Crecimiento urbano La Gabarra

por Miguel Y Jefrey Plata Y Fuentes

Fecha de entrega: 13-mar-2023 09:34a.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2036191331
Nombre del archivo: Plata_y_Fuentes_Crecimiento_urbano_la_Gabarra_para_turnitin.pdf (1.57M)
Total de palabras: 24948
Total de caracteres: 137708

Análisis del crecimiento urbano para la identificación de cambios del uso del suelo por medio de la teledetección, datos geográficos y demográficos. Caso de estudio corregimiento de La Gabarra entre los años 2005 a 2022

Modalidad:

Proyecto de Investigación

Miguel Angel Plata Hernández
CC 1.098.716.134
Jeffrey Alexander Fuentes Rojas
CC 1.102.372.355

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga, 05 de marzo de 2023

Análisis del crecimiento urbano para la identificación de cambios del uso del suelo por medio de la teledetección, datos geográficos y demográficos. Caso de estudio corregimiento de La Gabarra entre los años 2005 a 2022

Modalidad

Proyecto de Investigación

Miguel Angel Plata Hernández
CC 1.098.716.134
Jeffrey Alexander Fuentes Rojas
CC 1.102.372.355

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Topógrafo

DIRECTOR
Carlos Estaban Mora Chaves

Grupo de investigación – GRIMAT

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga, 05 de marzo de 2023

Nota de Aceptación

_____

_____

_____

_____

_____
Firma del Evaluador

_____
Firma del Director

DEDICATORIA

Dedico este mi mayor logró de ser ingeniero a Dios primero que todo, a mi hermana Johana quien fue la me impulsó a prepararme académicamente a través de sus consejos y apoyo, a mi hermana Katherine que desde el cielo me bendice y su espíritu está presente en cada paso que doy, a mis padres y familiares por su aliento y ánimos que me dieron para poder culminar con satisfacción mis estudios.

MIGUEL PLATA

En mi deseo con mi más profundo corazón le dedico a mi madre mi trabajo de grado quien desde el principio me alentó y me animo incondicionalmente y me ayudo en la mayor parte de mi carrera con su amor y sus palabras cuando sentía que no era capaz de hacer las cosas, este triunfo va dedicado a ella.

Quiero dedicar también este proyecto a las Unidades Tecnológicas de Santander por enseñarme todo sobre el arte de la ciencia y tecnología aplicada en la topografía, a profesores y grupo administrativo.

Dedico también este proyecto a Dios que, sin su regalo de vida, cada día no sería posible y por regalarme la oportunidad de conocer y aprender de esta gran carrera.

JEFFREY FUENTE

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis compañeros y amigos de la Unidad de Restitución de Tierras y a los docentes de las Unidades Tecnológicas de Santander, principalmente al director de proyecto, ya que, gracias al aprendizaje adquirido por parte de todos ellos a lo largo de los años, obtuve el conocimiento necesario para realizar el presente proyecto de investigación.

Gracias también nuevamente a mi hermana Johana por su esfuerzo en apoyarme y animarme a estudiar en aquel 2011 para iniciar la preparación tecnológica, agradezco a mis padres y hermanos por su aliento y confianza, a Karla por su colaboración y apoyo cada vez que la necesité, siempre fue incondicional, como también lo fueron mis antiguos jefes Miguel Saavedra e Iván Borrero quienes me brindaron flexibilidad en el trabajo para poder estudiar.

MIGUEL PLATA

Mis agradecimientos son para las Unidades Tecnológicas de Santander por brindarme el conocimiento y sus aulas para crecer como tecnólogo y de darme la oportunidad desde un principio de ser parte de esta bella carrera.

Agradezco a todo el grupo docente por compartir y enseñar cada materia en todo este ciclo, también al grupo administrativo que hizo parte de todo este proceso mil gracias.

JEFFREY FUENTES

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 11

INTRODUCCIÓN 12

1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN 15

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15
1.2 JUSTIFICACIÓN 16
1.3 OBJETIVOS 17
1.3.1 OBJETIVO GENERAL 17
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17
1.4 ESTADO DEL ARTE 18

2 MARCO REFERENCIAL 26

2.1 MARCO TEÓRICO 26
2.1.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA 26
2.1.1.1 Herramientas para la comprensión de los SIG 26
2.1.2 TELEDETECCIÓN 29
2.1.2.1 Tipos de sensores 29
2.1.2.2 Imágenes Satelitales 29
2.1.2.3 Combinación de bandas 32
2.1.2.4 Índices Espectrales 34
2.1.3 ANÁLISIS DE CAMBIO DEL USO DEL SUELO 38
2.1.3.1 Tasa de Cambio 38
2.1.3.2 Matriz de Tabulación Cruzada o de Pontius. 39
2.2 MARCO CONCEPTUAL 41
2.2.1 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS 41
2.2.1.1 Crecimiento urbano 41
2.2.1.2 Cambios de Usos del suelo 41
2.2.1.3 Coberturas de la superficie terrestre 42
2.2.1.4 Análisis Multitemporal del cambio de uso del suelo 42
2.2.1.5 Cartografía 42
2.2.1.6 Centro Poblado 42

2.2.1.7 Datos Ráster 43
2.2.1.8 Datos Vectoriales 43
2.2.1.9 Datos Demográficos 44
2.2.1.10 Datos Geográficos 44
2.3 MARCO LEGAL 44
2.3.1 LEY 388 DE 1997 44
2.3.2 LEY 70 DE 1979 45
2.3.3 LEY 1712 DE 2014 45

3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 46

4 DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO 49

4.1 LOCALIZACIÓN CORREGIMIENTO LA GABARRA 49
4.2 RECOPILACIÓN DE DATOS 50
4.2.1 FUENTES DE INFORMACIÓN E INSUMOS PARA LA INVESTIGACIÓN 50
4.2.1.1 Datos demográficos 50
4.3 FORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 53
4.4 PREPROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES 59
4.4.1 MÉTODOS PARA EL PREPROCESAMIENTO 60
4.4.1.1 Corrección Radiométrica 61
4.4.1.2 Corrección Geométrica 62
4.4.1.3 Corrección Atmosférica 63
4.5 PROCESAMIENTO 65
4.5.1 COMPOSICIÓN DE BANDAS 65
4.5.2 APLICACIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES 67
4.5.2.1 Índice de Áreas Construidas de Diferencia Normalizada (NDBI). 67
4.5.2.2 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI). 69
4.5.2.3 Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) 71
4.5.2.4 Índice de Suelo Desnudo (BSI) 73
4.5.2.5 Índice de Área construida (BU) 75

5 RESULTADOS 78

5.1 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO 78
5.1.1 TENDENCIA DE CRECIMIENTO POBLACIÓN 78
5.1.2 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN ESTIMADA PARA EL AÑO 2022 79
5.2 ANÁLISIS ESPACIAL MULTITEMPORAL 82
5.2.1 COMBINACIÓN DE ÍNDICES. 82
5.2.2 CARTOGRAFÍAS CON TABLAS DE VALORES DE ÁREAS 83

5.2.3 VARIACIÓN DE ÁREAS. 88
5.2.4 TASA DE CAMBIO. 89
5.2.5 MATRIZ DE TRANSICIÓN O DE PONTIUS. 91
5.2.6 DINÁMICA DEL CRECIMIENTO URBANO 96

6 CONCLUSIONES 99

7 RECOMENDACIONES 100

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101

16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación La Gabarra 49
Figura 2. Historial de imágenes Google Earth..... 54
Figura 3. Perímetro Urbano Corregimiento de la Gabarra con Veredas Colindantes. 55
Figura 4. Perímetro Urbano Corregimiento La Gabarra con Catastro Predial 56
Figura 5. Perímetro Urbano Corregimiento La Gabarra con Predios Colindantes 57
Figura 6. Área de Estudio Corregimiento de La Gabarra. 59
Figura 7. Combinación de bandas en cada periodo. 66
Figura 8. Ráster Multitemporal Índice NDBI 68
Figura 9. Ráster Multitemporal Índice NDVI. 70
Figura 10. Ráster Multitemporal Índice NDWI. 72
Figura 11. Ráster Multitemporal Índice BSI. 74
Figura 12. Ráster Multitemporal Índice BU. 76
Figura 13. Gráfica Tendencia de la Población por Genero 78
Figura 14. Gráfica Crecimiento de la Población a 2005 a 2018, Censos DANE. 79
Figura 15. Gráfica Crecimiento de Población y Proyección para el año 2022. 81
Figura 16. Cartografía Clasificación de Coberturas Año 2005 84
Figura 17. Cartografía Clasificación de Coberturas Año 2013 85
Figura 18. Cartografía Clasificación de Coberturas Año 2018 86
Figura 19. Cartografía Clasificación de Coberturas Año 2022 87
Figura 20. Gráfica Variación de Coberturas 88
Figura 21. Gráfica Tasas de Cambio Entre Cada Periodo 90
Figura 22. Gráfica Pérdidas y Ganancias de Coberturas Año 2005 a 2013. 92
Figura 23. Gráfica Pérdidas y Ganancias de Coberturas Año 2013 a 2018. 93
Figura 24. Gráfica Pérdidas y Ganancias de Coberturas Año 2018 a 2022. 94
Figura 25. Cartografía Multitemporal Tendencia del Crecimiento Urbano y Cambios de Cobertura 95
Figura 26. Cartografía Multitemporal Tendencia del Crecimiento Urbano y Cambios de Cobertura con Humedales 97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características sensor Aster 31
Tabla 2. Características satélite Landsat 8 32
Tabla 3. Principales combinaciones de bandas de los satélites 33
Tabla 4. Matriz de original tabulación Cruzada o Pontius 39
Tabla 5. Datos de Población Censo año 2005 51
Tabla 6. Datos de Población Censo Año 2018 52
Tabla 7. Datos de proyección municipio de Tibú periodo 2018 a 2022 53
Tabla 8. Listado de predios catastrales colindantes del perimetro urbano 57
Tabla 9. Recopilación de imágenes satelitales 60
Tabla 10. Valores ESUN para las bandas ASTER 65
Tabla 11. Coberturas objeto de la investigación 83
Tabla 12. Cuadro áreas de coberturas año 2005 84
Tabla 13. Cuadro áreas de coberturas año 2013 85
Tabla 14. Cuadro áreas de coberturas año 2018 86
Tabla 15. Cuadro áreas de coberturas año 2022 87
Tabla 16. Tasas de cambio entre cada periodo 89
Tabla 17. Matriz de transición año 2005 a 2013 92
Tabla 18. Matriz de transición año 2013 a 2018 93
Tabla 19. Matriz de transición año 2018 a 2022 94

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo analizar el crecimiento urbano en el corregimiento de La Gabarra entre los años 2005 a 2022, para llevar a cabo el proceso se empleó la técnica de la teledetección utilizando diferentes sistemas de información geográfica. La estructura de la metodología se dividió en tres fases, la primera fue la recolección de los datos demográficos y geográficos institucionales, además de imágenes satelitales, como segunda etapa se realizó un procesamiento de la información tomando como pieza fundamental el cálculo de índices espectrales para la extracción de coberturas de las superficies que fueron: NDBI y BU (Áreas Urbanas), NDVI (Vegetación), NDWI (Agua) y BSI (Suelo desnudo). Los Índices NDBI y BU fueron determinantes para identificar las áreas construidas, que son piezas claves para entender el crecimiento urbano. El método que permitió entender el comportamiento de las áreas de coberturas entre los diferentes periodos fue la utilización de la matriz de transición diseña por Pontius, que permite conocer las pérdidas y las ganancias entre cada una de ellas, asimismo con las tasas de cambio se obtuvo la variación porcentual de la superficie.

El uso de los datos demográficos del DANE relaciona la dinámica de la población con las áreas urbanas, se demuestra un comportamiento similar aplicada en gráficos y cartografías temáticas que exponen la tendencia de los cambios de la superficie causante principalmente por la acción antrópica. Finalmente se concluye el análisis de la investigación y se dictan algunas recomendaciones para personas, entes municipales y demás instituciones que requieran utilizar el presente proyecto como fuente para sus estudios.

PALABRAS CLAVE. Crecimiento urbano, índices espectrales, análisis multitemporal, teledetección y demografía

INTRODUCCIÓN

La tendencia rápida y descontrolada del crecimiento urbano a nivel global es consecuencia del aumento de las tasas de natalidad, específicamente en los países de menores ingresos, se estima que la población crezca del 56% de la totalidad Global en 2021 hasta un 68% para el año 2050 según reporte de las Organizaciones Unidades (ONU, 2022).

La expansión urbana a nivel global crece de manera acelerada sin ningún tipo de control, en el mundo los casi 1000 millones de personas que viven en situación de pobreza habitan en asentamientos informales y los conlleva a vivir en condiciones precarias en viviendas con malas condiciones poco dignas y sin acceso a los servicios públicos esenciales. Además de esto, los conflictos civiles siguen en aumento, esto sufre una alta densidad de población en las zonas urbanas. (WORLD BANK, 2022).

Un ejemplo claro de la proliferación de asentamientos informales es Colombia, esto debido al conflicto armado que ocasiona el desplazamiento forzado e implica que cientos de familias busquen refugió en las periferias de los cascos urbanos municipales o centros poblados, lo que causa una modificación del paisaje (CNMH, 2015).

La migración de venezolanos a territorio colombiano ha conllevado que gran cantidad de personas en busca de oportunidades laborales se concentren en las zonas urbanas. El negocio de la coca en el Catatumbo ha sido influyente para que los inmigrantes trabajen en este campo productivo ilegal, además de personas colombianas que se refugian como consecuencia del conflicto armado que se presenta en las zonas rurales de la región (UNODC, 2021). Estas causas han sido

variables trascendentales para entender el comportamiento del crecimiento acelerado y sin ningún tipo de control del casco urbano de La Gabarra, el cual es el objeto principal de la presente investigación.

Como insumos sociales y estadísticos se marcan unas épocas transcendentales de acuerdo a la dinámica de la población del corregimiento de La Gabarra como las que se relacionan a continuación.

En el año 2005 se aprobó la Ley 795 de 2005 Justicia y Paz, lo cual desmovilizó tropas paramilitares del corregimiento de la Gabarra, para esa misma época se realizó en el censo nacional de población y vivienda por parte del DANE. Para el año 2013 el Gobierno de Colombia y las FARC anuncia primer acuerdo de negociación en el desarrollo rural y un cese al fuego unilateral que alivia a la población y mitiga los desplazamientos en zonas rurales. En el año 2018 en él Catatumbo se presentaron conflictos entre grupos armados ilegales que causó el desplazamiento más grande de campesinos en el país. Además de lo anterior el DANE realizó su segundo censo de población y vivienda en el siglo XXI. Y como cierre de la investigación se contempla el año 2022 para analizar los factores importantes del crecimiento urbano en la actualidad.

La investigación busca analizar desde el campo de la topografía, el uso de los sistemas de información geográfica y aplicando la técnica de la teledetección, detectar los cambios del uso del suelo en diferentes periodos que marcaron una transformación en el sector y que contienen insumos importantes para entender el crecimiento urbano.

Una solución que ofrece el campo de la teledetección es detectar los cambios de cobertura por medio de imágenes satelitales aplicando el cálculo de índices

espectrales. La investigación es importante para contribuir con información acerca de la problemática de la región que pueda respaldar el trabajo de diferentes organismos ligado al monitoreo ambiental y urbanístico de la región.

La estructura y metodología del proyecto de investigación permite al observador entender el comportamiento del crecimiento urbano, la cartografía temática es importante para analizar de primera mano las situaciones de la problemática presentada de un modo multitemporal.

1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El corregimiento de La Gabarra, adscrito al municipio de Tibú - Norte de Santander en su cabecera urbana presenta un crecimiento rápido y sin control, debido a diferentes factores, uno de estos es la migración masiva de familias venezolanas y colombianas afectadas por el conflicto armado que obliga a las personas a huir de sus hogares en las zonas rurales y se vean obligadas a buscar refugio alrededor de la cabecera urbana. Según un informe de la organización de acción médico-humanitaria Médicos Sin Fronteras (MSF) en la Gabarra se conformó un asentamiento denominado “Divino Niño” de alrededor de 450 casas, invadiendo un lote en las afueras de la zona urbana. (Médicos Sin Fronteras, 2021).

El centro poblado de La Gabarra es el más cercano a los grandes cultivos de coca, esto da lugar a que gran cantidad de personas residan en el sector para trabajar en las zonas de producción de cultivos ilícitos. (Judex & Herrera, 2015).

La proliferación de los asentamientos ilegales sin ningún tipo de control en su organización ha conllevado a que familias vivan de manera ilegal en situaciones vulnerables y precarias, que sin contar con los servicios públicos esenciales afecta las necesidades básicas, que principalmente altera la salud de sus ocupantes, y amplia la problemática social en la región. (Médicos Sin Fronteras, 2021). Lo anterior nos lleva a preguntarnos desde la academia si ¿Es posible analizar el crecimiento urbano para la identificación de cambios del uso del suelo por medio de la teledetección, datos geográficos y demográficos en el corregimiento de La Gabarra entre los años 2005 a 2022?

1.2 JUSTIFICACIÓN

El municipio de Tibú actualmente adopta el plan básico de ordenamiento territorial según acuerdo No 028 del año 2000 (PBOT Tibú, 2000). El mencionado acuerdo resulta desfasado con la realidad al sentar sólidas bases de desarrollo para responder a las realidades del uso actual del suelo que surge como menester y fenómeno reciente en la región. A consecuencia de lo anterior resulta importante mencionar el artículo 28 de la ley 902 de 2004 y el artículo 2 y 3 respectivamente de la ley 388 de 1997 las cuales ilustran desde una perspectiva jurídica la importancia en cuanto a la vigencia y revisión del plan de ordenamiento territorial (Función Publica, 2004). Por medio de la teledetección y la elaboración de mapas cartográficos se visualizará de una forma clara los cambios en la estructura urbana del corregimiento La Gabarra, los resultados de esta investigación servirán de apoyo para la alcaldía municipal y demás órganos de control que hagan parte en la toma de decisiones para formular de una mejor manera el PBOT.

Relacionado a lo anterior es importante para la organización territorial el acompañamiento del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2018). La base cartográfica predial catastral del IGAC se encuentra desactualizada, tanto así que al superponer los datos de la base predial urbana no es acorde con el área que se identifica en la actualidad. Esta investigación permite obtener un soporte de dicha expansión y con la divulgación de estos resultados permitirá a la entidad analizar la realidad del territorio para futura actualización predial y delimitación de los ámbitos territoriales en la región.

Según el último censo nacional de población y vivienda del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, (DANE) en el 2018 fueron censados en el corregimiento de La Gabarra 4.986 habitantes, cifra muy diferente y variada a la presentada en el penúltimo censo, que se efectuó en el año 2005 que fue de 3.087 habitantes, lo que significa que, en el rango de los 13 años hubo crecimiento

demográfico del 62% (DANE, s.f). Estos estudios conllevan a una gran ventaja para creación metodológica del proyecto a través de la implementación del Software ArcGis, para el manejo de datos demográficos expresados en una cartografía temática que permitirá visualizar los cambios del uso del suelo y su crecimiento poblacional en una zona específica en el corregimiento de la Gabarra.

El proyecto de investigación va enfocado a crear soluciones a la problemática presentada en este sector que requiere más presencia por parte del Estado para mejorar la calidad de vida de sus pobladores que todos los días resisten y renacen ante la violencia que los agobia.

La propuesta es relevante para las UTS porque alimenta la línea de investigación de Geomática y Gestión territorial del grupo GRIMAT Grupo de investigación en medio ambiente y territorio, lo cual hace reforzar la actividad investigativa del programa académico

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar el crecimiento urbano para la identificación de cambios del uso del suelo por medio de la teledetección, datos geográficos y demográficos en el corregimiento de La Gabarra entre los años 2005 a 2022.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar información geoespacial para el análisis de cambios de uso del suelo con el uso de fotogrametría digital y teledetección.

- Realizar un análisis de los cambios de uso del suelo para la identificación de la tendencia de crecimiento del corregimiento La Gabarra por medio de herramientas de teledetección entre los años 2005 al 2022.

- Generar una cartografía temática que represente la tendencia de crecimiento del corregimiento La Gabarra con el uso de los Sistemas de Información Geográfica entre los años 2005 al 2022.

1.4 ESTADO DEL ARTE

Posteriormente, se presentan diferentes investigaciones desde el ámbito internacional, nacional y regional vinculadas con el problema de investigación, Análisis del crecimiento urbano para la identificación de cambios del uso del suelo por medio de la teledetección, datos geográficos y demográficos. Caso de estudio corregimiento de La Gabarra entre los años 2005 a 2022.

- Internacionales

Realizaron la investigación *Teledetección y SIG, Herramientas de Gestión en la adaptación al Cambio Climático, Cuenca Alta del Río Goascorán, Honduras*. Implementaron una metodología con técnicas de análisis espacial (teledetección y Sistemas de Información Geográfica), que generaron un aporte al país al presentar una clasificación ordenada de cuencas hidrográficas multiescalar, en subcuencas y microcuencas. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo, debido a la delimitación de las unidades hidrográficas que se centró en la aplicación de un Modelo Digital del Terreno (MDT) y sus derivados. Los resultados indican que entre las mejores formas de aplicar teledetección, es con análisis de datos con modelación a partir de los diferentes algoritmos derivados de fórmulas utilizadas en los ambientes técnico científico de sensores remotos, específicamente en las áreas

de tratamiento digital de imágenes, para el cálculo del río principal, en función del criterio de área drenada, lo que discrimina entre río principal y tributarios. (Corrales Andino & Ochoa López, 2017).

Para concluir los datos tomados de las cuencas a través de las imágenes y dibujando sus componentes podrán elaborar reportes monetarios del costo de las obras en caso de aumentar la red de abastecimiento respecto a un crecimiento poblacional de la zona.

