de Bucaramanga (Alcaldía de Floridablanca, 2018).

Para el sector económico, estas se encuentran divididas de acuerdo con los sectores urbano y rural. El primero está ligado a 10 actividades que aportan significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) de Santander, siendo estas el comercio al por mayor y al por menor, industria manufacturera, alojamiento y servicio de comida, otras actividades de servicio, actividades profesionales, científicas y técnicas, construcción, transporte y comunicaciones, actividades de servicios administrativos y de apoyo actividades de atención de la salud humana y la asistencia social (Alcaldía de Floridablanca, 2018). El segundo, de acuerdo al Censo Nacional Agropecuario (CNA) de 2014, el municipio cuenta con 6.662 hectáreas de suelo rural disperso, de las cuales 3.889 son de uso agrícola, para siembra de cultivos tradicionales de arveja, cacao, café, tomate y habichuela y otros nuevos como banano, guanábana y naranja; 2.016 de uso pecuario y 756 a bosques naturales, además, el número de productores registrados es de 192 personas y la producción de bienes agroindustriales alcanza las 553 toneladas, y, por último, el 31% del suelo para este sector es utilizado adecuadamente y el 11% es subutilizado (Alcaldía municipal de Floridablanca, 2020).

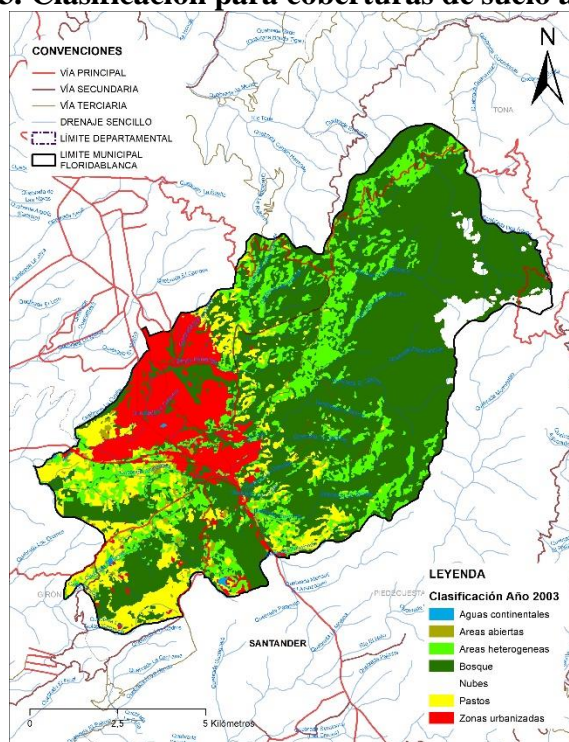
7.2 Clasificación de coberturas

Para realizar las clasificaciones, de acuerdo con la estadística multibanda aplicada a cada imagen, se determinó por el índice OIF que las combinaciones de bandas que destacan más información de las imágenes fueron para 2003 RGB (345) y para 2015 y 2023 RGB (457). Ahora, al momento de ejecutar el proceso de clasificación, fue necesario realizar determinadas fusiones con respeto a las clases del nivel 2 de la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra - Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 (IDEAM, 2010), ya

que, por ejemplo, clases como Zonas urbanizadas y Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación, eran confundidas por el algoritmo, teniendo que los píxeles tenían alta probabilidad de pertenecer a ambas categorías, y, al obtener un resultado, no quedaban correctamente clasificadas. Es entonces que se definieron las clases de Áreas heterogéneas, Áreas abiertas, Aguas continentales, Bosques, Pastos, Zonas urbanizadas, y Nubes (aplicando está solo para las imágenes de los años 2003 y 2015), teniendo las clasificaciones supervisadas para los años 2003 (Figura 3), 2015 (Figura 4) y 2023 (Figura 5), así como sus respectivas matrices de confusión (Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6).

En primera instancia, las tres clasificaciones han obtenido una precisión general y un coeficiente de kappa mayor al 90%, catalogándose por este último como casi perfectas, presentándose menor precisión en coberturas como Áreas heterogéneas, Áreas abiertas, Pastos y Zonas urbanizadas. Por otro lado, al realizar el análisis visual de las clasificaciones, se denota la predominancia del área forestal en la mayor parte del municipio para los años de estudio, teniendo también que, con respecto a 2003, se han recuperado áreas mínimas de esta cobertura. Por otro lado, se observa una transición significativa entre las coberturas Áreas heterogéneas, compuestas por cultivos, pastos y zonas naturales, y Pastos, sean estos limpios o con maleza, ocupando mayor área la primera para 2015 y 2023. Cabe mencionar que se denota mayor dispersión de estas áreas en las zonas norte y centro del municipio, a diferencia de la zona sur, donde estas se encuentran con mayor aglomeración. También destaca el crecimiento de la zona edificada y su distribución alrededor del casco urbano, ya sea por asentamientos humanos, industrias y comercios, o por la construcción de vías, como se denota en los dos últimos años de estudio. Es importante decir que las cuatro coberturas mencionadas son las que demuestran más dinámica de crecimiento y distribución espacial en el municipio.

Figura 3. Clasificación para coberturas de suelo año 2003.



Nota: Elaboración propia.

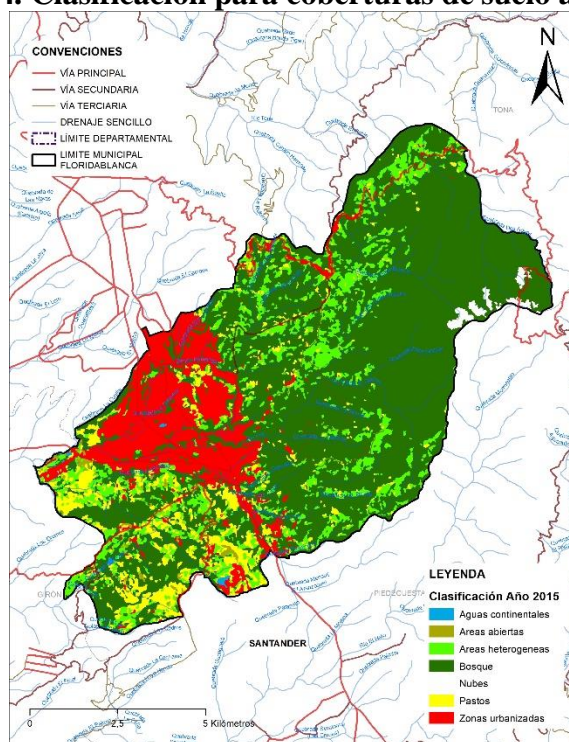
Tabla 4.

Matriz de confusión año 2003.

	Áreas heterogéneas	Bosque	Áreas abiertas	Nubes	Pastos	Zonas urbanizadas	Aguas continentales	Total usuario	Precisión usuario
Áreas heterogéneas	69	1	0	0	5	0	0	75	92,00%
Bosque	1	64	0	0	1	0	0	66	96,97%
Áreas abiertas	0	0	70	0	2	0	0	72	97,22%
Nubes	0	0	0	70	0	0	0	70	100,00%
Pastos	0	5	0	0	62	0	0	67	92,54%
Zonas urbanizadas	0	0	0	0	0	70	0	70	100,00%
Aguas continentales	0	0	0	0	0	0	70	70	100,00%
Total productor	70	70	70	70	70	70	70		
Precisión productor	98,57%	91,43%	100,00%	100,00%	88,57%	100,00%	100,00%		
Precisión general						96,94%			
Coeficiente kappa						96,43%			

Nota: Elaboración propia.

Figura 4. Clasificación para coberturas de suelo año 2015.



Nota: Elaboración propia.

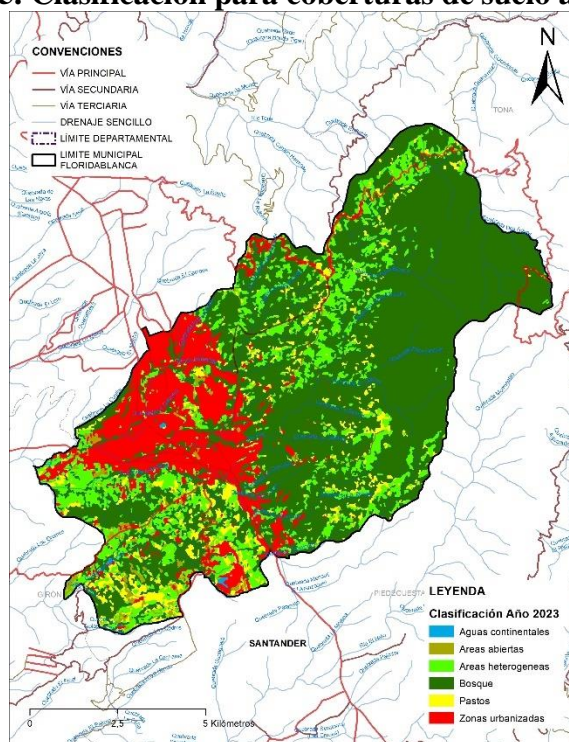
Tabla 5.

Matriz de confusión año 2015.

	Áreas heterogéneas	Bosque	Pastos	Nubes	Zonas urbanizadas	Aguas continentales	Áreas abiertas	Total usuario	Precisión usuario
Áreas heterogéneas	66	0	10	0	1	0	0	77	85,71%
Bosque	1	69	0	2	1	0	2	75	92,00%
Pastos	0	0	58	0	1	0	0	59	98,31%
Nubes	0	1	0	68	0	0	0	69	98,55%
Zonas urbanizadas	0	0	0	0	64	0	2	66	96,97%
Aguas continentales	0	0	0	0	0	70	0	70	100,00%
Áreas abiertas	0	0	0	0	3	0	66	69	95,65%
Total productor	67	70	68	70	70	70	70		
Precisión productor	98,51%	98,57%	85,29%	97,14%	91,43%	100,00%	94,29%		
Precisión general						95,05%			
Coeficiente kappa						94,23%			

Nota: Elaboración propia.

Figura 5. Clasificación para coberturas de suelo año 2023.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 6.

Matriz de confusión año 2023.