Los siguientes autores con el uso de la teledetección analizaron el cambio del uso del suelo enfocado a la parte ambiental. Realizaron la investigación Análisis de imágenes Landsat para la determinación de cambios de uso del suelo en un área de preservación ambiental. Analizaron por medio del uso de la distribución de usos del suelo y su evolución más reciente en un área de preservación ambiental situada en la zona de influencia de la ciudad de Brasilia, Brasil, (Imaña-Encinas, Banks-Machado, Oliveira-Ramos, & Riesco-Muñoz, 2019).

La metodología utilizada es una poderosa herramienta son los sistemas de teledetección que se basan esencialmente en identificar y estudiar objetos a distancia a partir de la energía electromagnética que estos objetos reflejan o emiten. Los sensores remotos instalados en satélites o en otros dispositivos aéreos registran aquellas radiaciones electromagnéticas procedentes de la superficie de la Tierra que son suficientemente intensas para superar la capa filtrante que constituye la atmósfera. La muestra para la elaboración de la base cartográfica fue utilizados los archivos vectoriales del sistema cartográfico del Distrito Federal de Brasil.

Los resultados obtenidos demostraron que el uso del suelo más abundante eran las áreas de zona agrícola, seguidas en importancia por las áreas urbanas. Para su conclusión el empleo de imágenes procedentes del satélite Landsat 7 para la identificación del uso del suelo y para su asignación a clases de cobertura vegetal permiten obtener resultados suficientemente precisos.

En cuanto al siguiente estudio analiza los factores del crecimiento poblacional a través de los Sistemas de Información Geográfica. Analizaron el *Crecimiento y dispersión poblacional mediante análisis SIG en el Distrito de la Banda de Shilcayo, San Martín (2007-2017)*. El crecimiento poblacional, nos referimos al cambio en la numeración, distribución y composición de la población en un determinado lugar, estos cambios pueden ser originadas por factores biológicos como la natalidad y mortalidad o factores sociales como las migraciones. La metodología utilizada para su análisis fue mediante imágenes Landsat mediante el portal Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) Earth Explorer, Las imágenes satelitales son de los satélites Landsat 5 para el año 2007 y el Landsat 7 para el año 2017. (SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ & RÍOS-BARTRA, 2020).

En conclusión, el crecimiento poblacional está enlazada con la dispersión poblacional y entre más sea el crecimiento más se deberá necesitar acceso a una vivienda las cuales consigo se puedan construir cientos de más con usos diferentes como hospitales, colegios, centros de recreación, áreas públicas entre otros. El incremento migratorio afecta también a la expansión urbana ya que van en busca de mejores condiciones laborales, económicas y sociales.

- Nacionales

Como antecedente Nacional a nuestro proyecto de investigación relacionamos. Análisis multitemporal del crecimiento urbano en la ciudad de Popayán en el departamento del Cauca, años de 1960 a 2015. “En el casco urbano de la ciudad de Popayán se realizó el análisis multitemporal del crecimiento urbano, que implicó la identificación, análisis y procesamiento de datos analógicos y digitales con fotografías aéreas, imágenes satelitales y documentos estadísticos. Los cuales determinaron cambios en el crecimiento, desarrollo, causas y consecuencias en el tiempo y el espacio geográfico. Permitiendo generar estrategias de planificación y organización del territorio”. (Mera Garzón, 2016).

A partir de este proyecto se puede concluir que mediante un análisis demográfico se puede explicar y predecir los fenómenos y las dinámicas en el territorio urbano de la ciudad de Popayán. Con el apoyo de los sistemas de información geográfica se pueden interpretar los cambios del uso del suelo entre diferentes periodos de tiempo.

Por otra parte, el uso de la Teledetección como técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre, nos permite interpretar temas relacionados con la ecología, un ejemplo de ello es *La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión.* "La aplicación más prometedora de la teledetección, en la actualidad, en ecología se relaciona con el campo de la biodiversidad. Algunas de las principales amenazas para la biodiversidad son la fragmentación y pérdida del hábitat por la deforestación provocada por actividades humanas; lo que a su vez acelera los índices de extinción en las especies.

Sin embargo, la biodiversidad es difícil de cuantificar y medir, por lo cual la teledetección es una herramienta valiosa para las investigaciones ecológicas ya que, dadas sus características de resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal, se hace posible tratar de medir ciertas variables de biodiversidad. No obstante, los ecologistas y las agencias espaciales, en un trabajo conjunto, han definido una lista de variables esenciales con las que se pueda monitorear la biodiversidad desde el espacio". (Sánchez-Díaz, 2018).

Con la utilización de la teledetección es posible monitorear y supervisar la biodiversidad, ya sea en escalas espaciales grandes que nos permite obtener información para generar registros a menudo de las características del entorno y de sus propiedades estructurales, podemos interpretar los cambios naturales del uso del suelo o los inducidos por el ser humano. A partir de la tecnología LiDAR teledetección activa que nos permite obtener información tridimensional de las estructuras de los árboles y altura de la vegetación permite tener un mejor control en la conservación de la biodiversidad.

Con el uso de los SIG (Sistemas de Información Geográficas) es posible analizar y determinar las áreas del crecimiento urbano de un territorio con la utilización de imágenes satelitales de diferentes periodos realizando un comparativo entre ella, es así como podemos observar en el proyecto de investigación *Análisis multitemporal de la tendencia al crecimiento del casco urbano mediante el uso de teledetección y SIG. Caso de estudio municipio de San Juan de Girón Santander durante los periodos de 2006,2018.* "Un fenómeno el cual logramos encontrar de gran importancia en América latina fue el crecimiento urbano, el cual debe ser controlado por ser un problema de gran trascendencia en el sentido social. Es por tal razón que se hace un análisis multitemporal de crecimiento urbano en el municipio de Girón Santander, basándonos en el análisis comparativo de imágenes Landsat entre los años 2006-2018, mediante un proceso de clasificación supervisada con el uso del software de sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS, con el fin de identificar elementos propios de la zona urbana y finalmente determinar el área de crecimiento urbano que se ha propagado en los años ya expuestos. (Angarita Martínez, Sánchez Delgado, & Álvarez Pedraza, 2019).

Teniendo en cuenta que el municipio cada año tiende a desarrollarse y modernizarse lo que lleva a generar impactos sociales y económicos los cuales podemos analizar sobre fenómeno de crecimiento urbano, y como sabemos cada un tiempo estipulado se ajusta el Plan de ordenamiento territorial del municipio y junto los planes de desarrollo que podemos manejar para una planeación, en los que incluye nuevas zonas para el desarrollo de la ciudad y con esto propender por la calidad de vida de los habitantes".

Mediante la utilización del software ArcMap realizando una comparación de las imágenes satelitales raster de los años 2006 y 2018, se pueden obtener las áreas en donde se observa un crecimiento urbanístico y la disminución de la capa vegetal en algunas partes del municipio de San Juan de Girón. Con este análisis los investigadores proponen que se contemple este estudio en la actualización del Plan

de Ordenamiento Territorial para que haya una mejor organización en la renovación del territorio.

- Regionales

De manera interactiva por medio de SIG se puede determinar los comportamientos de conflictos sociales, el trabajo de investigación *Implementación de un sistema de información geográfica que permita detectar problemas de orden social en la circunscripción especial para la paz del Catatumbo como apoyo al Ejército Nacional*. "En el presente trabajo se trata la conflictividad social como aspecto más importante en la Circunscripción Especial para La Paz del Catatumbo, y como las afectaciones de orden social aquejan directamente a la comunidad, vale la pena resaltar que esta zona es un epicentro. del conflicto en Colombia y su condición de ser frontera con Venezuela y tener una enorme biodiversidad y gran cantidad de recursos económicos hace de esta zona aún más vulnerable; Esto provoca que la población se vea inmersa en una serie de conflictos que limitan su calidad de vida ya sea por la dificultad para llegar a la zona, sus constantes homicidios, masacres, sus extensas áreas de cultivos ilícitos y narcotráfico, la notoria presencia de grupos ilegales, entre otras afectaciones que ahí se reflejan. Estos factores de inestabilidad son tratados y analizados en el comando de inteligencia del Ejército Nacional con el fin de obtener datos veraces y concretar sobre los factores que afectan a esta zona con el fin de implementar un SIG que sea de utilidad futura para el poder y la decisión. haciendo observar comportamientos presentes dentro de la zona. Sin embargo, contando con la información y las bases de datos proporcionadas por el Ejército Nacional de Colombia se procede a la organización del mismo, enfocándonos única y exclusivamente en la zona de estudio, para ello se crea GDB (Geodatabase) con su correspondiente contenido dentro del Feature Dataset y Feature Class donde es posible demostrar las variables a utilizar, posteriormente se crea un Dashboard por medio de ArcGis en línea donde se cargan todas las

variables, con el fin de mostrar todos los datos de manera interactiva arrojándonos resultados estadísticos y visuales. Para obtener los resultados de focalización de conflictividad se hace uso del software ArcGis y sus principales herramientas, donde en colaboración con diversas fuentes oficiales de inteligencia se logra obtener conclusiones y análisis al respecto". (Lara Abello & Peraza Rodríguez, 2019).

Con la utilización de los datos que para este caso fueron suministrados por el Ejército Nacional es posible la organización de la información creando una GDB (Geodatabase) que geolocaliza el lugar de la información y un Dashboard en el sotfware ArcGis en línea, que permite visualizar estas variables estadísticas.

Mapeo y Análisis Espacial de Conflictos Territoriales para el Programa de Desarrollo con Enfoque Territorial del Catatumbo. "El presente documento expondrá una serie de mapas construidos con la información recopilada y anteriormente mencionada, con todos los estándares cartográficos proponiendo un análisis detallado de cada uno de ellos y reflejando las dinámicas que ha presenciado el PDET del Catatumbo a causa del conflicto armado de Colombia a través de estas salidas gráficas. Temáticas como cultivos ilícitos, grupos armados ilegales, desplazamiento, minas antipersona, secuestros, amenazas, entre otras situaciones de violación a los derechos humanos, serán contrastadas con aspectos geográficos, sociales y económicos de esta subregión, dando también lugar a relaciones e interpretaciones hacia aspectos medioambientales como la infraestructura petrolera, la minería, las áreas protegidas, la hidrografía o las reservas naturales con el fin de evaluar la interacción entre todos estos aspectos y así construir un diagnóstico de las dinámicas territoriales e históricas del Catatumbo". (Ramos Ramírez, 2018).

Se pudo analizar con los datos recopilados por diferentes entidades la problemática social que surge en la subregión del Catatumbo, que son tema a tratar en un escenario nacional, se pudo constatar la desigualdad, la pobreza, el trabajo ilegal, factores de violencia en lo que se destaca asesinatos, desplazamientos, despojos de tierras, amenazas, extorsiones y el narcotráfico. Con el uso del

geoprocesamiento de la información de las capas y datos estadísticos se puede comprender la realidad del territorio.

Análisis multitemporal del cambio de la cobertura boscosa del municipio El Carmen Norte de Santander entre los años 2010-2020 utilizando imágenes satelitales. Los municipios con alta densidad natural y boscosa son de gran importancia en Colombia ya que han sufrido grandes transformaciones debido a conflictos internos llevando a un mal uso del suelo y su crecimiento sin control. En el posconflicto se evidenciaron varios cambios los cuales fueron analizados mediante imágenes satelitales en los años (2010, 2015 y 2020) con sus métodos de procesamiento. En su metodología identificaron la zona de estudio y sus áreas y límites forestales de la zona, su población y crecimiento. Los análisis fueron tomados EARTH EXPLORER U.S GEOLOGICAL SURVEY(USGS) mediante el procesamiento de imágenes satelitales de los años (2010, 2015 y 2020) y consigo los Shapefiles en el Geoportal del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) que a su vez representaron la información en el Software ArcGis. (Puerto Mahecha, 2021). Una de las herramientas importantes son el análisis multitemporal mediante las imágenes Landsat que nos permite analizar los cambios e impactos de la zona. Mediante software podemos hacer los análisis de las imágenes donde nos brinda corregir nubosidades y con estas herramientas podemos corregir de manera adecuada la información. Hay que ser conscientes que debido a los análisis multitemporales nos demuestra el impacto y las afectaciones en la zona boscosa y vegetal a través de los años.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Sistemas de Información Geográfica

Los sistemas de información Geográfica comúnmente conocido por sus siglas (SIG) es una estructura que brinda información geográfica que permite analizar, administrar, integrar, organizar múltiples datos, utilizando mapas y escenas en 3D, lo que ayuda al usuario a tomar decisiones inteligentes. (ESRI, s.f).

El inicio de los SIG surgió en los años 60, cuando aparecieron los primeros ordenadores, y los primeros conceptos de la geografía a nivel computacional. El trabajo dirigido por Michael Goodchild denominado “Center for Geographic Information and Analysis” en el que centraba temas claves como la visualización espacial y el análisis geográfico, fueron impulsos para sentar las bases para el primer SIG informatizado el Sistema Canadiense de Información Geográfica innovado por Roger Tomlinson encargado de planear y desarrollar. Este sistema permite almacenar y procesar una gran cantidad de datos, lo que permitió al país de Canadá administrar de manera adecuada los usos del suelo. (ESRI, s.f).

2.1.1.1 Herramientas para la comprensión de los SIG

- **Mapa:** es la representación geográfica de las capas que incluyen los datos y el análisis espacial. Los SIG permite integrar de forma sencilla la recopilación de datos por medio de diversas aplicaciones para la obtención de salidas gráficas. (ESRI, s.f).

- **Datos:** Los datos siempre cuentan con componente geográficos como herramienta clave para en análisis espacial, estos pueden ser imágenes, características, hojas de cálculo y tablas. (ESRI, s.f).

- **Análisis Espacial:** Se puede utilizar para evaluar la capacidad y el rendimiento, estimar y predecir, interpretar y comprender, para contribuir en los nuevos conocimientos a la comprensión y la toma de decisiones. (ESRI, s.f).

- **Aplicaciones:** Son fundamentales para la elaboración de los trabajos, Los SIG actualmente funcionan en todas partes, ya sean computadores, teléfonos móviles, tabletas.

A continuación, algunas aplicaciones aplicadas a los SIG como herramientas para el análisis espacial para la organización, planeación e innovación.

- **ArgGis:** Es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir la información geográfica. Actualmente es considerada la plataforma líder para el uso de los SIG. (ESRI, s.f).

- **QGIS:** Es un software libre y de Código Abierto (FOSS), es un proyecto digital que soporta gran cantidad de datos y formatos funcionales para datos raster y vectorial. Este proyecto es impulsado por voluntarios de todo el mundo que contribuyen a nuevos códigos, corrección de errores, apoyo, soportes. Qgis brinda capacidades por medio de funciones básicas y diversos complementos que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos espaciales. (QGIS, s.f).

- **ERDAS IMAGINE**: es un software remoto utilizado principalmente para trabajar con imágenes satelitales y fotografías aéreas. Esta herramienta ayuda a simplificar la clasificación y segmentación de imágenes, usando la ortorrectificación, mosaicos, proyecciones, retroproyecciones y la interpretación. A través de sus algoritmos y funciones de procesamiento optimizan el flujo de trabajo para el ahorro de tiempo. (HEXAGON, s.f.).

- **Google Earth Engine:** se considera una plataforma a escala planetaria para en análisis de datos y ciencias de la tierra. Combina varios petabytes de las imágenes satelitales y una serie de conjunto de datos geoespaciales para detectar cambios cuantificar las diferencias en las superficies del planeta, además de mapear sus tendencias. Esta plataforma es gratuita para el uso académico y de investigación. (Google, s.f).

- **Google Earth:** Es una herramienta fundamental para la colaboración de información específica sobre un lugar, mediante el software se puede ver, comprender y tomar decisiones basadas en las ubicaciones. Es un programa intuitivo que incluye imágenes en alta resolución espacial, mapas detallados de las carreteras, representación de accidentes geográficos naturales, imágenes históricas, superficies en 3D, vistas panorámicas de las zonas mediante fotografías tomadas a pie o en vehículo que permite a las personas conocer lugares a nivel mundial sin necesidad de viajar. (Google, s.f).

- **ENVI:** es un programa en el que se puede visualizar, analizar y presentar cualquier imagen satelital. mediante herramientas avanzadas y fáciles de utilizar se pueden realizar análisis espectrales, correcciones geométricas y atmosféricas, combinaciones de bandas, cálculos de índices espectrales y

clasificaciones supervisadas, todo en base a analizar la superficie de la tierra. (L3HARRIS, s.f).

2.1.2 TELEDETECCIÓN

Es la técnica que adquiere datos de la superficie de la tierra, esto a través de diferentes sensores desde las plataformas espaciales. A partir de la interacción electromagnética entre el sensor y la superficie, se generan una serie de datos que son procesados para interpretar y obtener información de la tierra. (Instituto Geográfico Nacional, s.f).

2.1.2.1 Tipos de sensores

- **Sensores Pasivos**: evalúan los recursos naturales por medio de la percepción remota, reciben señales emitidas de forma natural y son reflejadas por objetos. Las señales son generadas a causa de la radiación natural del sol y provee buena información de los objetos de la superficie terrestre que percibe. (Morales, 2017).

- **Sensores Activos:** a diferencia del sensor pasivo, este solo emite radiación específicamente al objeto a estudiar. Esta radiación es detectada y medida por el sensor. (Morales, 2017).

2.1.2.2 Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales son generadas mediante matrices, en la que cada celda corresponde a un pixel, el tamaño dependerá de la resolución espacial del sensor utilizado. La energía electromagnética es representada por valores digitales de los

pixeles, cada uno de ellos tiene diferente tonalidad denominado Nivel Digital (ND). La cantidad de los ND dependerá de la resolución radiométrica de cada sensor, es decir si cuenta con resolución radiométrica de 8 bit, los ND varían entre 0 y 255, siendo en una escala de grises el 0 en color negro y 255 al color blanco. (Morales, 2017).

La posición de cada pixel está determinada en posición tridimensional XYZ. Su composición de colores más conocida el de falso color RGB que integra los colores Rojo, Verde y Azul. (Morales, 2017).

- **Satélite TERRA, sensor ASTER (Radiómetro Avanzado de Emisión y Reflexión Térmica Espacial).**

Las imágenes satelitales ASTER, son captadas por TERRA plataforma de la NASA. Este sensor fue puesto en órbita en el año 1999 por los Gobierno de Japón y Estados Unidos. ASTER cuenta con un ciclo de repetición cada 16 días, con ancho de barrido de 60 kilómetros y una distancia de orbitas de 172 km.
Cuenta con tres subsistemas, VNIR (región espectral del visible infrarrojo cercano), SWIR (región espectral del infrarrojo de onda corta) Y TIR (Infrarrojo Térmico). ASTER tiene la capacidad de producir imágenes estereoscópicas y modelos de elevación digital. (Morales, 2017).

Tabla 1
Características sensor Aster

Subsistema	Bandas Aster	Resolución Espectral (micrómetro)	Resolución Espacial	Resolución Radiométrica
VNIR	Banda 1 - Verde	0.52 - 0.60	15	8bits
	Banda 2 - Rojo	0.63 - 0.69		
	Banda 3N - Infrarrojo Cercano	0.78 - 0.86		
	Banda 3B - Infrarrojo Cercano	0.78 - 0.86		
SWIR	Banda 4 - SWIR 1	1.60 - 1.70	30	
	Banda 5 - SWIR 2	2.145 - 2.185		
	Banda 6 - SWIR 3	2.185 - 2.225		
	Banda 7 - SWIR 4	2.235 - 2.285		
	Banda 8 - SWIR 5	2.295 - 2.365		
	Banda 9 - SWIR 6	2.360 - 2.430		
TIR	Banda 10 - TIR 1	8.125 - 8.475	90	16bits
	Banda 11 - TIR 2	8.475 - 8.825		
	Banda 12 - TIR 3	8.925 - 9.275		
	Banda 13 - TIR 4	10.25 - 10.95		
	Banda 14 - TIR 5	10.95 - 11.65		

Fuente: Datos de la tierra (USGC, s.f).

- **Satélite Landsat 8**

El programa es administrado por la NASA y el servicio Geológico de Estados Unidos, cuenta con una serie de misiones, entre el que se destaca para el presente proyecto de investigación es el denominado Landsat 8 puesto en marcha el 11 de febrero de 2013. La imagen operacional de la Tierra (OLI) y el sensor térmico infrarrojo (TIRS) se componen de nueve bandas espectrales con resoluciones de 30 metros en las bandas del 1 al 7 y 9; en cambio la banda 8 es pancromático y su resolución es de 15 metros, cuenta también con bandas térmicas 10 y 11 son de

utilidad para proporcionar de manera precisa las temperaturas de la superficie, esta resolución es de 100 metros. Las escenas tienen unas dimensiones de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste. (USGC, s.f).

Tabla 2
características satélite Landsat 8

Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1 - Aerosol Costero	0.43 - 0.45	30
Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
Banda 5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 -0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Pancromática	0.50 - 0.68	15
Banda 9 - Cirro	1.36 - 1.38	30
Banda 10 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 1	10.6 - 11.19	100
Banda 11 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Fuente: bandas Landsat 8 (USGC, s.f).

2.1.2.3 Combinación de bandas

El resultante de tres bandas compuestas es una imagen combinadas y dispuestas por tres canales que proyectan de la siguiente manera: Rojo (R), Verde (G) y Azul (B), esta escena RGB es emitida a color.