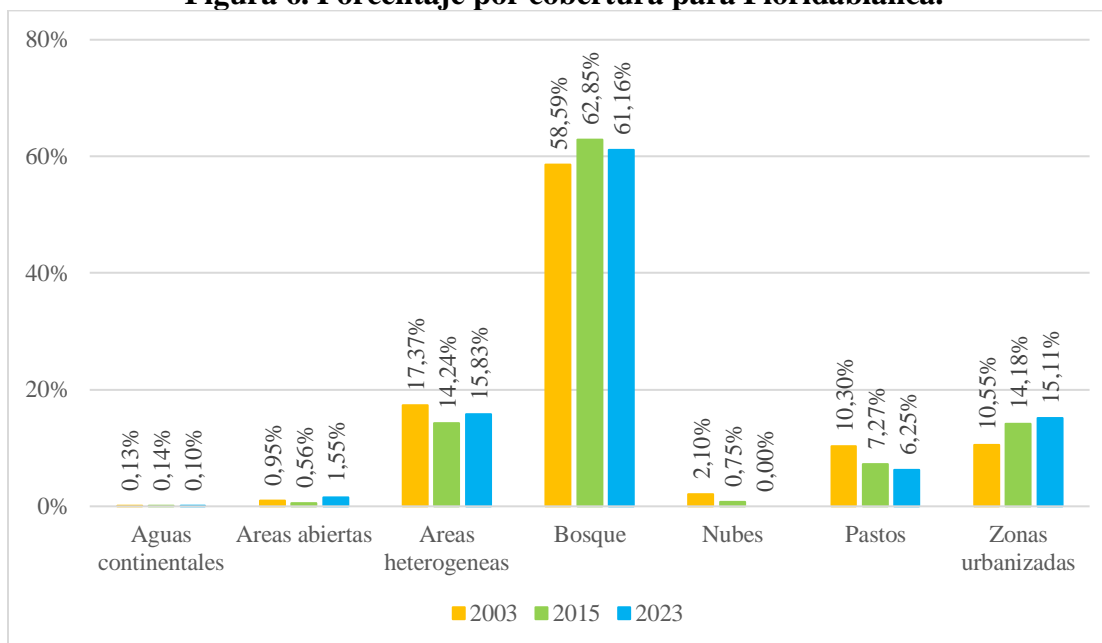
	Áreas heterogéneas	Bosque	Pastos	Zonas urbanizadas	Áreas abiertas	Aguas continentales	Total usuario	Precisión usuario
Áreas heterogéneas	57	4	0	0	0	0	61	93,44%
Bosque	0	53	0	0	0	0	53	100,00%
Pastos	0	2	59	0	1	0	62	95,16%
Zonas urbanizadas	1	0	0	55	1	1	58	94,83%
Áreas abiertas	0	1	1	5	58	0	65	89,23%
Aguas continentales	0	0	0	0	0	58	58	100,00%
Total productor	58	60	60	60	60	59		
Precisión productor	98,28%	88,33%	98,33%	91,67%	96,67%	98,31%		
Precisión general						95,24%		
Coeficiente kappa						94,29%		

Nota: Elaboración propia.

En la Figura 6 están representadas las áreas de cada cobertura para cada año en porcentaje, teniendo mayor relevancia la cobertura boscosa, denotando en primera instancia que esta llega a

ocupar ligeramente un área mayor a la mitad del total del municipio (10012,61 ha) para los 20 años de estudio, 58,59% para 2003 (5866,82 ha), 62,85% para 2015 (6293,05 ha) y 61.16% para 2023 (6123,83 ha); y que llega a tener una variación entre cada año que se puede interpretar poco relevante. Sin embargo, que demuestra que se han dado acciones de recuperación, entre 2003 y 2015, y de pérdida entre 2015 y 2023. Por otro lado, se observa que las coberturas con mayor dinámica fueron Áreas heterogéneas, Zonas urbanizadas y Pastos, la primera tendiendo a disminuir para los dos primeros periodos y recuperar territorio para el último año, la segunda disminuyendo con el paso del tiempo y la tercera con auges de crecimiento. Cabe aclarar que la presencia de nubes puede perjudicar la interpretación, por lo que es importante tener en cuenta que puede presentarse mayor o menor presencia de algunas coberturas.

Figura 6. Porcentaje por cobertura para Floridablanca.



Nota: Elaboración propia.

7.3 Matrices de transición

En este caso, los cambios de cobertura entre un periodo de tiempo se representan con matrices de transición. En la Tabla 7, se representa la transición de coberturas observada entre los años 2003 y 2015, observando que el área forestal tuvo cambios significativos hacia Áreas heterogéneas, Pastos y Zonas urbanizadas, 3,51% (343,16 ha), 2,94% (287,35 ha) y 1,60% (127,44 ha), respectivamente, del área total estudiada para este periodo (9776,06 ha).

Tabla 7.

Matriz de transición: 2003 - 2015. *

		2015							
2003	Coberturas	Aguas continentales	Áreas abiertas	Áreas heterogéneas	Bosque	Pastos	Zonas urbanizadas	Total general	
		Aguas continentales	0,09%	0,01%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,14%
		Áreas abiertas	0,00%	0,05%	0,18%	0,08%	0,15%	0,51%	0,97%
		Áreas heterogéneas	0,01%	0,16%	7,76%	6,98%	1,41%	1,46%	17,79%
		Bosque	0,00%	0,09%	3,51%	51,60%	2,94%	1,60%	59,75%
		Pastos	0,02%	0,22%	2,91%	3,42%	2,67%	1,30%	10,55%
		Zonas urbanizadas	0,02%	0,04%	0,22%	0,62%	0,27%	9,64%	10,81%
		Total general	0,14%	0,57%	14,58%	62,73%	7,45%	14,53%	100,00%

*2,36 de nubes. los valores de la cobertura de nubes se excluyen del análisis.