Tabla 3
principales combinaciones de bandas de los satélites

Combinación RGB		Aplicación principal/Descripción
ASTER	Landsat 8	
	4,3,2	Color Natural/ Es una composición que se aproxima al color real de las coberturas ante la vista humana.
3,2,1	5,4,3	Infrarrojo Color/ Esta combinación da como resultado una imagen muy similar a la tradicional fotografía aérea infrarrojo color. Es útil para estudios de vegetación, patrones de suelos, crecimiento de cultivos y monitoreo de drenajes. La vegetación saludable tiende a una apariencia rojo brillante.
3,4,2	5,6,4	Combinación útil para diferenciar tierra / agua y para destacar áreas de bosque
4,3,2	6,5,4	Análisis de vegetación.
7,3,1	7,5,3	Natural con remoción atmosférica.
7,3,2	7,5,4	Combinación de infrarrojos
7,4,2	7,6,4	Permite destacar formaciones rocosas. También útil para para distinguir áreas urbanas
7,4,3	7,6,5	Penetración Atmosférica/ Debido a que no incorpora bandas del espectro visible esta combinación reduce las influencias atmosféricas en la imagen. Es útil para estudios geológicos, así como para análisis de humedad en suelos
	7,4,2	Geología/ Permite destacar elementos geológicos
	6,5,2	Agricultura
	5,6,2	Combinación útil para distinguir vegetación saludable.
	2,6,7	Nieve y Nube.

Fuente: composición de bandas Landsat, Sentinel-2, Aster y Modis (Morales, 2017).

2.1.2.4 Índices Espectrales

Se calculan a partir de las bandas de las imágenes satelitales, estas destacan un fenómeno que está presente y otros que degradan los efectos de la imagen. El índice de vegetación mostrará la vegetación que está en color brillante en la imagen de índice mientras que el terreno yermo estará oscuro. Este cálculo también tiene algunos problemas que afecta la intensidad de las imágenes como son las sombras generadas por las colinas y valles. Los índices tratan de resaltar los colores de los objetos. Estos índices son generados mediante la sustracción y la adicción de bandas, creando una relación entre ellas. (ESRI, s.f).

Existen variedad de índices según el fenómeno que se requiera analizar, lo primero es asegurar que el sensor cuenta con las bandas adecuadas en longitud de onda y rango para que pueda ser compatible con la elección del índice. Los metadatos son importantes ya que los índices los leen para comprobar el nombre de las bandas (ESRI, s.f). Mediante una calculadora ráster se realizará de forma automática.

- **Índice NDBI**

El Índice de Construcción de Diferencia Normalizada (NDBI) automatiza el mapeo de las áreas construidas en una zona de estudio, esto sucede ya que por medio de una respuesta espectral única de las áreas que se encuentran edificadas y con cubiertas terrestres, estas se mapean mediante “la manipulación aritmética del Índice de vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) recodificado y las imágenes NDBI derivadas de las imágenes TM”. (J, Y, & S, 2003). A continuación, se presenta la siguiente ecuación para el cálculo del índice (1).

Formula general para el cálculo NDBI

$$NDBI = \left(\frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}\right) \quad (1)$$

Donde:

- *NDBI*: Índice de Áreas Construidas de Diferencia Normalizada
- *SWIR*: Banda de onda corta infrarroja
- *NIR:* Banda de infrarrojo cercano.

- **Índice NDVI**

El índice de vegetación normalizado (NDVI) permite generar una imagen como biomasa relativa, aprovechando el contraste de un dataset ráster multiespectral entre dos bandas como lo son: la banda roja (RED) que absorbe el pigmento de la clorofila y la banda infrarroja cercana por la alta reflectividad del material de las plantas (NIR). Este proceso crea un dataset de única banda, dada por la densidad del vigor de la vegetación. La reflexión más alta representa la vegetación más sana, en cambio cuando las hojas tienen sed, enfermas o muertas, estas toman una tonalidad amarilla y reflejan menor cantidad en longitudes de onda cercana al infrarrojo. (ESRI, s.f).

Este índice es utilizado a nivel global para hacer seguimiento a las sequías, predicción de la producción agrícola y supervisarlas, además ayuda a predecir las zonas con mayores riesgos a incendios forestales y cartografía la desertización. (ESRI, s.f). La ecuación general para el NDVI es la siguiente (2):

Formula general para el cálculo NDVI.

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED}\right) \quad (2)$$

Dónde:

- *NDVI*: Índice de Vegetación Diferencial Normalizado
- *NIR*: Banda de infrarrojo cercano
- *RED*: Banda roja.

- **Índice NDWI**

El índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) es procedente de las imágenes ópticas, usa las ondas de infrarrojo cercano y las bandas espectrales de infrarrojo corto, esta se encuentra asociada a los contenidos de agua en la vegetación.

El Índice NDWI es de gran utilidad, vigila la salud de los cultivos, agua de embarque, la discriminación de agua. (Morales, 2017). Para hallar el respectivo índice es necesario utilizar la siguiente formula (3):

Formula general para el cálculo NDWI.

$$NDWI = \left(\frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}\right) \quad (3)$$

Donde:

- *NDWI*: Índice Diferencial de Agua Normalizado
- *GREEN*: Banda verde
- *NIR*: Banda de infrarrojo cercano

- **Índice BSI**

El índice de suelo desnudo (BSI) combina las bandas azules, roja onda corta infrarroja e infrarrojo cercano para capturar las variaciones del suelo. Las bandas infrarrojas de onda cortar y espectrales rojas son utilizadas para cuantificar la composición mineral del suelo, em cambio la banda azul y la banda de infrarrojo cercano se emplea para identificar la presencia de vegetación. El BSI es de gran uso para detectar zonas de cultivos en combinación con el índice NDVI o para detectar las zonas con suelo desnudo o tierra yerma. (Morales, 2017). Para determinar el índice BSI se realiza de la siguiente manera (4):

Formula general para el cálculo BSI.

$$BSI = \left(\frac{(RED + SWIR) - (NIR + BLUE)}{(RED + SWIR) + (NIR + BLUE)}\right) \quad (4)$$

Donde:

- *BSI*: Índice de Suelo Desnudo
- *RED*: Banda roja
- *SWIR*: Banda de onda corta infrarroja
- NIR: Banda de infrarrojo cercano
- BLUE: Banda azul.

- **Índice BU**

El índice de construcción de diferencia normalizada (BU), busca mejorar la detección de las zonas construidas, ya que el índice de acumulación de diferencia

normalizada (NDBI) todavía tiene algunas limitaciones, a pesar de que mapea las áreas urbanas construidas. Este índice se basa en mejorar el NDBI a través del uso de un enfoque de segmentación semiautomática. La principal mejoría es debido a que el enfoque NDBI propuesto separa áreas urbanas de tierra yerma y pelada hasta cierto punto. “Este método propuesto elimina la suposición original de que un valor NDBI positivo debe indicar las áreas construidas y un índice de vegetación de diferencia normalizado positivo (NDVI) el valor debe indicar vegetación. El nuevo método ha mejorado la universalidad”. (Chunyang, Peijun, Dingyong, & Yuanyuan, 2010). Para determinar el índice se utiliza a siguiente ecuación (5):

Formula general para el cálculo BSI.

$$BU = (NDBI - NDVI) \quad (5)$$

Donde:

- *BU*: Índice de área construida
- *NDBI*: El índice de áreas construidas de diferencia normalizada
- *NDVI*: El índice de vegetación diferencial normalizado.

2.1.3 ANÁLISIS DE CAMBIO DEL USO DEL SUELO

2.1.3.1 Tasa de Cambio

La tasa de cambio permite analizar la pérdida o ganancia de cobertura del uso del suelo a través de los periodos a evaluar, está es representada por porcentaje. Se utiliza la formula determinada por la FAO (1996), (6)(27).

$$t = \left(\frac{S_1 - S_2}{S_1}\right)^{1/n} \quad (6)$$

Donde:

- *t:* Es la tasa de cambio
- S_1*:* Superficie del suelo en la fecha inicial
- S_2*:* Superficie del suelo en la fecha final
- *n:* Duración del periodo evaluado.

2.1.3.2 Matriz de Tabulación Cruzada o de Pontius.

También denominada matriz de transición, esta es encarga de comparar las clasificaciones en diferentes periodos de tiempo para cuantificar las pérdidas y ganancias de cobertura. La matriz de tabulación cruzada también permite evaluar los cambios totales y netos de toda una categoría en un periodo de tiempo, con esto se pretende distinguir la transición del paisaje de forma aleatorio y sistemática. La matriz es parte fundamental para la comunidad científica para poder analizar y señalar los cambios en los paisajes de forma transitoria, este proceso es comúnmente vinculado para las investigaciones cuando se trata de analizar los cambios de la superficie terrestre. (Pontius Jr, Shusas, & McEachern, 2004).

Tabla 4
Matriz de original tabulación Cruzada o Pontius

	Time 2				Total time 1	Loss
	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4		
Time 1						
Category 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Category 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Category 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Category 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{+}	$P_{4+} - P_{44}$
Total time 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Gain	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fuente: Matriz de Pontius obtenida de articulo científico (Pontius Jr, Shusas, & McEachern, 2004).

El intercambio está definido como la perdida y ganancia de manera simultánea es una cobertura del área de estudio (Pontius Jr, Shusas, & McEachern, 2004). Se calcula dos veces el valor mínimo de las ganancias o bien dos veces el valor de las perdidas, para hallarla se calcula de la siguiente manera (7):

$$Int = 2 * \min(P, G) \quad (7)$$

Donde:

- *Int*: Intercambio
- *P*: Perdida
- *G*: Ganancia

El cambio neto es el remanente en valor absoluto de la pérdida o la ganancia de la cobertura (8):

$$Cn = |G - P| \quad (8)$$

Donde:

- *Cn:* Cambio Neto
- *P*: Perdida
- *G*: Ganancia

El cambio total es la suma de las ganancias y las pérdidas de cada categoría (9).

$$Ct = (G + P) \quad (9)$$

- *Ct:* Cambio Total
- *P*: Perdida
- *G*: Ganancia

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Definición de Conceptos

2.2.1.1 Crecimiento urbano

“Urbanización es el crecimiento físico y el cambio de extensión o magnitud de las áreas urbanas como resultado de cambios locales y globales” (Metropolis, 2011). Este fenómeno se presenta por diversas causas, entre las que destacan el crecimiento de la población, a nivel nacional la migración desde las zonas rurales hacía las zonas urbanas y a su vez la migración internacional. (DANE, 2021).

2.2.1.2 Cambios de Usos del suelo

El comportamiento de cambios de uso del suelo se debe a acciones antrópicas y biofísicas. (FAO, s.f)**.** Es de resaltar que las coberturas de la superficie terrestre y el uso de la tierra no son lo mismo, la clasificación de las coberturas terrestres con ayuda de la teledetección se puede mapear el tipo de coberturas, pero el mayor problema es mapear el verdadero uso que se le da a la tierra. Para solventar esta problemática es necesario es generar una estructura de información nacional de clasificación de usos de la tierra. (FCPF, s.f).

2.2.1.3 Coberturas de la superficie terrestre

"Unidad delimitable que surge a partir de un análisis de respuestas espectrales determinadas por sus características fisionómicas y ambientales, diferenciables con respecto a la unidad próxima" (IDEAM, 1997). La adaptación de la metodología europea CORINE Land Cover – CLC permite desde el 2004 estandarizar las coberturas terrestres en toda Colombia, esto permite que se puede unificar las metodologías con la finalidad de monitorear para que se pueda generar una información actualizada y confiable. (IDEAM, s.f).

2.2.1.4 Análisis Multitemporal del cambio de uso del suelo

El análisis multitemporal es fundamental para detectar los cambios del uso del suelo entre diferentes periodos de tiempo, identificando la evolución natural o por acción humana. Es posible detectar estos cambios mediante clasificación en imágenes satelitales de la zona a estudiar. (Ruiz, Savé, & Herrera, 2013).

2.2.1.5 Cartografía

La cartografía representa la incorporación de las áreas de terreno en los cuales se pueden identificar detalles físicos como cuerpos de aguas, curvas de nivel, redes de transporte, centro poblados, elementos artificiales, usos del suelo, etc. La cartografía básica se presenta en diferentes escalas, en Colombia la entidad competente para suministrar esta información en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (IGAC, s.f).

2.2.1.6 Centro Poblado

Es una concentración de un mínimo de 20 viviendas vecinas o adosadas entre sí, ubicadas en el interior de la zona rural principalmente en un corregimiento departamental, su abreviatura en Colombia está compuesta por las siglas “CP” otorgadas por el DANE. Está constituida en similares características a las áreas urbanas como delimitación de vías y peatonales. (DANE, s.f).

2.2.1.7 Datos Ráster

Es una matriz con celdas que corresponde a pixeles, estas se encuentran organizadas en filas y columnas, cada pixel o celda contiene información, un ejemplo es la temperatura. Los ráster se pueden presentar de muchas maneras como imágenes satelitales, fotografías aéreas, imágenes digitales o mapas escaneados. Para ejemplo en la presente investigación, el ráster es apropiado para representar cambios en una superficie, este ofrece el almacenamiento de la continuidad en la forma de la cobertura terrestre, un ráster se puede apreciar de manera temática, permitiendo clasificar de manera automática o interpretativa de forma óptica las clasificaciones del suelo. (ESRI, s.f).

2.2.1.8 Datos Vectoriales

En él se describen los datos geográficos en conjunto de puntos, línea o polígono que representan algún objeto espacial que se puede observar en un paisaje visto desde una forma planimétrica o tridimensional. Estos objetos espaciales presentan ciertas características aportadas en texto o de tipo numérico. El vector cuenta con diferentes geometrías con ubicación contenida en coordenadas X, Y y Z (opcional).

La geometría de vector punto representa un objeto espacial de un solo vértice, a diferencia de un vector de polilínea compuesta por dos o más vértices según el

quiebre de orientación, el polígono es una secuencia de vértices unidos con polilíneas. Los programas de sistemas de información geográfica agrupan estos datos vectoriales en capas, esto permite administrar los atributos en cada conjunto correspondiente para cada geometría. (QGIS, s.f).

2.2.1.9 Datos Demográficos

Es la información estadística de la población, en diferentes variables como son resultados de migraciones nacionales e internaciones, nacimientos, defunciones y demás indicadores en un territorio. (DANE, s.f).

2.2.1.10 Datos Geográficos

Es la cuantificación espacio temporal en la distribución, el estado y vínculos de los diferentes fenómenos u objetos naturales o sociales. (IGAC, 1998).

2.3 MARCO LEGAL

2.3.1 Ley 388 de 1997

Ordena a los municipios y distritos acoger un plan para el ordenamiento territorial el cual será el instrumento básico para elaborar el proceso del ordenamiento del territorio municipal.
La Ley 902 de 2004 adiciona el artículo 2 de la Ley 388 de 1997, establecer que los planes de ordenamiento territorial definan la vigencia de sus contenidos, para poder implementar proyectos de gran impacto sobre el territorio municipal o distrital. Los contenidos estructurales para un nuevo plan de ordenamiento tienen una vigencia de largo plazo, de mínimo tres periodos constitucionales de una administración municipal o distrital.

2.3.2 Ley 70 de 1979

Decreta que "La topografía es una profesión destinada a la medición, representación, configuración de accidentes, relieve y proporciones de extensiones geográficas limitadas". Solo podrá ejecutar lo anterior cuya persona que obtenga el título profesional de topógrafo, quienes los hayan obtenido mediante una institución oficial reconocida y contenga el pensum y programa académico de acuerdo a las normas establecidas por el Instituto Colombiano para el Fomento de Educación Superior (ICFES).

2.3.3 Ley 1712 de 2014

6

"Por medio de la cual se crea la Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional y se dictan otras disposiciones" conforme al principio de transparencia es la encargada de proveer la información pública, facilitar su acceso, aplicando los principios de gratuidad, celeridad y calidad. Esta ley la deben de adoptar las entidades públicas y/o territoria

3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Fase I	Actividades	Fuentes de Información		Métodos de Investigación					Herramientas	Entregables
		Primarias	Secundarias	Analítico Sintético	Inductivo-Deductivo	Experimental	Estadístico	Observación		
Recolectar información geoespacial para el análisis de cambios de uso del suelo con el uso de fotogrametría digital y teledetección.	1. Recopilar datos de información geográfica, demográfica y satelital de la zona de estudio.	*Datos Ráster (Imágenes Satelitales) *Capas Shapefile (Datos Geográficos Institucionales) *Datos Demográficos (Tablas Estadísticas del DANE)	*Artículos Científicos *Tesis *Monografías *Páginas Web empresariales e institucionales *Libros *Revistas *Periódicos *Geoportales						*Herramientas computacionales *Softwares de Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS, QGIS, Google Earth Pro). *Softwares Ofimáticos *Sistema Computaciones para datos demográficos (REDETAM)	*Insumos organizados en grupos (Satelital, Geográficos y Demográficos), para la investigación.
	2. Organizar Datos									

Fase II	Actividades	Fuentes de Información		Métodos de Investigación					Herramientas	Entregables
		Primarias	Secundarias	Analítico-Sintético	Inductivo-Deductivo	Experimental	Estadístico	Observación		
Realizar un análisis de los cambios de uso del suelo para la identificación de la tendencia de crecimiento del corregimiento La Gabarra por medio de herramientas de teledetección entre los años 2005 al 2022.	1. Generación Área de Estudio	*Datos Geográficos Institucionales (Catastro IGAC) *Imágenes Satelitales cubrimiento La Gabarra	*Artículos Científicos *Tesis *Monografías *Páginas Web empresariales e institucionales *Libros *Revistas *Geoportales *Videos Tutoriales	■	■			■	*Herramientas computacionales *Softwares de Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS, QGIS, Google Earth Pro). *Softwares Ofimáticos *Plataforma Online SIAC datos abiertos	*Cartografías *Resultados Estadísticos *Tablas Estadísticas *Graficas Estadísticas *Imágenes Ráster *Figuras
	2. Preprocesamiento Imágenes satelitales	*Imágenes Satelitales Terra (Aster) y Landsat 8			■					
	3. Procesamiento (Composición de Bandas y aplicación de índices espectrales)	*Bandas de Imágenes Satelitales			■					
	5. Análisis Demográfico (Tendencia de Crecimiento de la Población y Proyección de Población año 2022)	*Datos Estadísticos y de proyección de los Censos años 2005 y 2018 (DANE).		■	■		■			
	6. Análisis Espacial Multitemporal (Combinación de Índices, Tasa de Cambio y Matriz de Transición o de Pontius)	*Capas Vectoriales y valores de coberturas		■	■					
	7. Análisis Espacial Multitemporal (Dinámica del Crecimiento Urbano)	*Capas Vectoriales de coberturas *Capa Vectorial hídrica de humedales (SIAC)		■				■		

Fase III	Actividades	Fuentes de Información		Métodos de Investigación					Herramientas	Entregables
		Primarias	Secundarias	Analítico-Sintético	Inductivo-Deductivo	Experimental	Estadístico	Observación		
Generar una cartografía temática que represente la tendencia de crecimiento del corregimiento La Gabarra con el uso de los Sistemas de Información Geográfica entre los años 2005 al 20[redacted]	1. Elaboración de Planos Comparativos multitemporales de Cálculo de Índices Espectrales para cada periodo.	*Imágenes Satelitales Terra (Aster) y Landsat 8	*Artículos Científicos *Tesis *Páginas Web Institucionales *Geoportales		[redacted]				*Herramientas computacionales *Softwares de Sistemas de Información Geográfica (ArcGis)	*Cartografías
	2. Generación Mapas de Coberturas para cada periodo	*Capas Vectoriales de coberturas. *Capa Vectorial hídrica de humedales (SIAC)			[redacted]					
	3. Realización Cartografía multitemporal tendencia del crecimiento urbano y cambios de cobertura.				[redacted]					
	4. Realización Cartografía multitemporal tendencia del crecimiento urbano y cambios de cobertura con humedales.				[redacted]					

4 DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

La metodología empleada sigue diferentes parámetros con el fin de relacionar aspectos importantes para definir la tendencia del crecimiento urbano mediante un análisis de temporalidad, esto contempla analizar diferentes campos, como coberturas principales del área de estudio especialmente la zona urbana.

4.1 LOCALIZACIÓN CORREGIMIENTO LA GABARRA



21

Figura 1. Mapa de Ubicación La Gabarra (fuente: elaboración propia)

4.2 RECOPILACIÓN DE DATOS

Para la recolección de los datos se utilizaron fuentes de instituciones nacionales, se recopiló información del DANE (Departamento Nacional y de Estadística), IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) e internacional como el USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos).

4.2.1 Fuentes de información e insumos para la investigación

Se utilizaron artículos científicos, libros, investigaciones y documentos y videos tutoriales basados en teledetección, sistemas de información geográfica y datos de población que sirvieron de apoyo para la preparación de la estrategia del plan de desarrollo del proyecto.

Con el uso de diferentes softwares como Google Earth para definir el área de estudio, Qgis para pre procesar imágenes satelitales descargadas de la plataforma Earth Explorer de la USGC, ArcGIS para el procesamiento y elaboración de la cartografía, y herramientas ofimáticas para la creación de gráficos, tablas e informes.

4.2.1.1 Datos demográficos

Es indispensable hablar de cambios de uso de suelo urbano realizando un comparativo de la tendencia en el crecimiento poblacional entre diferentes periodos para analizar su comportamiento. En base a lo anterior se recopilaron los siguientes datos estadísticos de población del DANE, inicialmente fueron consultadas y obtenidas las estadísticas de datos de población a nivel de centro poblado correspondiente para el casco urbano del corregimiento de La Gabarra.

Tabla 5
Datos de Población Censo año 2005

Edad en grupos quinquenales	**Sexo**		
	Hombre	Mujer	**Total**
0 a 4 años	275	214	489
5 a 9 años	227	196	423
10 a 14 años	206	195	401
15 a 19 años	162	136	298
20 a 24 años	155	104	259
25 a 29 años	118	120	238
30 a 34 años	107	117	224
35 a 39 años	93	79	172
40 a 44 años	79	86	165
45 a 49 años	69	65	134
50 a 54 años	56	39	95
55 a 59 años	38	11	49
60 a 64 años	24	17	41
65 a 69 años	36	17	53
70 a 74 años	15	13	28
75 a 79 años	3	2	5
80 años o más	9	4	13
Total	1 672	1 415	3 087

Fuente: Demografía y Población (DANE).

Tabla 6
Datos de Población Censo Año 2018

Edad en grupos quinquenales	**Sexo**		
	Hombre	Mujer	**Total**
0 a 4 años	314	283	597
5 a 9 años	268	252	520
10 a 14 años	291	250	541
15 a 19 años	307	289	596
20 a 24 años	266	274	540
25 a 29 años	241	212	453
30 a 34 años	194	176	370
35 a 39 años	167	177	344
40 a 44 años	147	114	261
45 a 49 años	99	108	207
50 a 54 años	74	83	157
55 a 59 años	87	65	152
60 a 64 años	55	46	101
65 a 69 años	35	20	55
70 a 74 años	25	11	36
75 a 79 años	25	10	35
80 a 84 años	7	8	15
85 a 89 años	4	1	5
90 a 94 años	1	-	1
95 a 99 años	-	-	0
De 100 y más años	-	-	0
Total	2 607	2 379	4 986

Fuente: Demografía y Población (DANE).

Tabla 7
Datos de proyección municipio de Tibú periodo 2018 a 2022

DP	DPNOM	DPMP	MPIO	AÑO	Área Geográfica	Total
54	Norte de Santander	54810	Tibú	2018	Cabecera Municipal	19.627
54	Norte de Santander	54810	Tibú	**2018**	**Centros Poblados y Rural Disperso**	**33.959**
54	Norte de Santander	54810	Tibú	2018	Total	53.586
54	Norte de Santander	54810	Tibú	2022	Cabecera Municipal	22.429
54	Norte de Santander	54810	Tibú	**2022**	**Centros Poblados y Rural Disperso**	**37.416**
54	Norte de Santander	54810	Tibú	2018	Total	59.845

Fuente: Demografía y Población (DANE).

4.3 FORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se determinó la zona idónea para la el análisis del proyecto investigativo, con ayuda del software Google Earth, se identificó la zona urbana del Corregimiento de La Gabarra y se realizó un análisis multitemporal que muestra el historial de imágenes satelitales que cubren los años 2005, 2016 y 2022 para la región. A partir de lo anterior fue posible comprobar visualmente hacía que dirección ha crecido el área urbana.

Se tomó de base la imagen del año 2005 con respecto al 2016 se evidencia un crecimiento urbano en sentido suroeste, y aumentan en gran proporción hacía el sur para el año 2022.



Figura 2. Historial de imágenes Google Earth (fuente: elaboración propia)

Después del anterior procedimiento mediante las capas vectoriales del IGAC descargadas desde el portal URL de Colombia en mapas, se realizó una representación gráfica entre el perímetro urbano de La Gabarra y las veredas adyacentes con el fin de verificar y estudiar la zona que abarca el proyecto.

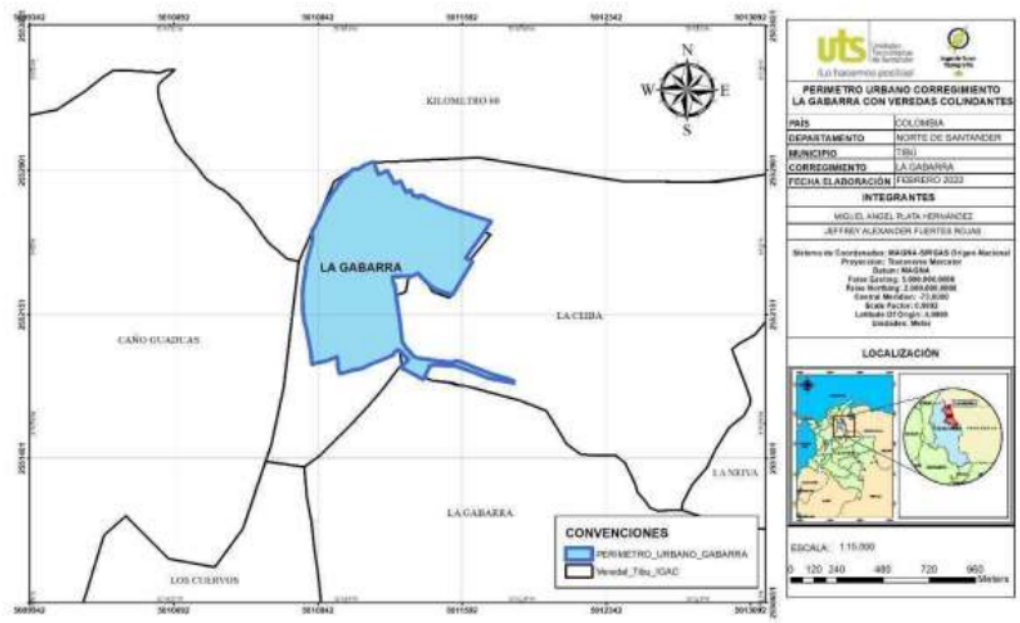

Figura 3. Perímetro Urbano Corregimiento de la Gabarra con Veredas Colindantes (fuente: elaboración propia).

En la cartografía se visualizan las veredas colindantes hacía la zona sur y oeste son extensas del tal manera que al momento de realizar el procedimiento de análisis del crecimiento, abarcaría mayores coberturas de vegetación que de construcción, la idea principal de la investigación es analizar el crecimiento urbano, en consecuencia se realiza una nueva comparación con los terrenos rurales colindantes al perímetro urbano del corregimiento para poder identificar cuáles predios tienen o tendrán afectación de esta expansión que se podría originar por algún asentamiento humano.

Se representa en una escala 1:15000 el límite perimetral con los polígonos correspondientes a los predios colindantes y cercanos.

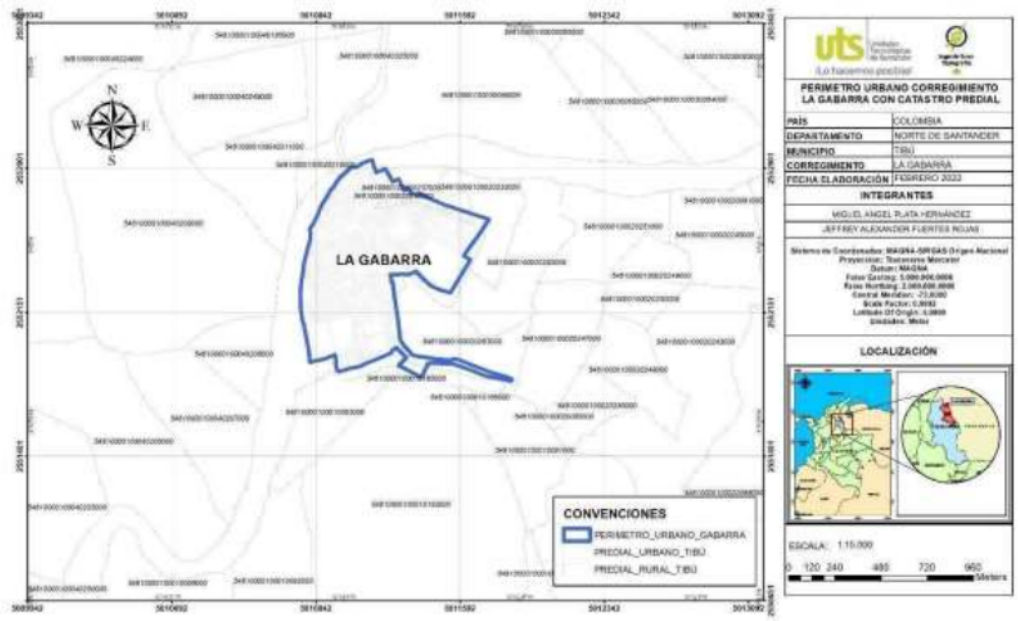

Figura 4. Perímetro Urbano Corregimiento La Gabarra con Catastro Predial (fuente: elaboración propia).

Se realiza un recorte de la capa “PREDIAL_RURAL_TIBÚ” de los predios más cercanos al límite perimetral, para los sentidos sur, suoeste y sureste, en cambio, hacía el norte, noroeste y noreste se toman algunos predios como franja para el cálculo de cobertura del Rio Catatumbo tal como se observa en la figura.

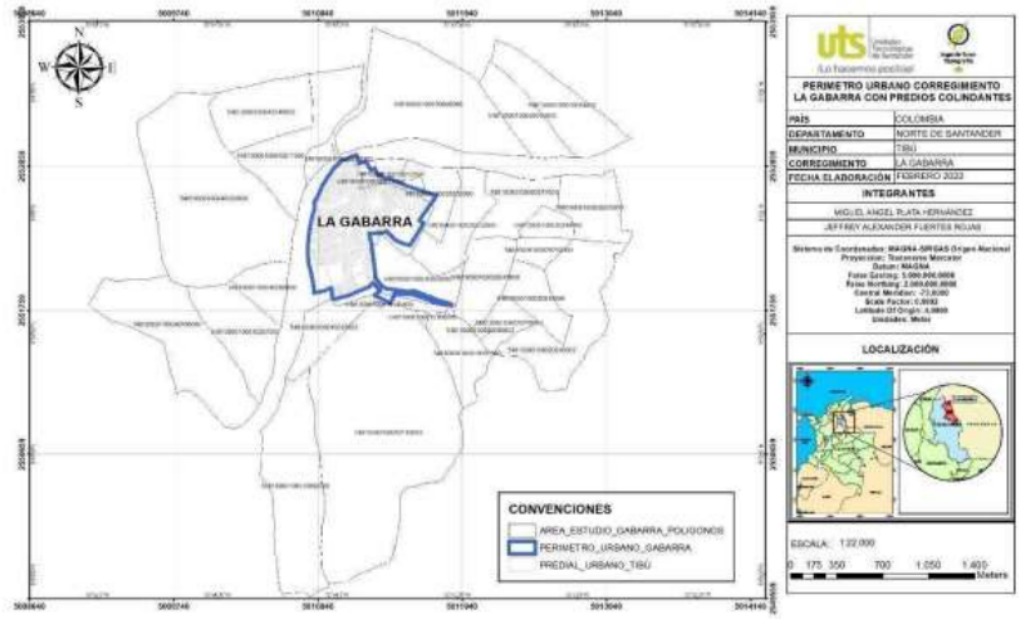

Figura 5. Perímetro Urbano Corregimiento La Gabarra con Predios Colindantes (fuente: elaboración propia).

Lista de los predios referente al catastro que abarcan la zona de estudio.

Tabla 8
Listado de predios catastrales colindantes del perimetro urbano

Código Catastral Anterior	Área Cartográfica (Ha)
54810000100040211000	38,5884
54810000100040209000	111,0973
54810000100040208000	12,6776
54810000100040206000	60,2638
54810000100040207000	31,4544

54810000100020251000	21,3082
54810000100020218000	1,4731
54810000100020237000	6,8934
54810000100020250000	16,7051
54810000100010093000	16,2966
54810000100010092000	59,7723
54810000100010183000	168,3564
54810000100030065000	20,2032
54810000100030064000	32,4039
54810000100030066000	77,4558
54810000100020253000	22,6724
54810000100020232000	13,1168
54810000100020080000	1,1236
54810000100020249000	23,0990
54810000100020247000	21,3840
54810000100020083000	21,3377
54810000100020245000	21,9504
54810000100040210000	4,2542
54810000100010091000	18,7259
54810000100010185000	0,1833
54810000100040249000	32,4119
54810000100010186000	0,7358
54810000100020243000	48,8710

Fuente: Consulta Catastral IGAC obtenida de Colombia en Mapas.

Se continua a realizar la unión de todos los predios y convertirlos a un solo polígono para así generar el área de estudio del proyecto de investigación.

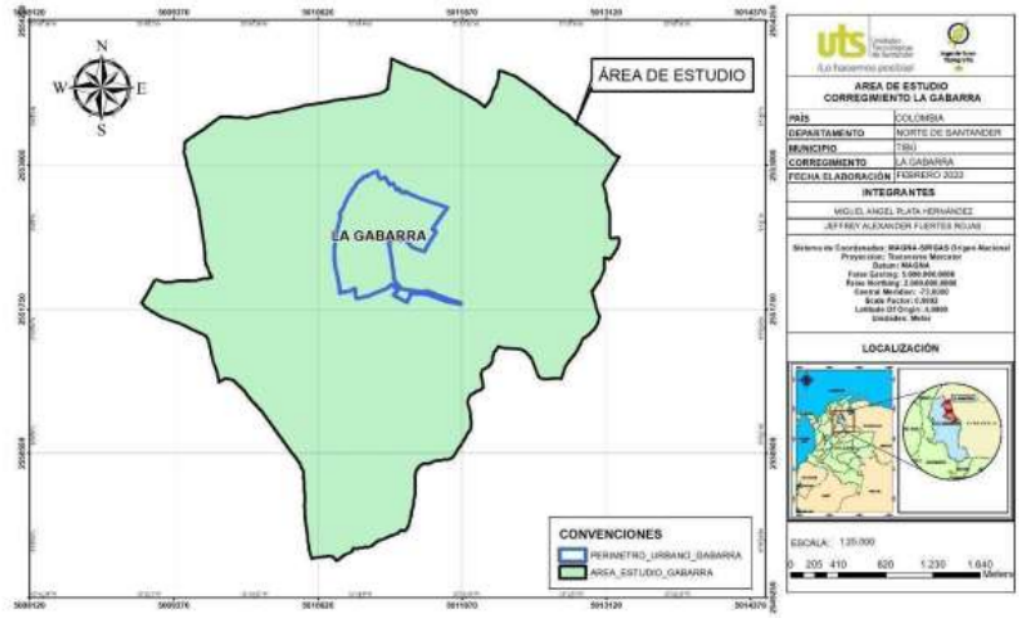

Figura 6. Área de Estudio Corregimiento de La Gabarra (fuente: elaboración propia).

4.4 PREPROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

Para la ejecución de la investigación se descargaron imágenes satelitales Landsat 8 para los años 2013, 2018 y 2022, caso distinto para el año 2005 que se utilizó Aster, debido a que en el área de estudio cubría imágenes Landsat 7 pero estas presentaron errores de bandeamiento, al realizar el método de interpolación que detecta las líneas discontinuas para interpolar valores y corregir la banda original por medio de unas máscaras. Es decir, cada producto de datos Landsat 7 Scan Line Corrector (SLC) Nivel 1 viene con archivos de máscara de apertura específicos de banda. Esta información adicional identifica la ubicación de todos los píxeles

afectados por las brechas de datos originales en la condición de SLC apagado. (USGS, s.f).

Al realizar tal procedimiento de corrección efectivamente rellena las bandas de línea vacías, pero altera la resolución de la imagen combinando los píxeles de 30 metros y de 15 metros, esto haría que no sea efectivo al momento de calcular las coberturas y el error de precisión fuera aún mayor, de tal manera se recurrió a usar imagen Aster que no cuenta con este tipo de error y se adapta para estudiar la superficie terrestre. (Morales, 2017).

Tabla 9.
Recopilación de imágenes satelitales

Satélite	Año	Fecha de Adquisición	Elevación del Sol	Nombre (Id)
Terra (Aster)	2005	30/03/2005	66,036812	AST_L1T_00303302005152215_20150508213351_50003
Landsat 8	2013	27/09/2013	64,86979946	LC08_L1TP_008054_20130927_20200913_02_T1
	2018	30/12/2018	49,07748802	LC08_L1TP_008054_20181230_20200829_02_T1
	2022	11/08/2022	62,87769181	LC09_L1TP_008054_20220811_20220811_02_T1

4.4.1 Métodos para el Preprocesamiento

Los sensores que capturan las imágenes satelitales están expuestos a una serie de interferencias asociadas a muchos factores como fallas técnicas por periodo de vida útil, derivación por las condiciones meteorológicas, todo esto conlleva a diferentes errores. Para tener un mayor éxito de buena precisión en los cálculos a realizar con las imágenes descargadas (tabla…), se realizan las diferentes correcciones necesarias para eliminar los errores presentados.

4.4.1.1 Corrección Radiométrica

La corrección radiométrica ajusta los niveles ND (niveles digitales) registrados erróneamente y el ruido presente en las imágenes adquiridas por los sensores del satélite Landsat 8. Hay muchas razones por las que representa fielmente la realidad de un campo de estudio en particular.

Las imágenes muestran valores incorrectos de los que no se puede extraer información y se representa con la nomenclatura NaN (Not a Number). Este caso puede ocurrir cuando se pierde la conexión entre la estación terrestre y el satélite durante el proceso de transmisión, almacenamiento y se desconocen algunos píxeles. Tal pérdida de información conduce a resultados inexactos en varios algoritmos alimentados a partir de estas imágenes. Por lo tanto, la información debe recuperarse utilizando diversas técnicas que pueden obtener valores alternativos que reducen la tasa de error del resultado esperado. (Morales, 2017).

Para la presente investigación, al utilizar imágenes satelitales Landsat OLI, no es necesario emplear esta corrección ya que OLI captura datos con mayor precisión radiométrica en un rango dinámico de 12 bits, lo que mejora la relación señal-ruido general. Esto corresponde a 4096 niveles de gris potenciales, en comparación con solo 256 tonos de gris en el instrumento Landsat 1-7 de 8 bits. El rendimiento mejorado de señal a ruido, permite una mejor caracterización de las condiciones y relaciones de la cobertura terrestre (USGC, s.f).

Los datos con 12 bits se escalan a enteros de 16 bits y se relacionan en productos de datos de Nivel 1. Luego estos se escalan a una escala de grises de 55 000 y se pueden volver a escalar tanto la reflectancia como la emisividad (TOA) que es la parte superior de la atmósfera, empleando escalares en el archivo (archivo MTL) correspondiente del producto radiométrico (USGC, s.f).

4.4.1.2 Corrección Geométrica

La geometría precisa garantiza la alineación de los píxeles de datos de Landsat y la facilidad de uso de los datos en el análisis de series temporales. La geometría excepcional de los datos OLI/TIRS de Landsat 8 se utiliza para mejorar la base de datos de referencia utilizada para la geolocalización precisa de todos los productos de datos de nivel 1 de Landsat. Los productos Landsat Science heredan la geometría de los datos Landsat Level-1. (USGC, s.f).
Todos los productos de datos Landsat Level-1 se crean con el mejor procesamiento posible para cada escena (USGC, s.f).

Los GCP (Ground Control Points) se definen como puntos en el suelo de referencia, especialmente en una ubicación conocida y son de utilidad para georreferenciar datos Landsat Nivel 1. Los puntos GCP realizan una mejoría actualizando sus datos cuando sea necesarios, estos se pueden descargar y utilizar como datos de referencia (USGC, s.f).

Para el caso de la imagen Aster_L1 La estructura del archivo de datos científicos el archivo AST_L1T HDF-EOS2 es correspondido de gran manera con el AST_L1B que es heredado del producto. Los datos AST_L1T imágenes de escena única multibanda en su totalidad, generado a partir de los datos AST_L1A. Todos estos datos se almacenan junto con los metadatos. (USGC, s.f).

Para el producto AST_L1T se realizan las correcciones geométricas y radiométricas en los datos de imagen AST_L1A originales. Se realiza la proyección del resultado obtenido en un mapa girado “orientada a la ruta" a la grilla de coordenadas UTM con el norte hacia arriba en resoluciones de instrumento completo. El AST_L1T es el algoritmo que usa modelos terrestres y satelitales, puntos de control (GPC) y modelos de elevación. Se asegura que todas las calibraciones y correcciones

aplicadas históricamente a los datos L1B también se aplican a la de datos AST_L1T, incluso la calibración radiométrica se basa en lo que está actualmente disponible de bases de datos radiométricas, registros de cada escena para datos SWIR y TIR, procesamiento geométrico como son para la geolocalización TIR nocturna, y correcciones para la diafonía SWIR. Para SWIR en particular, se aplican correcciones a los errores de paralaje debido a la ubicación espacial de cada una de sus zonas. Las correcciones geométricas se realizan con una nueva muestra. Los centros de escena AST_L1T se definen como el centro geodésico de la escena obtenido de SceneCenter. (USGC, s.f).

Es importante resaltar que las imágenes Aster Level 1 empleada para el año 2005 cuenta con corrección radiométrica y geométrica para su implementación en el desarrollo de la investigación.

4.4.1.3 Corrección Atmosférica

- **Corrección DOS1**

Dark Object Subtraction (DOS) es una familia de correcciones atmosféricas basadas en imágenes. Chávez (1996) explica que la suposición básica es que algunos píxeles de la imagen están completamente sombreados y la radiación del satélite se debe a la dispersión atmosférica (efecto de bruma). A partir de esta suposición y que mayor parte de los elementos de la superficie de la tierra tienen un color negro absoluto, la reflectancia es mejor que un cero por ciento siendo esta de un uno por ciento (Chávez, 1996). Por lo tanto (Sobrino, Jiménez-Muñoz, & Paolini, 2004), plantea lo siguiente para mejorar la estimación de la superficie terrestre (10):

$$L_p = L_{\min} - L_{\mathrm{DOI}\,\%} \qquad (10)$$

Donde:

- L_p: Efecto bruma
- L_p: Valor digital de la suma de todos los pixeles menores o iguales 0.01% de la imagen considerada, la radiación obtenida con ese valor de conteo digital (DN_{min}).
- $L_{DO1\%}$: Radiancia del objeto oscuro, el valor asumido de reflectancia es de 0.01.

Para imágenes Landsat sería lo siguiente (11):

$$L_{min} = M_L * DN_{min\%} + A_L \quad (11)$$

La Radiancia de Objeto Oscuro es dada por (Sobrino, et al., 2004), (12):

$$L_{DO1\%} = 0{,}01 * [(ESUN_\lambda * cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v/(\pi * d^2) \quad (12)$$

Por lo tanto, es efecto bruma es (13):

$$L_p = M_L * DN_{min} + A_L - 0{,}01 * [(ESUN_\lambda * cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v/(\pi * d^2) \quad (13)$$

La técnica utilizada es DOS1, donde se hacen las siguientes suposiciones (Morán et al., 1992, 16).