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 8 se representa la transición para el periodo comprendido entre 2015 y 2023, denotándose un comportamiento similar al anterior al tener que la cobertura de bosques transitó mayormente a Áreas heterogéneas, en un 3,81% (378,92 ha), seguido de Pastos, con 2,44% (242,33 ha), y Zonas urbanas, con 1,02% (71,59 ha), del representativo total de superficie estudiada de 9937,18 ha.

Tabla 8.**Matriz de transición: 2015 - 2023. ***

		2023						
	Coberturas	Aguas continentales	Áreas abiertas	Áreas heterogéneas	Bosque	Pastos	Zonas urbanizadas	Total general
2015	Aguas continentales	0,08%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,03%	0,14%
	Áreas abiertas	0,00%	0,10%	0,14%	0,02%	0,04%	0,26%	0,56%
	Áreas heterogéneas	0,01%	0,38%	8,96%	3,18%	1,09%	0,73%	14,35%
	Bosque	0,00%	0,29%	3,81%	55,77%	2,44%	1,02%	63,33%
	Pastos	0,00%	0,48%	2,63%	1,29%	2,21%	0,72%	7,32%
	Zonas urbanizadas	0,01%	0,31%	0,40%	0,62%	0,50%	12,45%	14,29%
	Total general	0,10%	1,56%	15,95%	60,88%	6,29%	15,22%	100,00%

*2,10% de nubes.

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 9, las mayores transiciones de bosque a otras coberturas entre 2003 y 2023 fueron, igual que en el caso anterior, áreas heterogéneas, con 4,10% (401,63 ha), Pastos, con 3,54% (346,57 ha), y Zonas urbanizadas, con 1,82% (178,56 ha), con respecto al área total tomada para este periodo (9802,13 ha).

Tabla 9.**Matriz de transición: 2003 - 2023. ***

		2023						
	Coberturas	Aguas continentales	Áreas abiertas	Áreas heterogéneas	Bosque	Pastos	Zonas urbanizadas	Total general
2003	Aguas continentales	0,08%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,03%	0,14%
	Áreas abiertas	0,01%	0,07%	0,21%	0,09%	0,06%	0,54%	0,97%
	Áreas heterogéneas	0,01%	0,31%	8,02%	6,53%	1,01%	1,87%	17,74%
	Bosque	0,00%	0,35%	4,10%	50,05%	3,54%	1,82%	59,85%
	Pastos	0,00%	0,64%	3,49%	3,18%	1,48%	1,73%	10,52%
	Zonas urbanizadas	0,01%	0,21%	0,34%	0,49%	0,29%	9,44%	10,78%
	Total general	0,11%	1,58%	16,15%	60,34%	6,38%	15,43%	100,00%

*0,75% de nubes.

Nota: Elaboración propia.

En general, para los tres casos se presentó el mismo comportamiento de transición de bosques a áreas heterogéneas, pastos y zonas urbanas, contando la primera con mayor área para los tres períodos. También se observa que, a pesar de la superficie boscosa que transitó, esta cobertura se mantiene predominante en el municipio, ocupando aproximadamente la mitad de este según las cifras.

7.4 Análisis y discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, para los 20 años de estudio, se denota que las coberturas de Áreas heterogéneas, Pastos y Zonas urbanizadas han ocupado parte importante del suelo del municipio. Así mismo, han influenciado la pérdida del área forestal, por lo que, derivado de esto, se identifican tres causas de la deforestación: la actividad agrícola, asociada posiblemente a la actividad ganadera, por la siembra de pastos para consumo del ganado (Corral et al. 2021), el crecimiento poblacional y la migración.

Es considerable mencionar que las clasificaciones realizadas tuvieron un grado de precisión satisfactorio, atribuyendo esto posiblemente al algoritmo clasificador de Máxima Verosimilitud, siendo uno de los más utilizados en teledetección y que ofrece resultados congruentes (Swain y Davis, 1978; del Toro, 2015).

Con respecto a las actividades productivas relacionadas con los sectores agrícola y pecuario, estas tienen un papel relevante en la economía de Floridablanca, ya que gran parte de su suelo rural (6.662 ha) está destinado a estos dos usos, 3.889 ha son de uso agrícola y 2.016 de uso pecuario, siendo destinado el 88,64% de suelo rural para uso productivo y el 11,36% restante perteneciente a áreas forestales (CNA, 2014; Alcaldía municipal de Floridablanca, 2020). Esto llega a ser una prueba de la transición significativa que ha tenido la cobertura forestal del

municipio a otras con fines productivos en los últimos 20 años, realizado principalmente para satisfacer las necesidades y deseos económicos de los habitantes, cambios que la mayoría de las veces no están planificados y conllevan a problemas ecológicos como la deforestación (Kumar et al., 2022).