- $T_v = 1$
- $T_z = 1$
- $E_{down} = 0$

De tal manera el efecto bruma es (14):

$$L_p = M_L * DN_{min} + A_L - 0{,}01 * ESUN_\lambda * cos\theta_s / (\pi * d^2) \quad (14)$$

Los valores ESUN para los sensores Landsat 8 pueden ser calculados desde la página web **grass.osgeo.org/grass65/manuals/i.landsat.toar.html** (15):

$$ESUN = (\pi * d^2) * RADIANCE_MAXIMUM/REFLECTANCE_MAXIMUM \quad (15)$$

Donde RADIANCE_MAXIMUM y REFLECTANCE_MAXIMUM son provistas de los metadatos de la imagen.

Tabla 10.
Valores ESUN para las bandas ASTER

Banda	Aster
1	1848
2	1549
3	1114
4	225.4
5	86.63
6	81.85
7	74.85
8	66.49
9	59.85

4.5 PROCESAMIENTO

4.5.1 Composición de bandas

Se realizó la composición de las bandas por medio de las combinaciones. Usando tres de ellas, como resultante se obtiene una escena en RGB en color natural, con

el fin de poder analizar por medio de un comparativo de forma óptica el cálculo de los índices espectrales y así poder facilitar la interpretación de las coberturas de la superficie que son mapeados de forma automática lo cual está inmerso a recurrir a errores en la identificación detallada de la superficie terrestre.

Para identificar el color natural en las imágenes del satélite Landsat 8 se combinaron las bandas 4, 3 y 2; para la imagen ASTER debido a que no cuenta con la banda azul, se usaron las bandas 7, 4 y 2, combinación especial para distinguir formaciones rocosas y áreas urbanas.

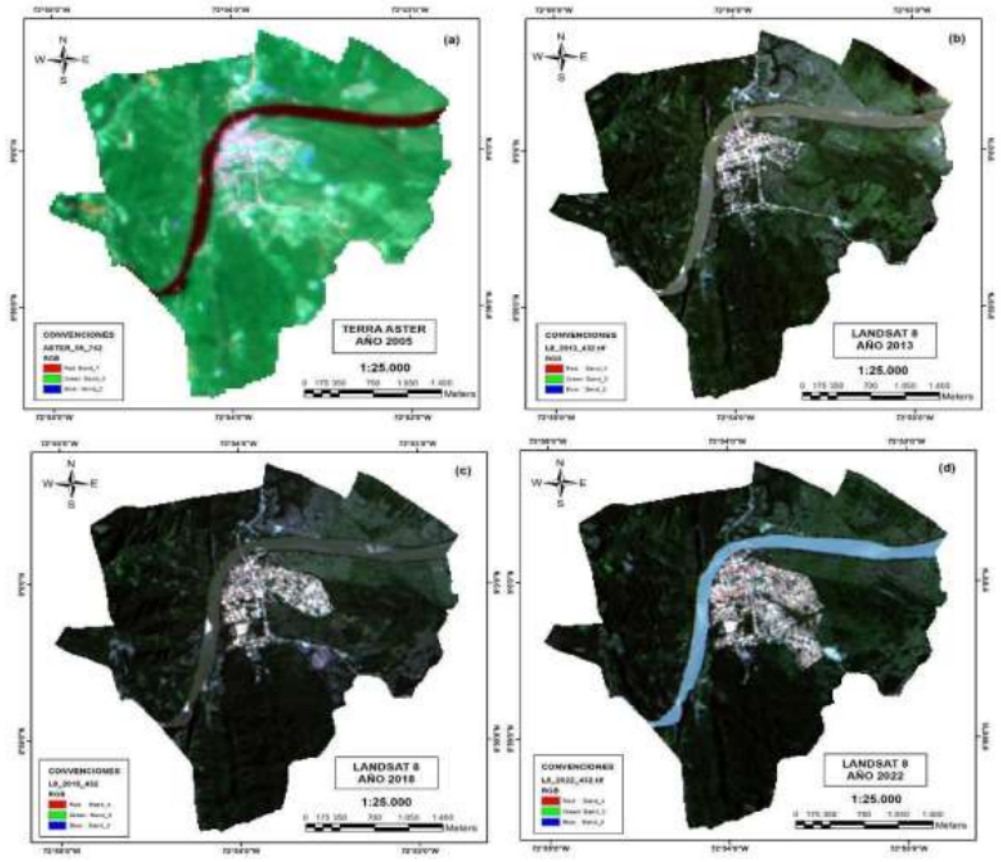

Figura 7. Combinación de bandas en cada periodo (fuente: elaboración propia).

4.5.2 Aplicación de Índices Espectrales

4.5.2.1 Índice de Áreas Construidas de Diferencia Normalizada (NDBI).

El NDBI (Índice de Áreas Construidas de Diferencia Normalizada), utiliza las bandas NIR y SWIR, los valores de los píxeles oscilan entre -1 a 1, entre más cercano al valor 1 resalta las áreas construidas. Este Índice fue calculado mediante la siguiente fórmula para Landsat (16) y Aster (17):

$$NDBI = \left(\frac{Banda\ 6 - Banda\ 5}{Banda\ 6 - Banda\ 5}\right) \ldots\ldots Landsat\ 8 \quad (16)$$

$$NDBI = \left(\frac{Banda\ 4 - Banda\ 3}{Banda\ 4 - Banda\ 3}\right) \ldots\ldots Aster\ L1T \quad (17)$$

Donde:

- *NDBI*: Índice de Áreas Construidas de Diferencia Normalizada

Con el cálculo del índice se representa para cada periodo de la siguiente manera:

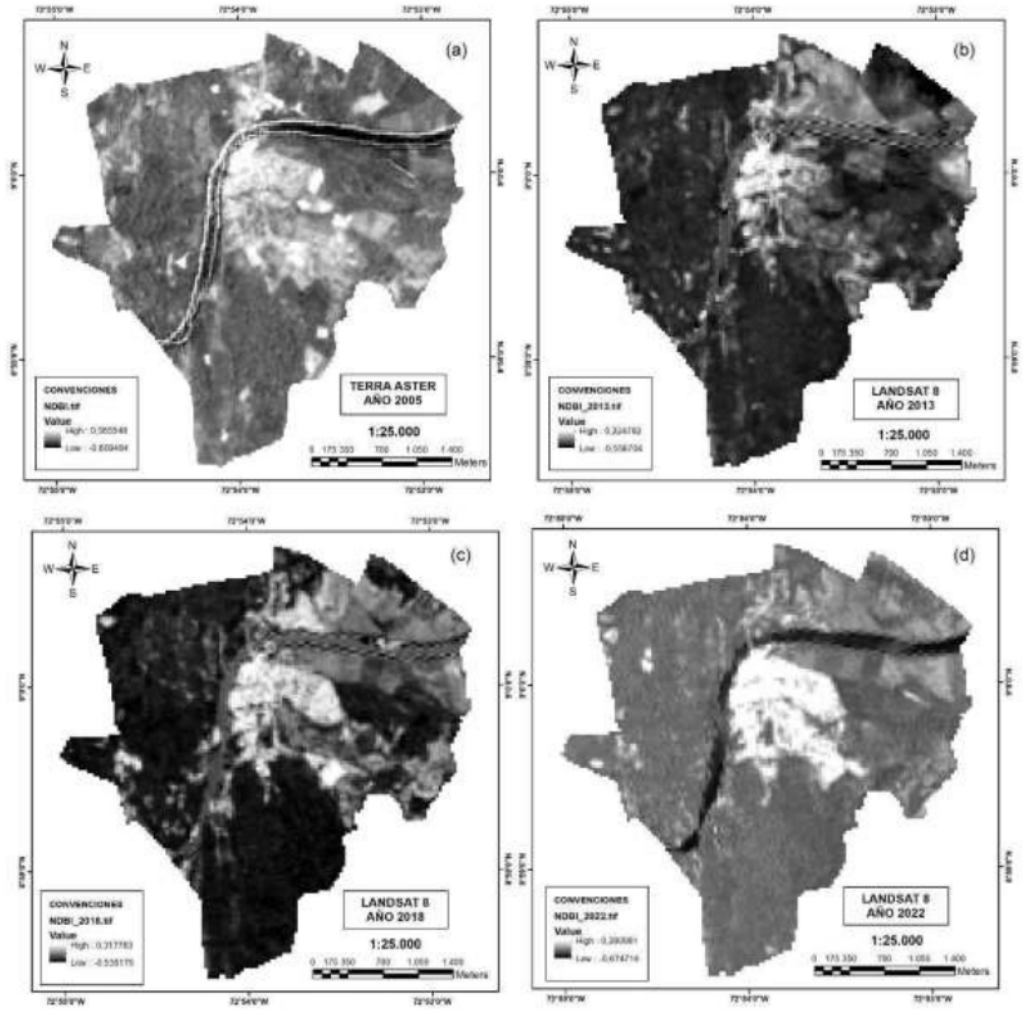

Figura 8. Ráster Multitemporal Índice NDBI (fuente: elaboración propia). Los valores entre 0 y 1 resalta las áreas construidas, y los valores entre 0 y -1 identifican las coberturas con áreas no construidas.

Se aprecia en la imagen del año 2005 correspondiente al satélite Terra (Aster), no se identifica de manera clara las áreas construidas si comparamos con la imagen de combinación especial para distinguir formaciones rocosas y áreas urbanas 7,4, 2, se puede apreciar que el valor del pixel entre 0 y 1 se confunde con áreas de

suelo desnudo, tierra yerma o vegetación baja. Por lo anterior se procede a calcular el índice NDVI para poder calcular el índice BU para extraer las áreas construidas como alternativa.

4.5.2.2 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).

NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizado), permite identificar las zonas de vegetación, de tal manera se puede diferenciar de la zona construida (NDBI) con el fin de realizar un mejor análisis e interpretación al crecimiento urbano del corregimiento de La Gabarra.
Para realizar el cálculo se utilizan las siguientes bandas para Landsat 8 (18) y Aster (19).

$$NDVI = \left(\frac{Banda\ 5 - Banda\ 4}{Banda\ 5 - Banda\ 4}\right) \ldots\ldots Landsat\ 8 \quad (18)$$

$$NDVI = \left(\frac{Banda\ 3 - Banda\ 2}{Banda\ 3 - Banda\ 2}\right) \ldots\ldots Aster\ L1T \quad (19)$$

Dónde:

- *NDVI*: Índice de Vegetación Diferencial Normalizado

Con la ayuda de una calculadora ráster, gráficamente el resultado fue el siguiente:

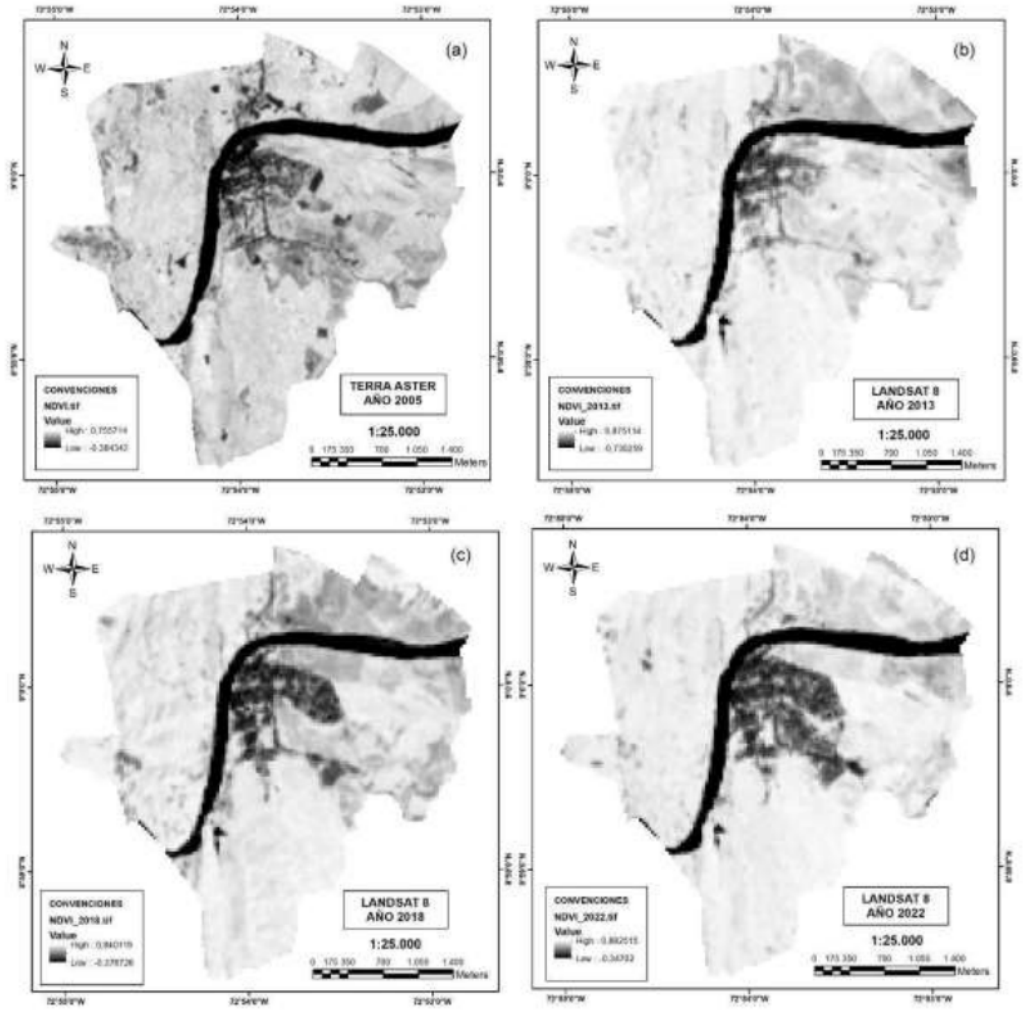

Figura 9. Ráster Multitemporal Índice NDVI (fuente: elaboración propia). Se puede apreciar que los valores cercanos a los valores de 1 corresponden a superficie con vegetación, a 0 con vegetación baja y a -1 áreas de agua, suelo desnudo y construcciones.

4.5.2.3 Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)

El NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado) este índice utiliza las bandas NIR y GREEN. Esto permite discriminar las masas de agua, haciendo que se reduzca la reflectancia del suelo y vegetación para que el agua resalte en la imagen. Este índice es esencial para identificar el espacio del río Catatumbo colindante del área de La Gabarra. Para realizar el cálculo se emplea la siguiente fórmula para Landsat 8 (20) y Aster (21):

$$NDWI = \left(\frac{Banda\ 3 - Banda\ 5}{Banda\ 3 - Banda\ 5}\right) \ldots\ldots Landsat\ 8 \quad (20)$$

$$NDWI = \left(\frac{Banda\ 3 - Banda\ 5}{Banda\ 3 - Banda\ 5}\right) \ldots\ldots Aster\ L1T \quad (21)$$

Donde:

- *NDWI*: Índice Diferencial de Agua Normalizado

Aplicado en los diferentes periodos se ilustra de la siguiente manera:

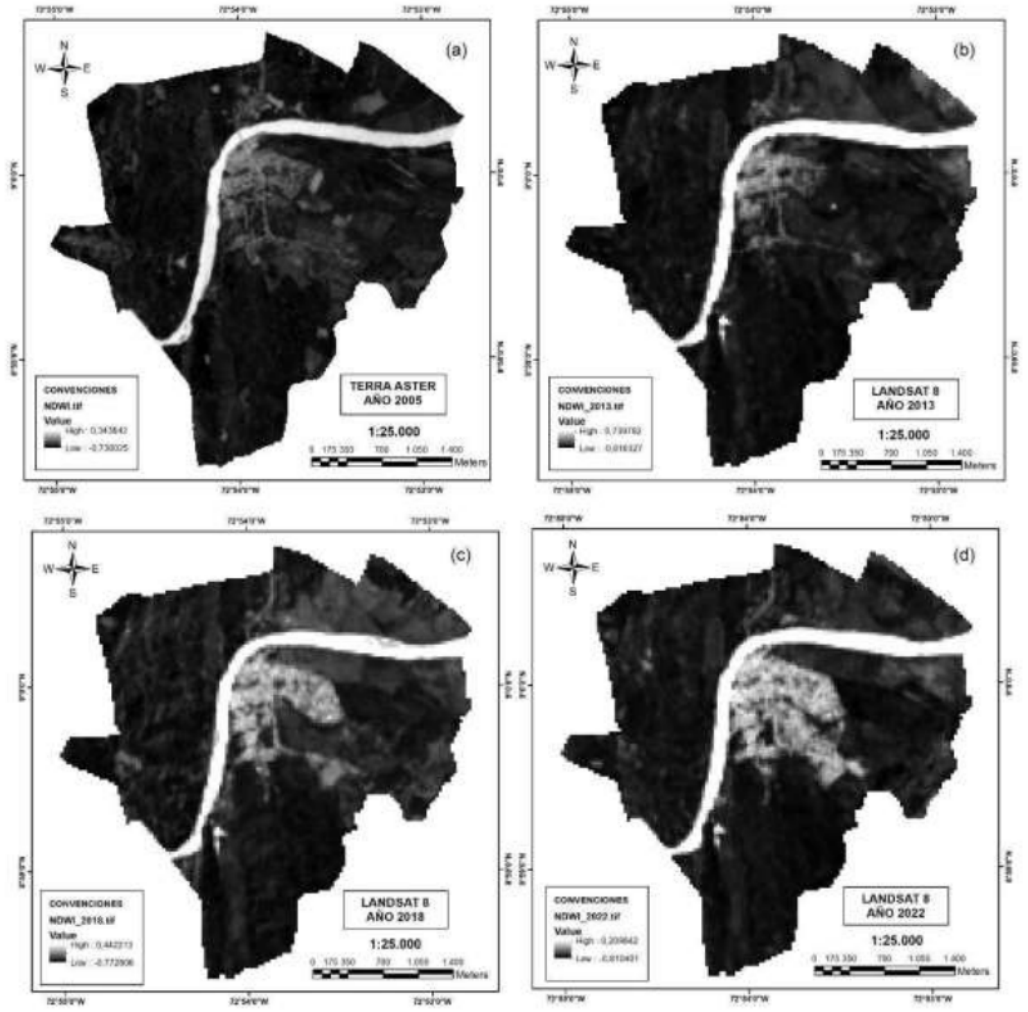

Figura 10. Ráster Multitemporal Índice NDWI (fuente: elaboración propia). Los valores cercanos entre 0 y 1 corresponden a áreas de agua, para este caso se trata del Río Catatumbo que atraviesa la zona de la investigación, se aprecia claramente cómo se resalta en las imágenes y se distingue de las demás coberturas que oscilan entre valores de 0 y -1.

4.5.2.4 Índice de Suelo Desnudo (BSI)

BSI (Índice de Suelo Desnudo) permite identificar los diferentes comportamientos entre las áreas del suelo desnudo y de escasa vegetación, los píxeles toman valores entre -1 a 1, siendo los valores positivos la cobertura de suelo desnudo y valores negativos donde se encuentra vegetación. Este índice es importante ya que nos permite diferenciar el suelo desnudo, esto debido a que el índice NDBI podría interpretar algunas de estas áreas como construcciones. Para calcular se utilizan las bandas BLUE, RED, NIR Y SWIR. Este índice solo se utilizó para las imágenes de satélite Landsat 8 de acuerdo a la formula (22), debido a que cuenta con la banda BLUE mientras que la imagen ASTER no tiene esta banda entre su subsistema.

$$BSI = \left(\frac{(Banda\ 6 + Banda\ 4) - (Banda\ 5 + Banda\ 2)}{(Banda\ 6 + Banda\ 4) + (Banda\ 5 + Banda\ 2)}\right) \ldots\ldots Landsat\ 8 \qquad (22)$$

Donde:

- *BSI*: Índice de Suelo Desnudo

De acuerdo al cálculo del índice BSI el ráster resultante para cada periodo se ilustra de la siguiente manera:

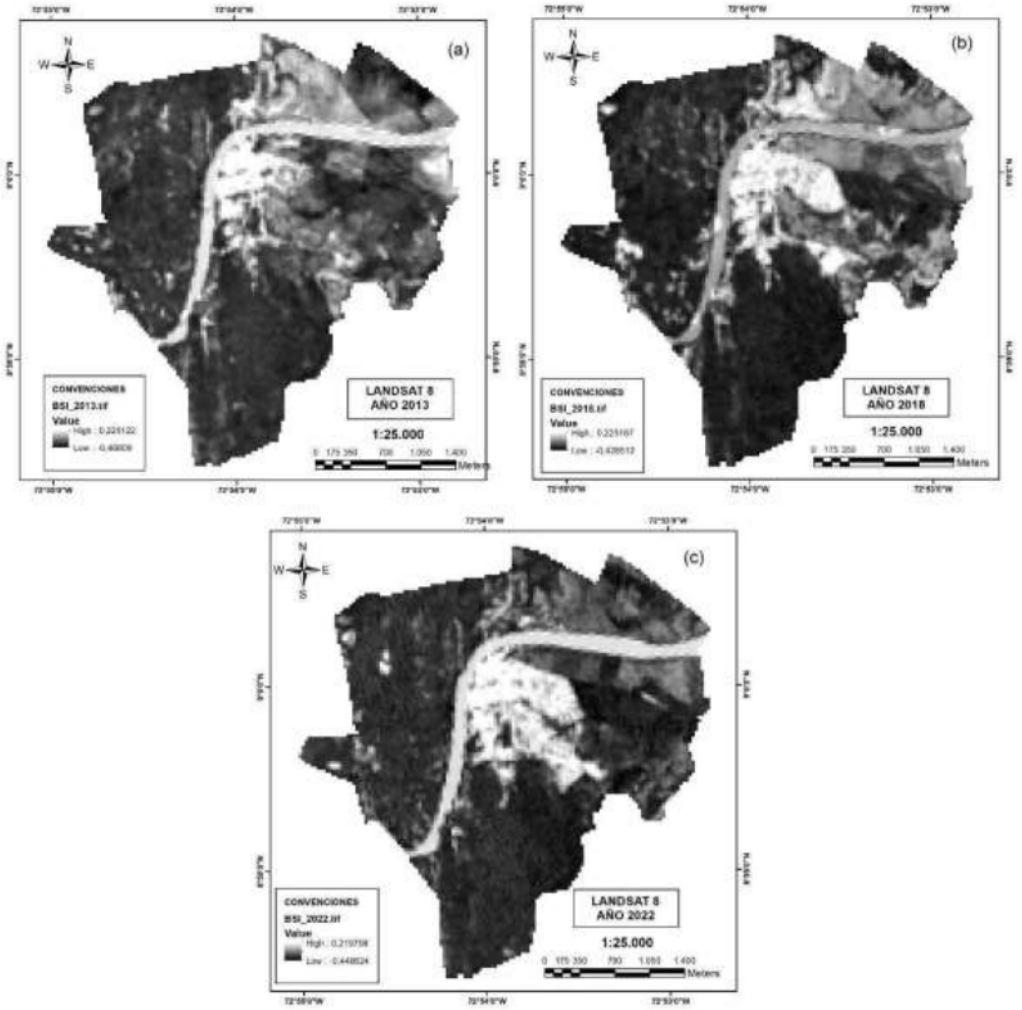

Figura 11. Ráster Multitemporal Índice BSI (fuente: elaboración propia). Los valores cercanos a 1 corresponden a suelo desnudo, sin embargo, como se aprecia en las imágenes este puede confundirse con las áreas construidas, por consiguiente, es necesario diferenciar los resultados de los Índices NBDI, BU y BSI para extraer los datos finales resultantes de las áreas de coberturas para cada año.