También, por el análisis visual de las clasificaciones hechas, se denota mayor fragmentación de las coberturas de áreas heterogéneas y pastos en la zona oriental del casco urbano y límite norte del municipio para 2015 y 2023. Igualmente se denota menor ocupación que lo representado para el año 2003, lo cual se puede atribuir a la aplicación de las leyes ambientales relacionadas a la protección del PNR Cerro La Judía (Acuerdo 1167 de 2009) y el DRMI de Bucaramanga (Decreto 1246 de 2013), que fueron reglamentados después de este primer año de estudio, lo que posiblemente impulso a la protección, conservación y recuperación de áreas forestales. Se demuestra que, como lo mencionan Mateus (2019) y Pacheco (2021), sea a corto o largo plazo, las respuestas basadas en áreas protegidas y reservas forestales, así como el reconocimiento de derechos de tenencia de los pueblos indígenas y comunidades campesinas, han sido efectivas para frenar la deforestación, denotándose mayor control del Estado en áreas densamente pobladas y cercanas a carreteras, sin embargo, solo a un alcance más allá, en este caso, del local.

Con respecto al casco urbano y a la zona sur del municipio, se denota el aumento del área urbanizada y, con ello, el de superficie para las coberturas productivas anteriormente mencionadas, disminuyendo así, en gran medida, el área forestal, esto por cada año de estudio. Este comportamiento es atribuido principalmente al crecimiento poblacional y la migración, factores demográficos considerados variables indirectas de la deforestación que llega a influenciar: i. En la demanda de productos, en este caso, agropecuarios, ya que este aumento conlleva a mayor consumo de bienes y servicios, y, a su vez, desencadena la expansión de suelo

dedicado a actividades productivas (González et al., 2018); y ii. En la expansión del área urbana, que ha tenido gran impacto en Floridablanca, esto evidenciado en sus instrumentos de ordenamiento territorial vigentes, el PDM (Alcaldía municipal de Floridablanca, 2020) y el POT (Alcaldía de Floridablanca, 2018), donde se menciona que, dado que el municipio hace parte de la AMB, se ve influenciado por procesos de migración, principalmente desde Bucaramanga, conllevando al crecimiento poblacional y la disminución de su densidad, siendo esto último lo que ha llevado al municipio a presentar escasez frente al suelo urbano para uso habitacional, pero, aun así, siendo un destino clave por la implementación de megaproyectos ligados a la comercialización de bienes y prestación de servicios, principalmente para salud y turismo, dándose igualmente el cambio de cobertura y uso del suelo para estos fines, Así se demuestra que hay una falta importante de control sobre dicha expansión productiva y de suelo urbano en Floridablanca, a lo cual no se le está dando una respuesta efectiva, que no está siendo reforzada ni se está adaptando a los cambios que se está presentando a lo largo del tiempo, siendo esta una problemática que escala a nivel mundial (Pacheco, 2021). Por ello es importante la aplicación de estas, dándose como normativas locales, que fomenten el desarrollo sostenible, que se vean implícitas en los instrumentos de ordenamiento y que sean acordes con la normativa vigente a la que Colombia se encuentra adjudicada para disminuir la deforestación.

8 Conclusiones

Con respecto a la identificación de variables incidentes en la ocurrencia de la deforestación se determinan, para el caso del municipio de Floridablanca, como variable directa, la producción agrícola, asociada a las coberturas de Áreas heterogéneas y Pastos, e indirectas, el crecimiento poblacional y la migración, en relación con la cobertura de Zonas urbanizadas. Se evidencia, para el primer caso, que la expansión agrícola para fines productivos durante los últimos 20 años

se ha visto reducida en gran parte del territorio por la protección a las áreas naturales, pero que también se ha incrementado cerca del casco urbano. Para el segundo caso, están la expansión del área urbana y del área construida, que, en consecuencia, ha impulsado el crecimiento de áreas productivas cerca del caso. Esto demuestra que, a pesar de la normativa impuesta, a lo largo del tiempo, estas variables han estado presentes y traído consecuencias para los bosques del municipio, que, a pesar de haber disminuido para determinado tiempo, ha vuelto a aumentar, por lo que es indispensable utilizar este tipo de estudios para la toma de decisiones frente a la problemática de la deforestación, dando un enfoque local que igualmente aportará a la disminución de este fenómeno para Colombia y mejorará la calidad de vida de los habitantes impulsando el desarrollo sostenible.

De acuerdo con la clasificación supervisada realizada, se determinó que, para los tres periodos de estudio, la cobertura boscosa fue la que mayor área ocupa en el municipio (5.866,82 ha para 2003, 6.293,05 ha para 2015 y 6,123,83 ha para 2023, de 10.012,61 ha totales). Sin embargo, se denota el crecimiento de las coberturas Áreas heterogéneas, Pastos y Zonas urbanizadas, ocupando todas áreas de 3.826,84 para 2003, 3.574,03 ha para 2015 y 3.723,65 ha para 2023, las cuales pueden mostrar variación de su ocupación con el paso del tiempo pero que son influyentes en el cambio de uso y cobertura del suelo. Por otro lado, las clasificaciones fueron ciertamente acertadas con respecto a la realidad, teniendo valores de precisión general y de coeficiente Kappa superiores al 90%, por lo que los resultados presentados son una aproximación congruente con respecto a la situación geográfica de uso y coberturas de suelo del municipio para cada año de estudio.

El análisis de dinámicas históricas mediante matrices de transición ofreció resultados consistentes, al determinar que, durante los 20 años de estudio, la cobertura boscosa tuvo

transiciones significativas a coberturas como Áreas heterogéneas, Pastos y Zonas urbanizadas. Además de estar relacionado con los resultados de la clasificación realizada para cada año, también evidencia que los bosques del municipio han sido transformados para la realización de actividades productivas (variable directa), que pueden estar referidas a la suplencia de necesidades de la comunidad, y para el desarrollo urbano, esto relacionado al crecimiento poblacional y a la migración (variable indirecta). Esto puede ser confirmado por el diagnóstico realizado a partir de los instrumentos de ordenación vigentes del municipio, teniendo en cuenta igualmente que Floridablanca hace parte de un área metropolitana y que limita con la capital de esta (Bucaramanga), teniendo gran influencia en su territorio en diversos aspectos que incurren en su ordenamiento territorial.

Para finalizar, las prácticas de teledetección son de gran ayuda para realizar este tipo de análisis multitemporales, además de los procesamientos aplicados, con respecto a la clasificación supervisada y las matrices de transición, siendo herramientas que traen consigo grandes ventajas para la persona que realiza el estudio, como el ahorro en costos y en tiempo.

9 Recomendaciones

1. Si es posible, involucrar más fuentes de información para profundizar el análisis para la identificación de variables, por ejemplo, testimonios de los principales actores que estén relacionados con los problemas de la deforestación en el municipio y otros estudios realizados por entidades del sector privado
2. Con respecto a la teledetección, sería positivo implementar otras técnicas de mejoramiento de la calidad de la imagen y visualización para la posterior calificación, haciendo destacar los componentes del terreno para así elegir muestras de píxel que

puedan fácilmente diferenciarse para la elección de clases más específicas y posteriormente ejecutar el clasificador.

3. La priorización de este tipo de estudios puede ser claves para la definición de respuestas que se le puedan dar a esta problemática, por lo que sería una buena opción que los profesionales a cargo de la planeación del territorio, cuando deban hacer estudios de deforestación, los tengan en cuenta como insumo inicial al realizar el diagnóstico del territorio y luego poner en marcha su labor, verificando igualmente fuentes.
4. Tener en cuenta la implementación de la teledetección y los SIG para el desarrollo de este tipo de estudios, ya que ofrecen resultados precisos con respecto a la realidad y pueden incurrir en tiempos más cortos de realización y menores costos.

10 Referencias Bibliográficas

- Abdulkareem, J. H., Pradhan, B., Sulaiman, W. N. A., & Jamil, N. R. (2019). Prediction of spatial soil loss impacted by long-term land-use/land-cover change in a tropical watershed. *Geoscience Frontiers*, 10(2), 389–403. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.10.010>
- Acharya, T. D., Yang, I. T., & Lee, D. H. (2018). Land cover classification of imagery from landsat operational land imager based on optimum index factor. *Sensors and Materials*, 30(8), 1753–1764. <https://doi.org/10.18494/SAM.2018.1866>
- Alawamy, J. S., Balasundram, S. K., Hanif, A. H. M., & Sung, C. T. B. (2020). Detecting and analyzing land use and land cover changes in the Region of Al-Jabal Al-Akhdar, Libya using time-series landsat data from 1985 to 2017. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114490>
- Alcaldía de Floridablanca. (2018). Diagnostico Territorial Municipio de Floridablanca.
- Alcaldía municipal de Floridablanca. (2020). ACUERDO No. 003 DE 2020 Se Aprueba y Adopta El Plan de Desarrollo Unidos Avanzamos 2020-2023.
- Ansari, L., Ahmad, W., Saleem, A., Imran, M., Malik, K., Hussain, I., Tariq, H., & Munir, M. (2022). Forest Cover Change and Climate Variation in Subtropical Chir Pine Forests of Murree through GIS. *Forests*, 13(10), 1–23. <https://doi.org/10.3390/f13101576>
- Appiah Mensah, A., Akoto Sarfo, D., & Partey, S. T. (2019). Assessment of vegetation dynamics using remote sensing and GIS: A case of Bosomtwe Range Forest Reserve, Ghana. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.004>

- Barreto-Martin, C., Sierra-Parada, R., Calderón-Rivera, D., Jaramillo-Londono, A., & Mesa-Fernández, D. (2021). Spatio-temporal analysis of the hydrological response to land cover changes in the sub-basin of the Chicú river, Colombia. *Heliyon*, 7(7).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07358>
- Bielecka, E., Jenerowicz, A., Pokonieczny, K., & Borkowska, S. (2020). Land cover changes and flows in the Polish Baltic coastal zone: A qualitative and quantitative approach. *Remote Sensing*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/rs12132088>
- Bravo Olivas, M. L., Morales Hernández, J. C., Gallardo Arce, B. G., Carrillo González, F. M., & Frausto, O. (2022). Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo generado por actividades agrícolas en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, México. *Acta Universitaria*, 32, 1–18. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3618>
- Cantillo, T., & Garza, N. (2022). Armed conflict, institutions and deforestation: A dynamic spatiotemporal analysis of Colombia 2000–2018. *World Development*, 160, 106041.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.106041>
- Capitani, C., Van Soesbergen, A., Mukama, K., Malugu, I., Mbilinyi, B., Chamuya, N., Kempen, B., Malimbwi, R., Mant, R., Munishi, P., Njana, M. A., Ortmann, A., Platts, P. J., Runsten, L., Sassen, M., Sayo, P., Shirima, D., Zahabu, E., Burgess, N. D., & Marchant, R. (2019). Scenarios of Land Use and Land Cover Change and Their Multiple Impacts on Natural Capital in Tanzania. *Environmental Conservation*, 46(1), 17–24.
<https://doi.org/10.1017/S0376892918000255>
- Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS). (2020). Plan de Acción Cuatrienal “Mejor Conectados Ambientalmente” 2020-2023. 291.