La imagen Terra (Aster) correspondiente para el año 2005 no cuenta entre sus características con la banda azul, necesaria para realizar el cálculo del índice BSI, de acuerdo a esto se aplica a las imágenes Landsat.

4.5.2.5 Índice de Área construida (BU)

El BU (Índice de Área Construida) es la diferencia entre el índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Este índice permite zonificar el área urbana, mejorando el enfoque del NDBI que sufre de algunas limitaciones en separar el área de suelo desnudo y yerma. Dependiendo de la habilidad del análisis de la imagen se define la utilidad del índice BU para identificar el área urbana construida. La fórmula para calcular es la siguiente (23):

$$BU = (NDBI - NDVI) \quad (23)$$

Donde:

- *BU*: Índice de área construida
- *NDBI*: El índice de áreas construidas de diferencia normalizada
- *NDVI*: El índice de vegetación diferencial normalizado.

Gráfica cálculo del Índice BSI:

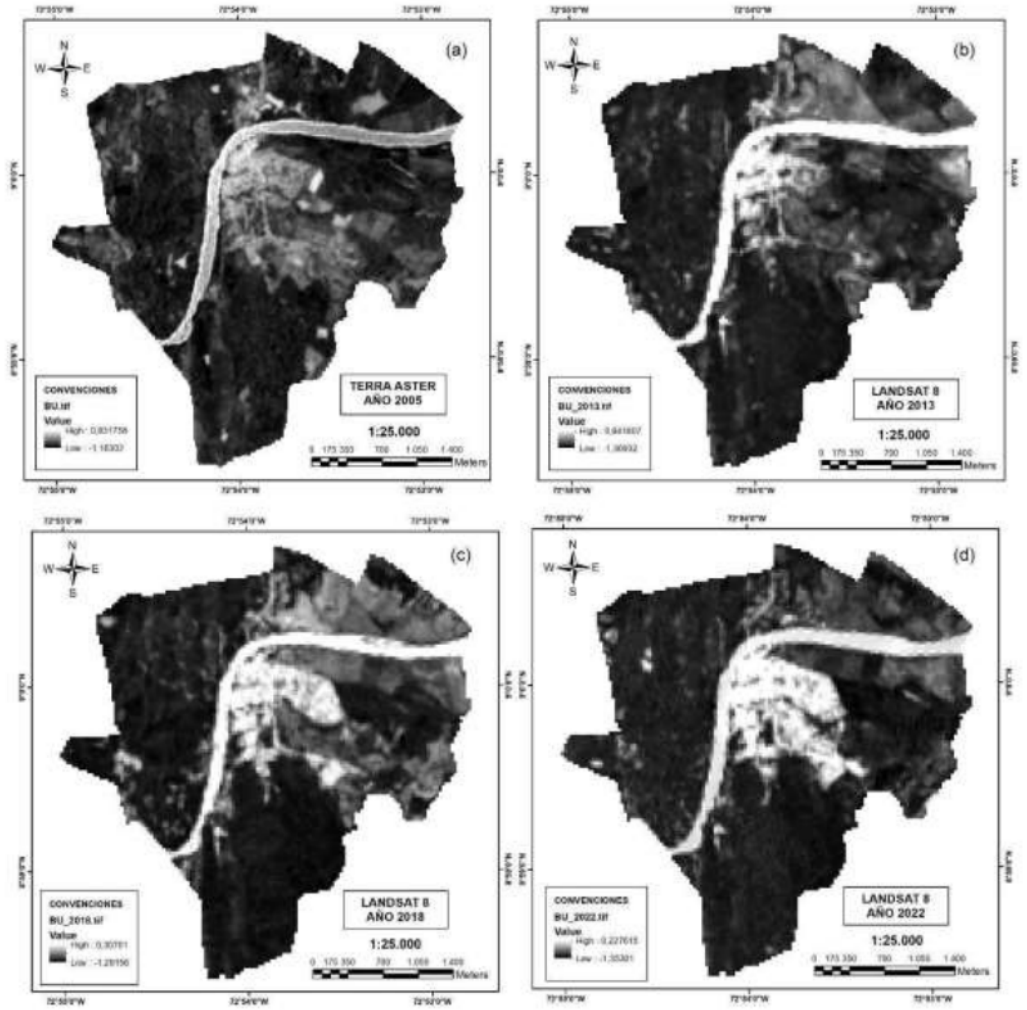

Figura 12. Ráster Multitemporal Índice BU (fuente: elaboración propia). Los valores de píxel cercanos a 1 corresponden a las áreas construidas, de tal forma será útil como base principal en la determinación del área urbana y el análisis de su crecimiento.

Este Índice es una forma alternativa para extraer las áreas construidas de acuerdo a la comparación con el índice NDBI. Se puede observar en las imágenes Landsat de los años 2013, 2018 y 2022 que las áreas construidas se confunden con las

áreas de agua correspondientes al río Catatumbo, caso diferente a la imagen Terra (Aster) del año 2005 que tiende a distinguirse de las demás coberturas.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO

5.1.1 Tendencia de crecimiento Población

Para determinar la tendencia del crecimiento poblacional en el casco urbano del corregimiento de La Gabarra, se tuvo en cuenta el total de la población para cada periodo, siendo un cambio significativo del 2005 al 2018, de 3087 a 4986 habitantes, lo que equivale un aumento de 61.9%.

Dado lo anterior se representa la tendencia de este crecimiento entre los datos recopilados de los censos para los dos periodos de estudio, considerando la totalidad de los habitantes por género.

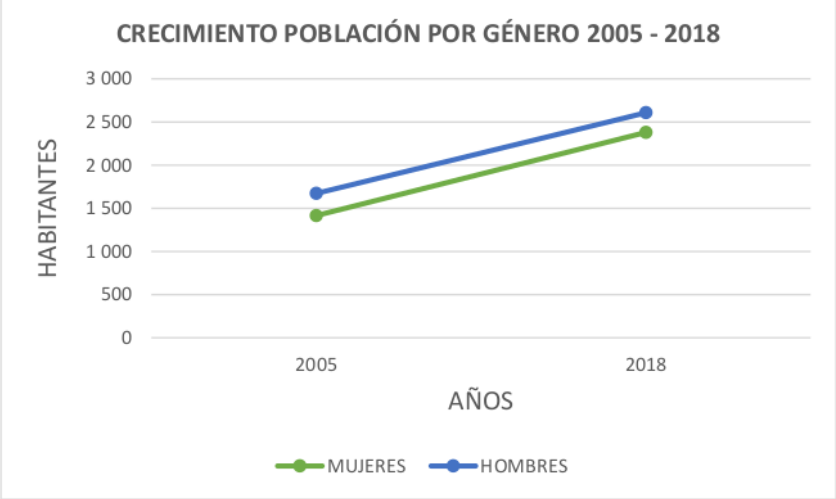

Figura 13. Gráfica Tendencia de la Población por Genero

Se puede apreciar en la figura que, en el casco urbano de La Gabarra de acuerdo los censos realizados por él DANE, habitan en casco urbano más hombres que mujeres y se mantienen en una tendencia uniforme.

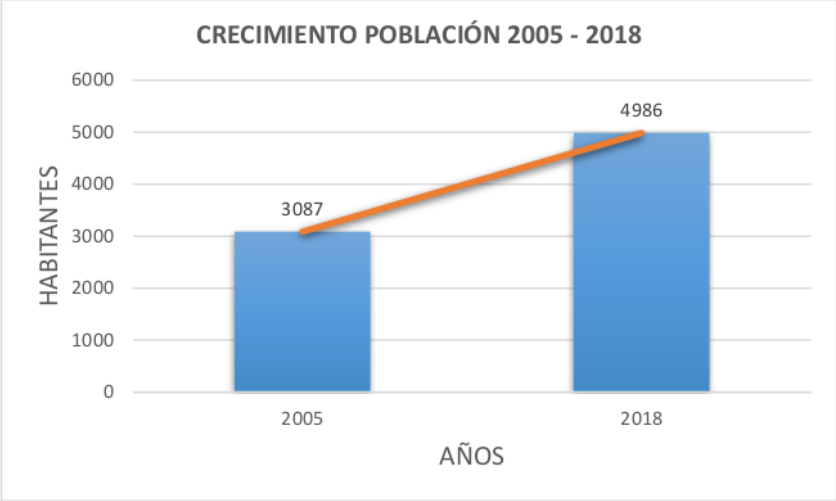

Figura 14. Gráfica Crecimiento de la Población a 2005 a 2018, Censos DANE (fuente: elaboración propia).

El crecimiento de la población fue aumentando con el pasar de los años y es notable su tendencia.

5.1.2 Proyección de Población Estimada para el año 2022

Los últimos datos de población que se obtienen son del año 2018, a partir de este año, el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) generan una estimación de población para los años posteriores en Colombia, sin embargo, esta información solo se encuentra disponible en nivel nacional, departamental y municipal. La Gabarra es considerado por el DANE como centro poblado, las estadísticas de proyección no se encuentran de forma segregada para este nivel de

área geográfica. De tal manera se realiza el siguiente procedimiento para determinar un estimado de población para el año 2022:

- Se recopila la información de proyecciones a nivel municipal, para este caso es el municipio de Tibú, del cual se encuentra adscrito el municipio de La Gabarra

- Los datos estadísticos de proyección se dividen en dos partes, cabecera municipal corresponde al casco urbano y las demás áreas que incluye la zona rural dispersa y los centro poblados que corresponde a las áreas urbanas de los corregimientos, caseríos veredales y unidades habitacionales dispersadas en el área. Para este caso el área urbana de La Gabarra se encuentra localizado en el grupo de Centros Poblado y Rural Dispersos.

- El número total de población para los centros poblados y rural disperso para el año 2018 fue de 33.959 y para el año 2022 fue de 37.416 habitantes, por lo tanto, se estima un crecimiento de 9.1%, este valor será fundamental para estimar la proyección de la población del casco urbano de La Gabarra.

Para estimar la población para el año 2022 se plantea el siguiente el método (24):

$$P_x = P_o * \frac{P_{rd}}{100} + P_o \qquad (24)$$

Donde:

- P_x: Población proyectada de La Gabarra
- P_o: Población Actual La Gabarra

- P_{rd}: Porcentaje de crecimiento Centros Poblado y Rural Dispersos año 2018 a 2022.

- Se toma el porcentaje del crecimiento de Centros Poblado y Rural Dispersos como valor estimado del crecimiento poblacional y se formula con los datos estadísticos obtenidos de La Gabarra, de tal forma quedaría de esta manera:

$$P_x = 4986 * \frac{9.1}{100} + 4986 \quad (25)$$

$$P_x = 5439 \quad (26)$$

Como resultado se obtiene una proyección de población de 5439 habitantes en el año 2022, es de resaltar que esta técnica empleada no corresponde a un dato real, se considera como valor estimado para el año de estudio.

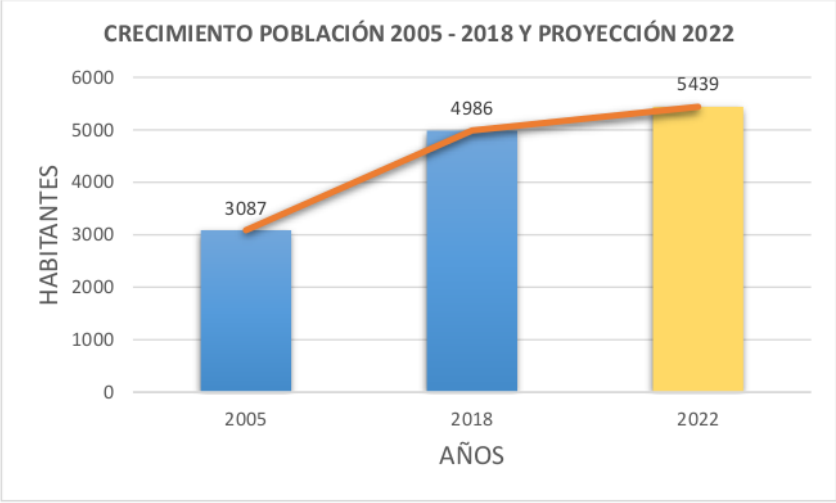

Figura 15. Gráfica Crecimiento de Población y Proyección para el año 2022 (fuente: elaboración propia). Para el año 2022 la población es estimada de acuerdo al cálculo empelado, para los años 2005 y 2018 los datos son reales y suministrados por el DANE.

Al realizar la proyección de población para el año 2022 se evidencia que la tendencia es creciente.

5.2 ANÁLISIS ESPACIAL MULTITEMPORAL

5.2.1 Combinación de Índices.

Los índices calculados para cada año fueron obtenidos en salidas gráficas formato ráster, estos fueron convertidos a capas vectoriales con la finalidad de combinar las coberturas en una sola imagen y calcular las áreas de cada una. De manera que se realizó una reclasificación a los valores de bandas, para la imagen del año 2005 se tomó el área construida que arrojó el cálculo del índice BU, mientras que para los años 2013, 2018 y 2022 se utilizaron las áreas construidas de los valores del índice NDBI. Del índice NDVI se extrajo lo que concierne solamente a la vegetación, del NDWI lo correspondiente a la zona de agua, del BSI el suelo desnudo.

Al momento de agrupar las capas para generar la salida gráfica final, se identificaron algunas pequeñas partes vacías, y en otras no se lograba definir claramente que cobertura correspondía de acuerdo a la comparación con las combinaciones de color natural para Landsat 8, y formación rocosa para Aster, estás se denominaron como zona rural, un término generalizado ya que se encuentran dispersas en la zona de estudio y no se sobrepone con la zona urbana, con el propósito de distinguirlas de las demás y obtener aparte el error en la obtención de las áreas de las cuales no fue posible obtener una interpretación clara ya sea de forma automática o semiautomática.

Tabla 11
Coberturas objeto de la investigación

Código	Cobertura
1	Área Urbana
2	Vegetación
3	Río
4	Suelo Desnudo
0	Zona Rural

Nota: El código es el valor que se asignó para cada clase de cobertura, estos valores son necesarios para realizar los procesos automáticos de reclasificación por tabla de valores de pixel, intersección de capas, generación de matrices en los softwares Qgis y ArcGis.

5.2.2 Cartografías con tablas de valores de áreas

A continuación, se representan las capas vectoriales para cada cobertura principal correspondiente para cada año de investigación.

Cada análisis para cada año de investigación es fundamental para representar la tendencia del crecimiento urbano y comparar de forma simultánea a través de cartografías elaboradas por el autor el cambio del uso del suelo del corregimiento, esto es determinante para entender la evolución urbanística de la región. La expansión de forma rápida, descontrolado y desorganizada se puede observar claramente a continuación.

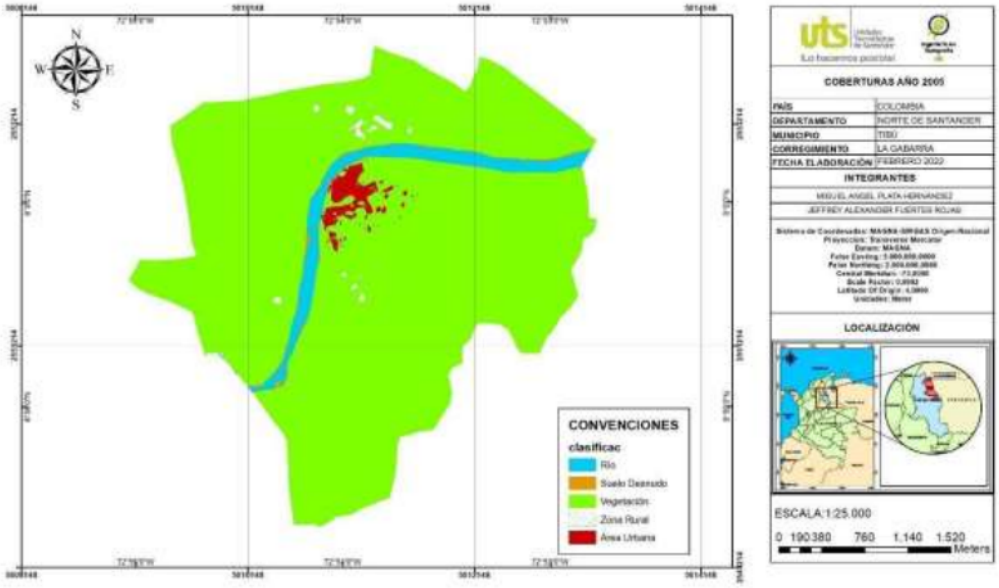

Figura 16. Cartografía Clasificación de Coberturas Año 2005 (fuente: elaboración propia).

Tabla 12
Cuadro áreas de coberturas año 2005

Satélite	Código	Cobertura	Área (ha)
Aster 2005	1	Área Urbana	15,4985
	2	Vegetación	965,8995
	3	Río	47,0648
	4	Suelo Desnudo	5,2037
	0	Zona Rural	4,9891

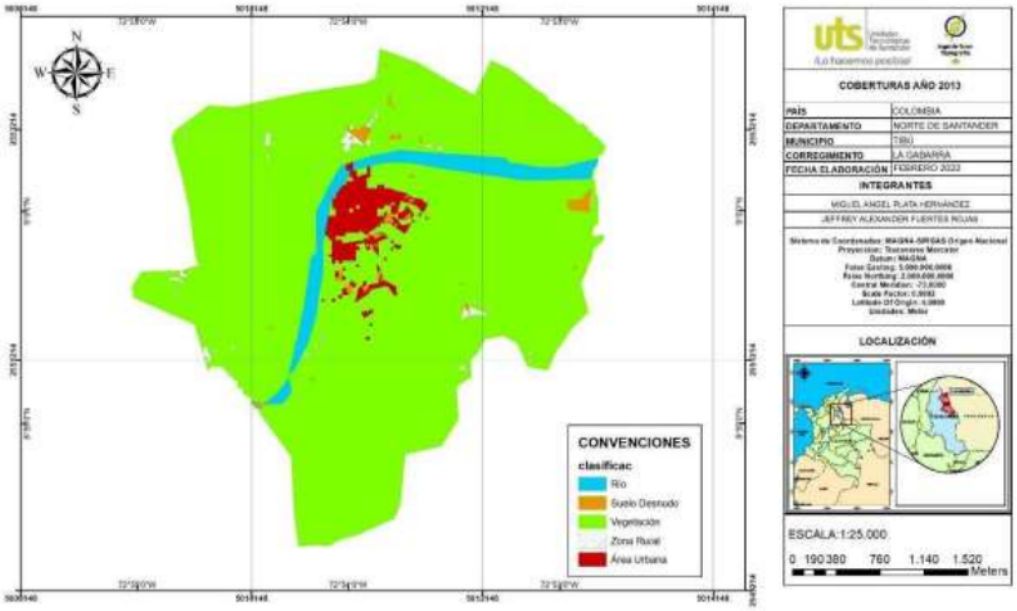

Figura 17. Cartografía Clasificación de Coberturas Año 2013 (fuente: elaboración propia).

Tabla 13
Cuadro áreas de coberturas año 2013

Satélite	Código	Cobertura	Área (ha)
Landsat 8 2013	1	Área Urbana	36,5685
	2	Vegetación	938,2773
	3	Río	47,9932
	4	Suelo Desnudo	9,1239
	0	Zona Rural	6,7339

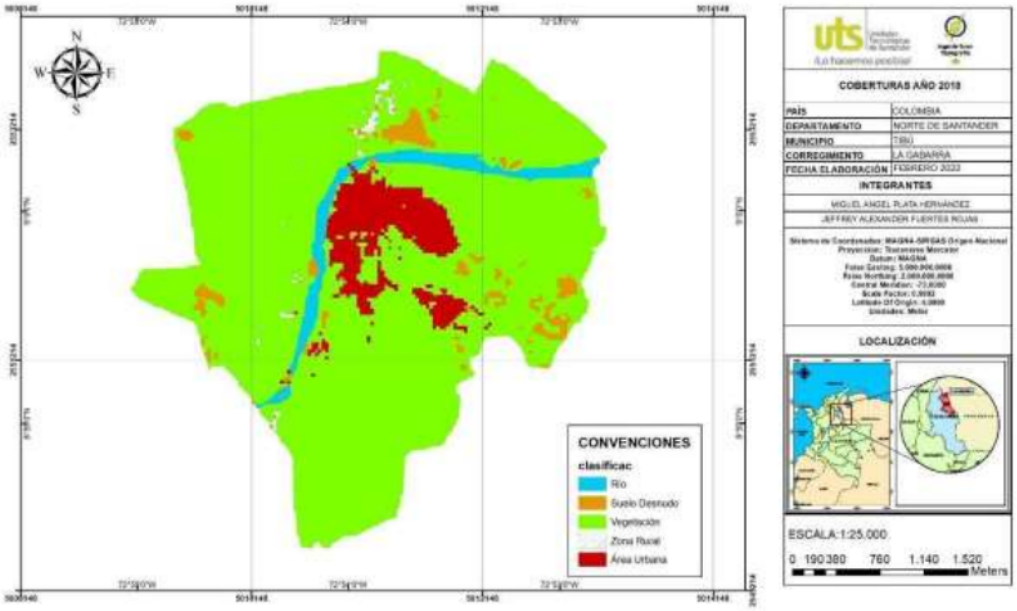

Figura 18. Cartografía Clasificación de Coberturas Año 2018 (fuente: elaboración propia).

Tabla 14
Cuadro áreas de coberturas año 2018

Satélite	Código	Cobertura	Área (ha)
Landsat 8 2018	1	Área Urbana	79,6069
	2	Vegetación	878,2504
	3	Río	40,8996
	4	Suelo Desnudo	38,6372
	0	Zona Rural	6,5561

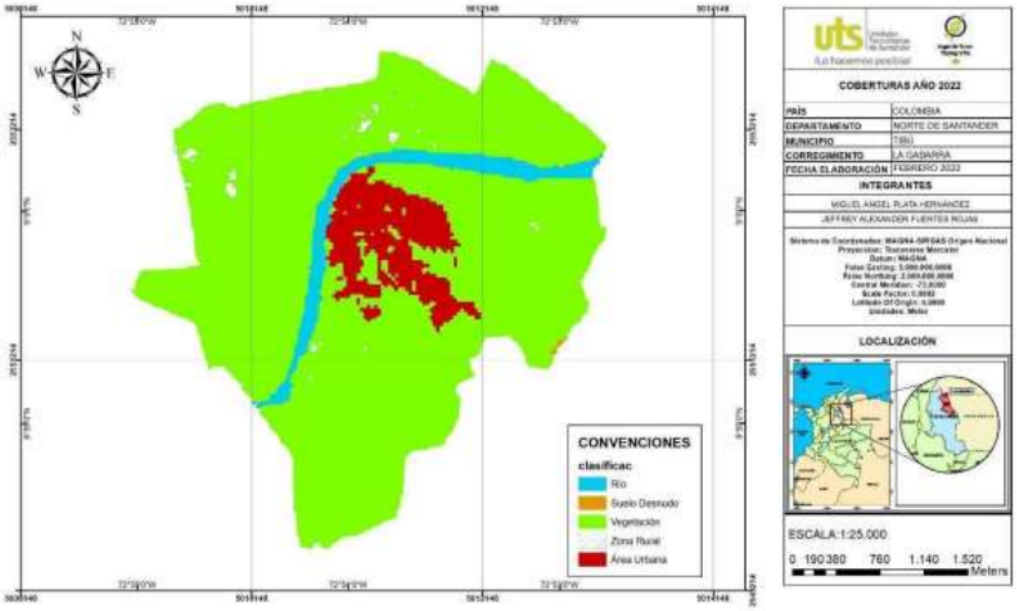

Figura 19. Cartografía Clasificación de Coberturas Año 2022 (fuente: elaboración propia).

Tabla 15
Cuadro áreas de coberturas año 2022

Satélite	Código	Cobertura	Área (ha)
Landsat 8 2022	1	Área Urbana	88,1874
	2	Vegetación	891,7102
	3	Río	51,1426
	4	Suelo Desnudo	1,833
	0	Zona Rural	6,0741

5.2.3 Variación de áreas.

Con la ayuda de gráficas de barras comparativas se puede observar la variación de las coberturas de cada una de sus áreas de forma general, siendo la zona de vegetación la que más alberga en la zona de investigación.

Hay un crecimiento significativo del área urbana entre los años 2005, 2013 a 2018, este sigue aumentando en el último periodo de cuatro años a 2022, este fenómeno ocasiona disminución en las zonas con vegetación y el río mantiene su cauce.

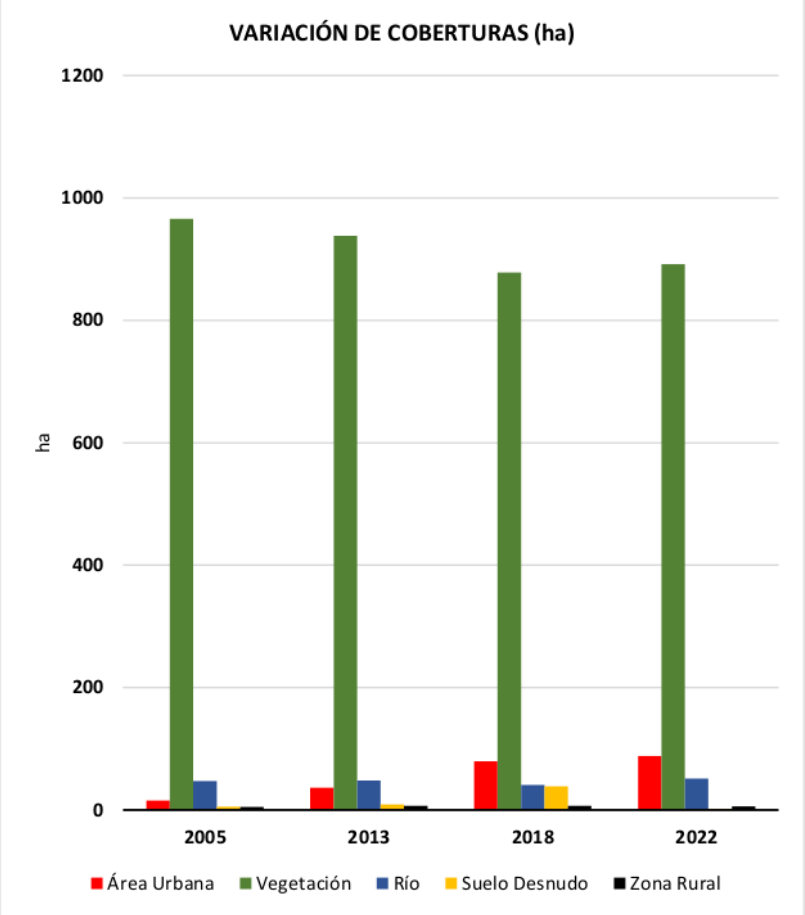

Figura 20. Gráfica Variación de Coberturas (fuente: elaboración propia).

5.2.4 Tasa de cambio.

Para estimar la tasa de cambio en base a los resultados de los cálculos de áreas para cada cobertura, se realizó la operación de la siguiente fórmula utilizada por FAO (1996), (27).

$$t = \left(\frac{S_1 - S_2}{S_1}\right)^{1/n} \quad (27)$$

Donde:

- *t:* Es la tasa de cambio
- *S1:* Superficie del suelo en la fecha inicial
- *S2:* Superficie del suelo en la fecha final
- *n:* Duración del periodo evaluado.

Cuando los valores resultantes son negativos en *t*, quieren decir que hay una disminución de la cobertura y si los valores son positivos hay un crecimiento de la misma. Las tasas de cambio se calcularon entre cada dos periodos.

Tabla 16
Tasas de cambio entre cada periodo

Cobertura	Área 2005 (ha)	Tasa de cambio %	Área 2013 (ha)	Tasa de cambio %	Área 2018 (ha)	Tasa de cambio %	Área 2022 (ha)
Área Urbana	15,4985	11,33	36,5685	16,83	79,6069	2,59	88,1874
Vegetación	965,8995	-0,36	938,2773	-1,31	878,2504	0,38	891,7102
Río	47,0648	0,24	47,9932	-3,15	40,8996	5,75	51,1426
Suelo Desnudo	5,2037	7,27	9,1239	33,46	38,6372	-53,33	1,833
Zona Rural	4,9891	3,82	6,7339	-0,53	6,5561	-1,89	6,0741

De acuerdo a la tabla se registran porcentajes negativos de la vegetación entre los periodos 2005-2013 y 2013-2018, con un ligero aumento de reforestación en 2018-2022 de un 0.38%, esto concuerda entonces con el crecimiento urbano entre cada intervalo, sería en que mayor sea su expansión conlleva a factores de deforestación de la capa vegetal o causas asociadas por el clima que también da origen a la aparición de suelo desnudo que se identifica de manera significativa entre el periodo de 2013-2018 con un 33.46% pero entre periodo 2018-2022 disminuye gracias a la aparición de la capa de vegetal. La capa denominada Zona Rural corresponden a construcciones dispersas en la zona rural o suelo desnudo y no se distinguen el uno al otro, estos valores constituyen un área de 4.5ha a 6.5ha aproximadamente, sin embargo, estos no intervienen en la zona de la cabecera urbana del corregimiento.

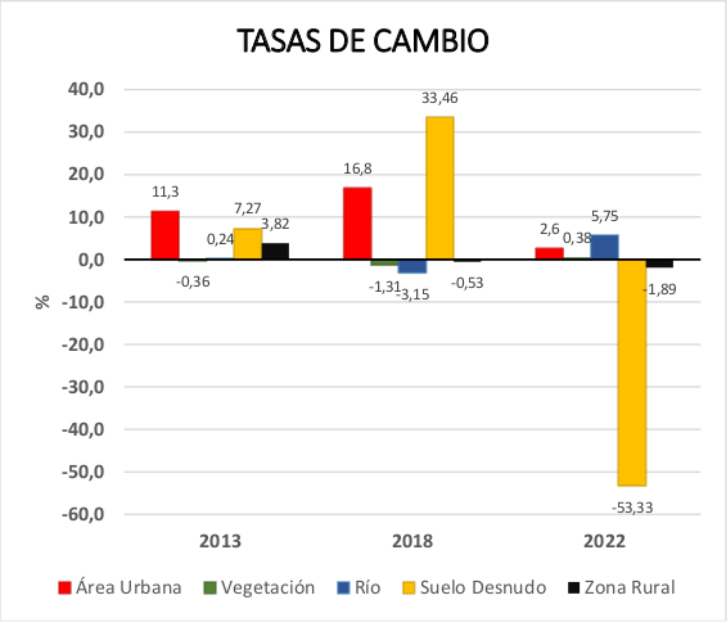

Figura 21. Gráfica Tasas de Cambio Entre Cada Periodo (fuente: elaboración propia).

En la gráfica de barras podemos visualizar el comportamiento de los cambios del uso del suelo entre cada periodo de investigación empezando como base en el año 2005, este al tener el valor cero en tasa de cambio no se ilustra en la gráfica.

5.2.5 Matriz de transición o de Pontius.

A diferencia del proceso para calcular las tasas de cambio, esta matriz cruzada permite obtener cuantificadores de ganancia o de pérdida de las coberturas para ello se utilizan los valores de los pixeles de una imagen ráster, de tal forma que las cartografías vectoriales de cada año fueron transformadas a formato ráster con resolución de celdas de 30 metros. Se genera una sobreposición y una tabulación de las capas de dos periodos. Como resultado se obtiene una matriz cruzada, los ejes horizontales contienen valores de la primera fecha y las columnas verticales tienen la información de la segunda fecha. La información de la diagonal de la matriz, cuenta con las categorías o coberturas que permanecieron sin cambios durante el periodo, en cambio en las demás celdas se muestran las variaciones del uso del suelo hacía otra categoría o cobertura.

Para esta matriz se utilizaron cuatro clases de las cinco coberturas, excluyendo a la categoría de zona urbana que cuenta con resultados desacertados en su clasificación. Se resalta que esta matriz arroja resultados diferentes y aproximados en área en comparación con las suministradas para calcular las tasas de cambio que se utilizaron valores de capas vectoriales y modificadas por parte de la interpretación del análisis realizado para cada cobertura.

Tabla 17
Matriz de transición año 2005 a 2013

		2013								
	Coberturas	Área Urbana	Vegetación	Río	Suelo Desnudo	Total	Pérdidas	Ct	Cn	Inter
2005	Área Urbana	**14,28**	0,61	0,16	0,51	15,56	1,28	23,29	20,73	2,56
	Vegetación	21,42	**924,5**	3,07	6,87	955,86	31,36	39,29	-23,43	15,86
	Río	0,47	4,18	**41,98**	0,28	46,91	4,93	10,08	0,22	9,86
	Suelo Desnudo	0,12	3,14	1,92	**0,07**	5,25	5,18	12,84	2,48	10,36
	TOTAL	36,29	932,43	47,13	7,73	1023,58		85,5	|46,86|	38,64
	Ganancias	22,01	7,93	5,15	7,66					

Nota: los valores de la diagonal resaltados en negrilla corresponden a los valores de areas coberturas quede mantuvieron sin cambios.

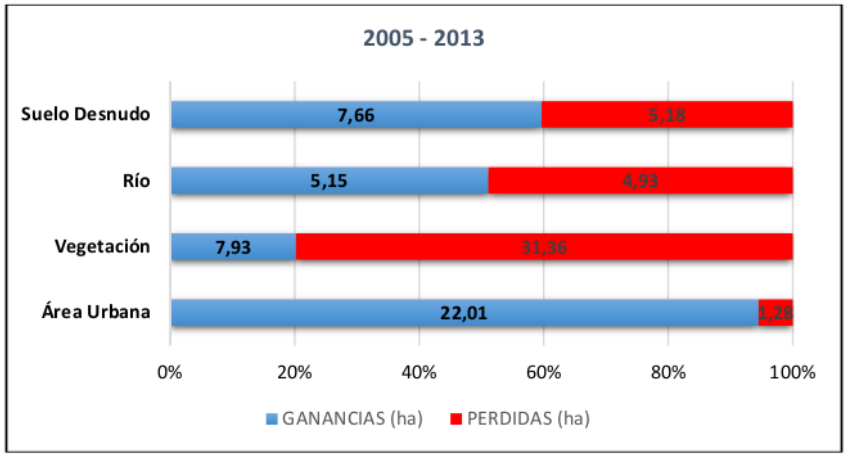

Figura 22. Gráfica Pérdidas y Ganancias de Coberturas Año 2005 a 2013 (fuente elaboración propia).

De acuerdo a la matriz y la gráfica se observa un cambio neto de 20.73 ha de ganancias de las áreas construidas que corresponde al área urbana, esto lleva también a un intercambio de 2.56 ha, caso diferente al área de vegetación que cuenta con pérdidas de 31.36 ha y solo ganancia al año de 2013 de 7.93 ha, con solo un intercambio de 15.86 ha es decir que podemos concluir que este valor corresponde al cambio en el mismo tiempo de una deforestación a una reforestación

en otro lugar. El cauce del rio no tuvo mayores cambios en su conservación a lo largo del periodo de ocho años, el suelo desnudo tuvo una ganancia neta de 2.48 ha, lo que afecta a la conservación de las zonas verdes.

Tabla 18
Matriz de transición año 2013 a 2018

		2018								
	Coberturas	Área Urbana	Vegetación	Río	Suelo Desnudo	Total	Perdidas	Ct	Cn	Inter
2013	Área Urbana	**33,84**	2,47	0,27	0,12	36,7	2,86	47,99	42,27	5,72
	Vegetación	42,38	**848,21**	2,95	30,78	924,32	76,11	89,79	-62,43	27,36
	Río	0,28	7,5	**36,7**	2,45	46,93	10,23	13,61	-6,85	6,76
	Suelo Desnudo	2,47	3,71	0,16	**1,29**	7,63	6,34	39,69	27,01	12,68
	Total	78,97	861,89	40,08	34,64	1015,58		191,08	138,56	52,52
	Ganancias	45,13	13,68	3,38	33,35					

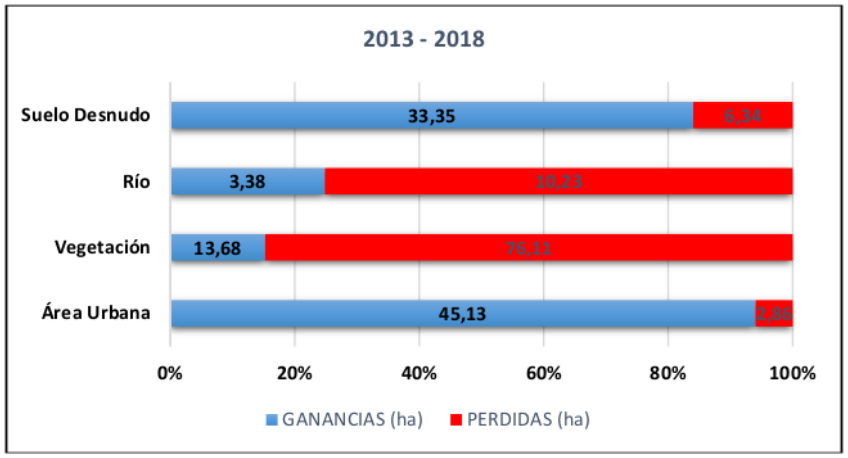

Figura 23. Gráfica Pérdidas y Ganancias de Coberturas Año 2013 a 2018 (fuente elaboración propia).

Para el periodo 2013-2018 las variables más significativas es el área urbana que ha crecido de manera desproporcionada con una ganancia neta de 42.27 ha, esto comprueba el efecto de los asentamientos hacía la parte sur de la zona de estudio,

el intercambio es mínimo hacía las otras categorías, esto causa grandes efectos negativos en las zonas de vegetación ocasionando pérdidas de 76.11 ha y solo una ganancia 13.36 ha, la cobertura sea transformado en gran parte a suelo desnudo y en crecimiento de las áreas construidas.

Tabla 19
Matriz de transición año 2018 a 2022

		2022								
	Coberturas	Área Urbana	Vegetación	Río	Suelo Desnudo	Total	Perdidas	Ct	Cn	Inter
2018	Área Urbana	**67,28**	10,83	0,71	0,29	79,11	11,83	32,63	8,97	23,66
	Vegetación	20,24	**842,68**	7,83	1,22	871,97	29,29	71,68	13,10	58,58
	Río	0	0,71	**39,24**	0,11	40,06	0,82	12,33	10,69	1,64
	Suelo Desnudo	0,56	30,85	2,97	**0,09**	34,47	34,38	36	-32,85	3,24
	Total	88,08	885,07	50,75	1,71	1025,61		152,64	l65,61l	87,12
	Ganancias	20,8	42,39	11,51	1,62					

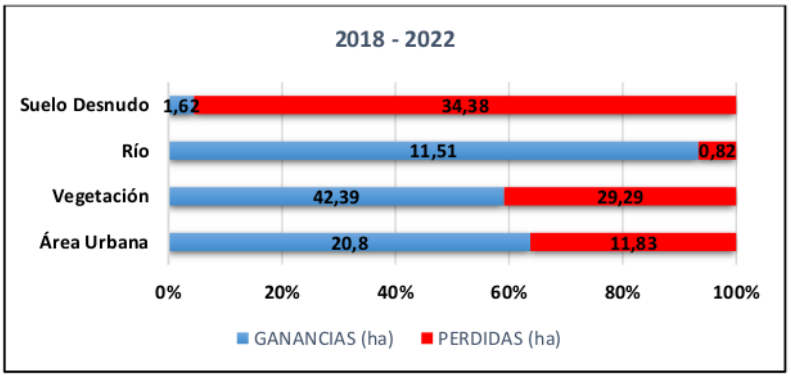

Figura 24. Gráfica Pérdidas y Ganancias de Coberturas Año 2018 a 2022 (fuente elaboración propia).

Entre los años 2018 a 2022, la cobertura urbana sigue en aumento con una ganancia de 20.8 ha y pérdida de 11.83 ha, sin embargo, se puede apreciar el crecimiento acelerado de las áreas construidas. La vegetación ganó cobertura y se

puede determinar que es en base a la pérdida considerable de suelo desnudo. Se podría deducir que, para la imagen del año 2018, el suelo desnudo fue interpretado como área urbana, esto basado en el cálculo matemático del índice NDBI y la reclasificación en los valores de pixel. El río obtiene mayores ganancias en la superficie del cauce.

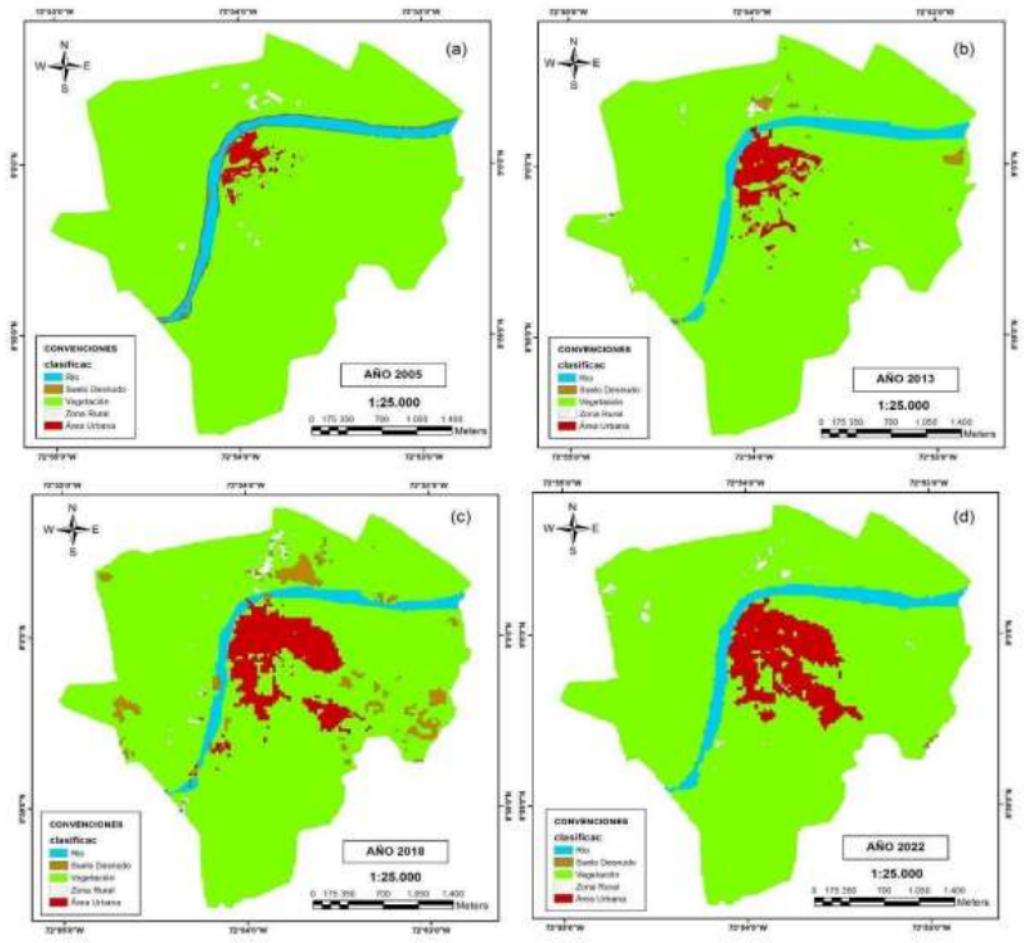

Figura 25. Cartografía Multitemporal Tendencia del Crecimiento Urbano y Cambios de Cobertura (fuente elaboración propia).