- Corral Zambrano, C. A., Zambrano Solórzano, L. J., Pincay Vargas, D. M., & Calo Gómez, S. G. (2021). Impactos Ambientales Generados Por La Ganadería En La Provincia De Santo Domingo De Tsáchilas. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*. ISSN 2602-8166, 5(2), 69–78. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v4.n3.2020.255>
- Dampha, N. K. (2021). Change detection (1985-2020): Projections on land-use land cover, carbon storage, sequestration, and valuation in Southwestern Gambia. *Sustainable Environment*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311843.2021.1875556>
- Del Toro Espín, N., Gomariz-Castillo, F., Cánovas-García, F., & 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>
- Delgado-Artés, R., Garófano-Gómez, V., Oliver-Villanueva, J. V., & Rojas-Briales, E. (2022). Land use/cover change analysis in the Mediterranean region: a regional case study of forest evolution in Castelló (Spain) over 50 years. *Land Use Policy*, 114(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105967>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). Conpes 4021 - Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques. DNP Colombia, 1–110.
- Dinka, M. O., & Chaka, D. D. (2019). Analysis of land use/land cover change in Adei watershed, Central Highlands of Ethiopia. *Journal of Water and Land Development*, 41(1), 146–153. <https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0038>

- Elizalde, M. C. M., & Pascual, D. A. (2018). Land use and vegetation structure in forest remnants of fragmented landscapes in Amazonia, Colombia. *Colombia Forestal*, 21(2), 205–223. <https://doi.org/10.14483/2256201X.12330>
- Fathizad, H., Rostami, N., & Faramarzi, M. (2015). Detection and prediction of land cover changes using Markov chain model in semi-arid rangeland in western Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4805-y>
- Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible. (2022). SEGUIMIENTO DE LA PÉRDIDA DE BOSQUES Y CAMBIO DE COBERTURA EN EL ARCO DE DEFORESTACIÓN EN LA AMAZONIA COLOMBIANA (abril 2021 – marzo 2022). 3–3.
- González, J., Cubillos, A., Chadid, M., Arias, M., Zúñiga, E., Cubillos, M., Joubert, F., y Pérez, I. (2018). Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Caracterización de Causas y Agentes de la Deforestación en Colombia. FAO.
<http://www.fao.org/publications/card/en/c/I9579ES>
- González-González, A., Villegas, J. C., Clerici, N., & Salazar, J. F. (2021). Spatial-temporal dynamics of deforestation and its drivers indicate need for locally-adapted environmental governance in Colombia. *Ecological Indicators*, 126.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107695>
- Grybas, H., Congalton, R. G., & Howard, A. F. (2020). Using Geospatial Analysis to Map Forest Change in New Hampshire: 1996-Present. *Journal of Forestry*, 118(6), 598–612.
<https://doi.org/10.1093/jofore/fvaa039>

- Haq, N. ul, Rahman, F., Tabassum, I., & Mehran. (2021). Forest cover dynamics in Palas Valley Kohistan, Hindu Kush-Himalayan Mountains, Pakistan. *Journal of Mountain Science*, 18(2), 416–426. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6093-4>
- Heredia-r, M., Cayambe, J., Schorsch, C., Toulkeridis, T., Barreto, D., Poma, P., & Villegas, G. (2021). Multitemporal analysis as a non-invasive technology indicates a rapid change in land use in the amazon: The case of the itt oil block. *Environments - MDPI*, 8(12), 1–23. <https://doi.org/10.3390/environments8120139>
- Hernández-Pérez, E., García-Franco, J. G., Vázquez, G., & Cantellano de Rosas, E. (2022). Land-use change and landscape fragmentation in central Veracruz, Mexico (1989–2015). *Madera y Bosques*, 28(1), 1–22. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812294>
- Hossain, M. S., Khan, M. A. H., Oluwajuwon, T. V., Biswas, J., Rubaiot Abdullah, S. M., Tanvir, M. S. S. I., Munira, S., & Chowdhury, M. N. A. (2023). Spatiotemporal change detection of land use land cover (LULC) in Fashiakhali wildlife sanctuary (FKWS) impact area, Bangladesh, employing multispectral images and GIS. *Modeling Earth Systems and Environment*. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01653-7>
- Ibarra-Bonilla, J. S., Villarreal-Guerrero, F., Prieto-Amparán, J. A., Santellano-Estrada, E., & Pinedo-Alvarez, A. (2021). Characterizing the impact of Land-Use/Land-Cover changes on a Temperate Forest using the Markov model. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 1013–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.11.004>
- IDEAM. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000. In *Area: Vol. TH-62-04-1 (Issue 257)*.

- Jaque Castillo, E., Ojeda, C. G., & Fuentes Robles, R. (2022). Landscape Fragmentation at Arauco Province in the Chilean Forestry Model Context (1976–2016). *Land*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/land11111992>
- Koranteng, A., Adu-Poku, I., & Zawila-Niedwiecki, T. (2019). Landuse and land cover dynamics in the Volta River Basin surrounding APSD forest plantation, Ghana. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 61(1), 78–89. <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0008>
- Kumar, S., Singh, V., & Saroha, J. (2022). Interpretation of land use/land cover dynamics with the application of geospatial techniques in sarbari khad watershed of Himachal Pradesh, India. *GeoJournal*, October. <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10769-3>
- Latip, N. A., Steven, S. R., Rashid, R., Karim, R., Umar, M. U., Hussin, R., Yusoh, M. P., Stephen, J., Andin, C., & Kanyo, N. I. (2022). Change of Forest Land Use Based on Conservation Policy and Practice: a Case Study in Danum Valley, Malaysia. *Planning Malaysia*, 20(4), 47–57. <https://doi.org/10.21837/pm.v20i23.1150>
- Maciel, A. L., Alves, D., & Sant'Anna, S. (2021). Analysis of deforestation and regeneration processes in conservations units belong to Ribeira Valley – SP/PR, Brazil through sensing remote images classifications. *Revista Brasileira de Cartografia*, 73(1), 261–277. <https://doi.org/10.14393/rbcv73n1-55435>
- Mateus Guerrero, Y. S. (2019). La deforestación en Colombia - Propuestas para la mitigación de sus efectos. *Planeación Ambiental y Manejo de Recursos Naturales*, 1–19.
- MINAMBIENTE, & IDEAM. (2018). Estrategia integral de control a la deforestación y gestión de los bosques en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 347.

[http://www.bosquesterritoriosdevida.com/sites/default/files/Estrategia Integral de control a la Deforestacion y Gestion de los Bosques.pdf](http://www.bosquesterritoriosdevida.com/sites/default/files/Estrategia%20Integral%20de%20control%20a%20la%20Deforestacion%20y%20Gestion%20de%20los%20Bosques.pdf)

Morante-Carballo, F., Bravo-Montero, Lady, Carrión-Mero, P., Velastegui-Montoya, A., & Berrezueta, E. (2022). Forest Fire Assessment Using Remote Sensing to Support the Development of an Action Plan Proposal in Ecuador. *Remote Sensing*, 14(8), 1–26. <https://doi.org/10.3390/rs14081783>

Pacheco, P., Mo, K., Dudley, N., Shapiro, A., Aguilar, N., Ling, P., Anderson, C., & Marx, A. (2021). *Frentes de deforestación causas y respuestas en un mundocambiante - resumen*. Wwf, 12.

Pyngrope, O. R., Kumar, M., Pebam, R., Singh, S. K., Kundu, A., & Lal, D. (2021). Investigating forest fragmentation through earth observation datasets and metric analysis in the tropical rainforest area. *SN Applied Sciences*, 3(7). <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04683-5>

Reyes, D., Bone, C., Padilla-Almeida, O., Anangano, P., Guaman, S., Kirby, E., & Toulkeridis, T. (2019). Use of multitemporal indexes in the identification of forest fires - A case study of southern Chile. *2019 6th International Conference on EDemocracy and EGovernment, ICEDEG 2019*, 203–210. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2019.8734443>

Rodríguez, J. R., Aguilar-Ávila, J., Cortés, V. H. S., & Diakite, L. D. (2022). Land use change transitions in the state of Puebla (1980-2016), Mexico. *Investigaciones Geograficas*, 109. <https://doi.org/10.14350/rig.60621>

Saavedra, V., Carriazo, F., Junca, J., Puyana, R., Reyes, C., y Salazar, M. (2022). Diagnóstico y recomendaciones sobre el ordenamiento territorial en Colombia.

Salomon, W., Sikuzani, Y. U., Kouakou, A. T. M., Barima, S. S., Theodat, J. M., & Bogaert, J. (2021). Monitoring of anthropogenic effects on forest ecosystems within the municipality of Vallières in the Republic of Haiti from 1984 to 2019. *Trees, Forests and People*, 6, 100135. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100135>

Slattery, Z., & Fenner, R. (2021). Spatial analysis of the drivers, characteristics, and effects of forest fragmentation. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13063246>

Tamayo, M. (2009). Abouhamad, *Apuntes de investigación en ciencias sociales*, pág. 52. 1. *Abouhamad, Apuntes de Investigación En Ciencias Sociales*, 1–23. http://trabajodegradoucm.weebly.com/uploads/1/9/0/9/19098589/tipos_de_investigacion.pdf

Yang, Z., Li, J., Zipper, C. E., Shen, Y., Miao, H., & Donovan, P. F. (2018). Identification of the disturbance and trajectory types in mining areas using multitemporal remote sensing images. *Science of the Total Environment*, 644, 916–927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.341>

Zvobgo, L., & Tsoka, J. (2021). Deforestation rate and causes in Upper Manyame Sub-Catchment, Zimbabwe: Implications on achieving national climate change mitigation targets. *Trees, Forests and People*, 5(April), 100090. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100090>