5.2.6 Dinámica del crecimiento urbano

En base a la figura anterior se puede visualizar la variación del área urbana, su expansión es notable hacía el sector sur, suroeste y sureste, sin embargo, en los costados norte y noreste se mantiene sin alguna afectación en el tiempo de estudio.

Para investigar el fenómeno que ocurre en este sector y poder concluir porque esta zona actúa como limitante del área urbana representada en color rojo en la figura "Cartografía Multitemporal Tendencia del Crecimiento Urbano y Cambios de Cobertura", se comparó el área de estudio con las capas geográficas institucionales del SIAC (Sistema de Información para Colombia) la cual actúa como conjunto integrado de la información ambiental del país, este sistema es liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Los datos geográficos fueron consultados en la web **siac-datosabiertos-mads.hub.arcgis.com/**.

De acuerdo a lo anterior se halló un humedal en la parte de la zona noroeste colindante del área urbana de La Gabarra, esto se pudo identificar de acuerdo a una superposición entre capas de las coberturas del área de estudio y el archivo shapefile de humedales del SIAC en su última actualización año 2021 en versión 3.

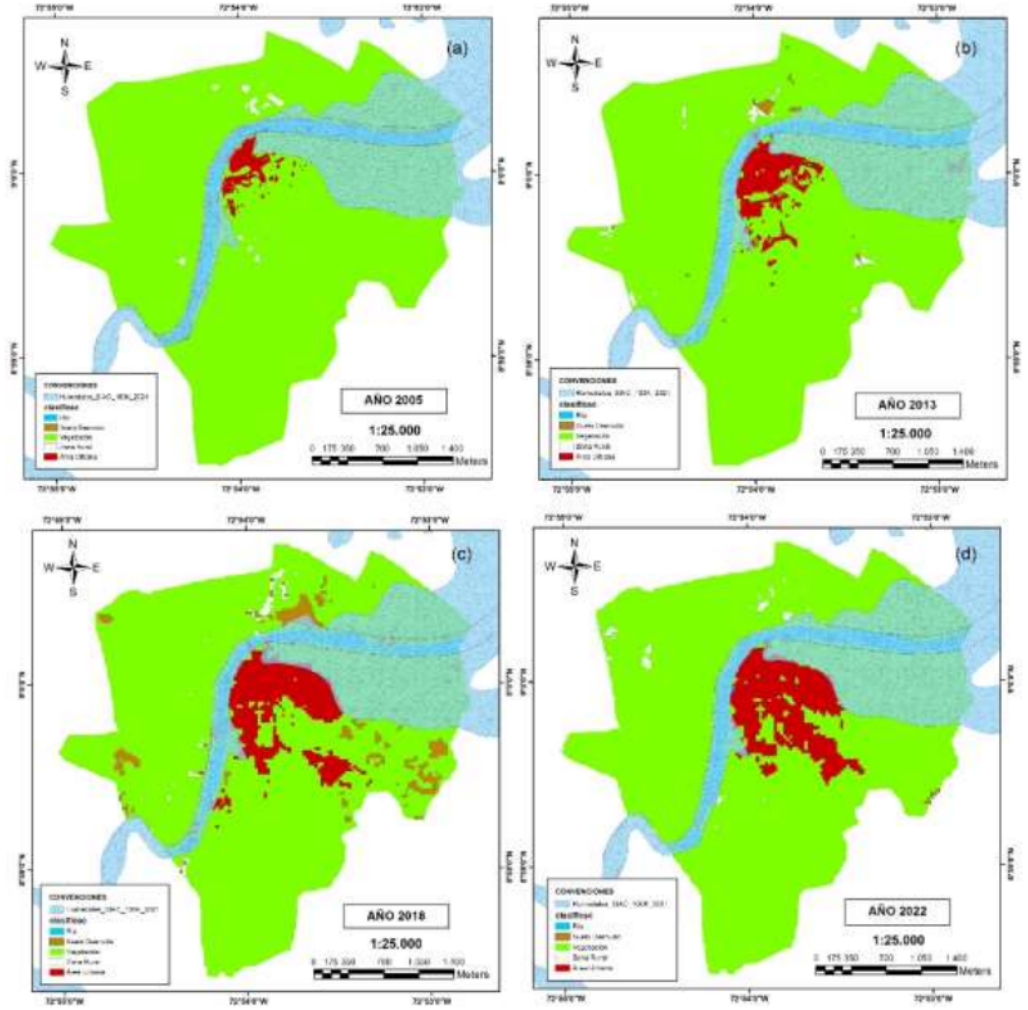

Figura 26. Cartografía Multitemporal Tendencia del Crecimiento Urbano y Cambios de Cobertura con Humedales (fuente elaboración propia).

Se puede apreciar que un humedal es el limitante del crecimiento urbano hacía la dirección noroeste.

- Características del Humedal.

Características Humedal	
Tipo de Humedal	2
Área (ha)	179,0209
Fecha de Ingreso	9/11/2021
Fecha de Reconocimiento	1/12/2020
Área Hidrográfica	Caribe
Zona Hidrográfica	Catatumbo
Subzona Hidrográfica	Bajo Catatumbo
Grado de Transformación	Transformado

Se puede determinar que en relación al humedal situado en este sector no es posible la concentración de asentamientos humanos, toda vez que, esta zona es cota de inundación del rio Catatumbo de acuerdo a las características hidrográficas que presenta, lo que impide todo tipo de construcciones.

6 CONCLUSIONES

Gracias al uso público y descarga gratuita de imágenes satelitales de la plataforma Earth Explorer del USGC, es posible recolectar los insumos necesarios para realizar un análisis geoespacial aplicado a la teledetección y poder iniciar una investigación usando la técnica de la teledetección.

La percepción remota con el uso del cálculo de índices espectrales permite obtener información de la superficie terrestre de forma automática, sin embargo, es de menor efectiva a comparación cuando se realiza una validación en campo, esto debido a que la detección es automática y puede resaltar de manera errada una cobertura o de parte del autor reclasificar los pixeles de forma inadecuada. Para extraer las áreas construidas de cada periodo de estudio, el Índice NDBI arrojó resultados más acertados con imágenes satelitales Landsat, su correlación de bandas es mejor que en imágenes TERRA (Aster) que se adecua al indicie BU.

Fue indispensable realizar un comparativo con imágenes resultantes de combinación de bandas a color natural RGB para interpretar y validar de forma óptica la clasificación de las coberturas. Se concluye que no solo en áreas geográficas se estima el crecimiento de urbano de La Gabarra, a su vez es necesario analizar la información demográfica para comprobar este fenómeno. El uso de la matriz de Pontius o tabulación cruzada nos permite comparar el comportamiento de las coberturas entre cada periodo, principalmente el crecimiento urbano, esta matriz es una buena técnica para monitorear los cambios de la superficie de forma multitemporal.

La generación de cartografías temáticas permite que el observador pueda entender de forma más clara y concisa el comportamiento de la superficie y los cambios de uso de suelo.

7 RECOMENDACIONES

Es importante analizar las imágenes satelitales Landsat 7 antes de ejecutar una investigación, esto debido que, para el periodo del año 2005, todas las imágenes que cubrían zona de estudio, tenían errores de bandeamiento o líneas con ausencia de información que no permite la correcta visualización de la superficie y no se puede detectar algunos tipos de cobertura de manera acertada. De tal manera se recurrió no emplear este tipo de imagen para la investigación, ya que se podrían obtener resultados erróneos.

El análisis de los cambios del uso del suelo permite conocer la realidad de territorio, esta investigación es un insumo valioso para tener en cuenta en base al desarrollo de una actualización del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Tibú, esto debido a que su Plan Básico de Ordenamiento Territorial es del año 2000 y se encuentra desfasado de la realidad y no contempla los cambios que ha presentado el municipio hasta el año 2022 en el corregimiento de La Gabarra. De tal manera se recomienda esta investigación a los entes municipales e instituciones de la región del Catatumbo con el propósito de generar nuevos planes de desarrollo en la región.

El limite perimetral que reconoce el IGAC no se encuentra actualizada y no ha contemplado el crecimiento urbano que se presenta en el corregimiento de La Gabarra para la actualidad, se recomienda a los próximos investigadores no contemplar la capa perimetral del año 2022 del IGAC para estudios urbanísticos de precisión dentro de esta individualización, ya que carecería de información respecto a la realidad. Con la cartografía generada en la presente investigación se puede apreciar los cambios del crecimiento urbanístico en La Gabarra.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angarita Martínez, A. A., Sánchez Delgado, J. B., & Álvarez Pedraza, Y. G. (18 de 09 de 2019). *Análisis multitemporal de la tendencia al crecimiento del casco urbano mediante el uso de teledetección y SIG. Caso de estudio municipio de San Juan de Girón Santander durante los periodos de 2006*. Obtenido de Repositorio Institucional RI-UTS: http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/6941

Chávez, P. S. (1996). Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62*(9), 1025–36. doi:doi:0099-1112/96/6209-1025.

Chunyang, H., Peijun, S., Dingyong, X., & Yuanyuan, Z. (2010). Improving the normalized difference builtup index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters, 1*(4), 213-221. doi:10.1080 /01431161.2010.481681

CNMH. (2015). *Una nación desplazada: informe nacional del desplazamiento forzado en Colombia*. Bogotá: CNMH-UARIV. Obtenido de Centro Nacional de Memoria Historica: https://www.centrodememoriahistorica.gov.co/descargas/informes2015/nacion-desplazada/una-nacion-desplazada.pdf

Corrales Andino, R. E., & Ochoa López, V. L. (2017). Teledetección y SIG, Herramientas de Gestión en la adaptación al Cambio Climático, Cuenca Alta del Río Goascorán, Honduras. *CIENCIAS ESPACIALES, 10*(1). doi:https://doi.org/10.5377/ce.v10i1.5820

DANE. (2021). *Informes de Estadística Sociodemográfica Aplicada.* Obtenido de DANE: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/informes-estadisticas-sociodemograficas/2021-10-28-patrones-tendencias-de-transicion-urbana-en-colombia.pdf

DANE. (s.f). *Censos Nacionales de población y Vivienda.* Obtenido de DANE, Información Para Todos: http://systema59.dane.gov.co/bincol/rpwebengine.exe/PortalAction?lang=esp

DANE. (s.f). *Conceptos básicos.* Obtenido de DANE: https://www.dane.gov.co/files/inf_geo/4Ge_ConceptosBasicos.pdf

DANE. (s.f). *DEMOGRAFÍA Y POBLACIÓN*. Obtenido de DANE Información para todos: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion

Datos Mundial. (01 de 2022). *DatoMundial.com*. Recuperado el 06 de 10 de 2022, de https://www.datosmundial.com/america/colombia/volcanes.php

ESRI. (s.f). *¿Qué son los datos ráster?* Obtenido de ArcGIS Desktop: https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm

ESRI. (s.f). *¿Qué son los SIG?* Obtenido de ESRI Colombia: https://www.esri.co/es-co/nosotros/sobre-esri/que-son-los-sig

ESRI. (s.f). *ArcGIS Plataforma de representación cartográfica y análisis*. Obtenido de ESRI: https://www.esri.co/es-co/productos/arcgis/inicio

ESRI. (s.f). *Función NDVI*. Obtenido de ArcGIS Pro: https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/ndvi-function.htm

ESRI. (s.f). *Galería de índices*. Obtenido de ArcGIS Pro: https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/indices-gallery.htm

FAO. (s.f). *Indicadores de la calidad de la tierra: aspectos del uso de la tierra, del suelo y de los nutrimentos de las plantas.* Obtenido de FAO: https://www.fao.org/3/w4745s/w4745s09.htm

FCPF. (s.f). *Capítulo 4. Uso la tierra suelo y cambio en el uso de la tierra*. Obtenido de The Forest Carbon Partnership Facility (FCPF): https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/04_capitulo%2004%20Uso%20del%20suelo%20y%20cambio%20en%20el%20uso%20del%20suelo.pdf

Función Publica. (26 de 07 de 2004). *Ley 902 de 2004*. Obtenido de FUNCIÓN PÚBLICA: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=14310#:~:text=Art%C3%ADculo%2028.&text=Los%20planes%20de%20ordenamiento%20territorial%20deber%C3%A1n%20definir%20la%20vigencia%20de,1.

Google. (s.f). *El globo terráqueo más completo*. Obtenido de Google Earth: https://www.google.com/intl/es/earth/

Google. (s.f). *Una plataforma a escala planetaria para datos y análisis de ciencias de la Tierra*. Obtenido de Google Earth Engine: https://earthengine.google.com/

HEXAGON. (s.f.). *ERDAS IMAGINE El paquete de software de teledetección preferido en el mundo*. Obtenido de HEXAGON: https://hexagon.com/products/erdas-imagine

IDEAM. (1997). *COBERTURAS DE LA TIERRA*. Obtenido de IDEAM: http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra

IDEAM. (s.f). *COBERTURAS DE LA TIERRA*. Obtenido de IDEAM: http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra

IGAC. (1998). *DATOS GEOGRÁFICOS.* Obtenido de IGAC: https://www.igac.gov.co/

IGAC. (2018). *APOYO DEL IGAC AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2018.* Obtenido de Instituto Geográfico Agustín Codazzi: https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/apoyo_igac_al_ot_.pdf

IGAC. (s.f). *CARTOGRAFÍA.* Obtenido de IGAC INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI: https://www.igac.gov.co/es/ide/datos-e-informacion/cartografia#:~:text=La%20cartograf%C3%ADa%20base%20%E2%80%9Ctiene%20que,%E2%80%9D%20(IGAC%2C%201998).

Imaña-Encinas, J., Banks-Machado, E. G., Oliveira-Ramos, N., & Riesco-Muñoz, G. (2019). Análisis de imágenes Landsat para la determinación de cambios de uso del suelo en un área de preservación ambiental (APA) en la zona de influencia de la ciudad de Brasilia (Brasil). *REVISTA FORESTAL DE PERÚ, 34*(2). doi:https://doi.org/10.21704/rfp.v34i2.1327

Instituto Geográfico Nacional. (s.f). *OBS-Teledeteccion.* Obtenido de Instituto Geográfico Nacional: https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf

J, G., Y, Z., & S, N. (2003). Uso del índice de acumulación de diferencia normalizada en el mapeo automático de áreas urbanas a partir de imágenes TM. *International Journal of Remote Sensing, 24*(3), 584-594. doi:doi:10.1080/01431160304987

Judex, K., & Herrera, C. (11 de 09 de 2015). Venezolanos y menores, tras la coca del Catatumbo (III parte). *La Opinión*.

L3HARRIS. (s.f). *PROCESAR Y ANALIZAR, ENVI*. Obtenido de L3HARRIS: https://www.l3harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI

Lara Abello, J., & Peraza Rodríguez, C. E. (2019). *Implementación de un sistema de información geográfica que permita detectar problemas de orden social en la circunscripción especial para la paz del Catatumbo como apoyo al Ejército Nacional*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD: http://hdl.handle.net/11349/13793

Médicos Sin Fronteras. (2021). *La vida en un barrio de migrantes en el corazón del conflicto en el noreste de Colombia*. Médicos Sin Fronteras. Obtenido de https://www.msf.org.co/actualidad/la-vida-en-un-barrio-de-migrantes-en-el-noreste-de-colombia

Médicos Sin Fronteras. (30 de 03 de 2021). *La vida en un barrio de migrantes en el corazón del conflicto en el noreste de Colombia*. Obtenido de MÉDICOS SIN FRONTERAS: https://www.msf.org.ar/actualidad/la-vida-en-un-barrio-de-migrantes-en-el-noreste-de-colombia

Mera Garzón, D. P. (2016). *Análisis multitemporal del crecimiento urbano en la ciudad de Popayán en el departamento del Cauca, años de 1960 a 2015*. Obtenido de Universidad Santo Tomás: https://hdl.handle.net/11634/2310

Metropolis. (2011). *Gestión del crecimiento urbano*. Obtenido de Metropolis: https://www.metropolis.org/sites/default/files/2019-01/Gestion%20del%20Crecimiento%20Urbano%20ES.pdf

Morales, N. F. (2017). *TEORÍA - TELEDETECCIÓN ESPACIAL*. Obtenido de ACOLITA: https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf

ONU. (2022). *Envisaging the Future of Cities*. Nairobi, Kenia: Gregory Scruggs. Obtenido de www.unhabitat.org

PBOT Tibú. (06 de 12 de 2000). Obtenido de Alcaldía Municipal de Tibú en Norte de Santander: http://www.tibu-nortedesantander.gov.co/normatividad/acuerdo-no-028-diciembre-06-de-2000

Pontius Jr, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes. *ScienceDirect, 101*(2-3), 251-268. doi:10.1016/j.agee.2003.09.008

Puerto Mahecha, D. O. (10 de 2021). *Análisis multitemporal del cambio de la cobertura boscosa del municipio el Carmen Norte de Santander entre los años 2010-2020 utilizando imágenes satelitales*. Obtenido de Repositorio Institucional UMNG: https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/39523?locale-attribute=en

QGIS. (s.f). *Datos vectoriales* . Obtenido de QGIS: https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/vector_data.html

QGIS. (s.f). *QGIS* . Obtenido de Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto: https://www.qgis.org/es/site/

Ramos Ramírez, Ó. A. (2018). *Mapeo y Análisis Espacial de Conflictos Territoriales para el Programa de Desarrollo con Enfoque Territorial del Catatumbo*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD: https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13980

Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993 - 2011. *Ecosistemas, 22*(3), 117-123. doi:10.7818/ECOS.2013.22-3.16

Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista Científica, 33*(3), 243-253. doi:https://doi.org/10.14483/23448350.13370

SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, R., & RÍOS-BARTRA, J. (17 de 12 de 2020). Crecimiento y dispersión poblacional mediante análisis SIG en el Distrito de la Banda de Shilcayo, San Martín (2007-2017). *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 6*(1), 23-30. doi:https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1.1402

SGC. (2019). *Servicio Geológico Colombiano*. Recuperado el 06 de 10 de 2022, de https://www2.sgc.gov.co/Bienal-Nacional/Paginas/V-Bienal/Gestion-del-Riesgo-Volcanico.aspx

Sobrino, J., Jiménez-Muñoz, J., & Paolini, L. (2004). Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT TM5. *Remote Sensing of Environment, 90*, 434-440. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003

Tetzner, D. (03 de 11 de 2020). *Glaciares y volcanes, una relación de dependencia entre el hielo y el fuego*. Obtenido de https://www.glaciareschilenos.org/ciencia/glaciares-y-volcanes-una-relacion-de-dependencia-entre-el-hielo-y-el-fuego/

UNODC. (2021). *Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos.* Bogotá: UNODC-SIMC. Obtenido de https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Colombia/INFORME_MONITOREO_COL_2021.pdf

USGC. (s.f). *ASTER Nivel 1 Precisión Terreno Corregido Radiancia registrada*. Obtenido de DATOS DE LA TIERRA: https://lpdaac.usgs.gov/products/ast_l1tv003/

USGC. (s.f). *DATOS DE LA TIERRA*. Obtenido de USGC: https://lpdaac.usgs.gov/products/ast_l1tv003/

USGC. (s.f). *MISIONES LANDSAT*. Obtenido de LANDSAT 8: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8

USGC. (s.f). *MISIONES LANDSAT*. Obtenido de Puntos de control de tierra: https://www.usgs.gov/landsat-missions/ground-control-points

USGC. (s.f). *MISIONES LANDSAT*. Obtenido de Geometría Landsat: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-geometry

WORLD BANK. (06 de 10 de 2022). *Desarrollo Urbano*. Obtenido de The World Bank: https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview

Crecimiento urbano La Gabarra

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	0%	3%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Rafael Enrique Corrales Andino, Vilma Lorena Ochoa López. "Teledetección y SIG, Herramientas de Gestión en la adaptación al Cambio Climático, Cuenca Alta del Río Goascorán, Honduras", Ciencias Espaciales, 2018 Publicación	1%
2	Jaime Yelsin Rosales Malpartida. "Análisis de imágenes satelitales Landsat 8 por componentes principales y MNF para la detección de zonas del derrame de petróleo Repsol en la Costa Peruana", Dataismo, 2022 Publicación	<1%
3	Rodrigo Sigueñas, Leonidas Ocola, Jhon Guerrero. "Vigilancia de la salinidad del suelo en cultivos de arroz en Lambayeque, periodo 2001-2014 utilizando imágenes de satélite y conductividad eléctrica", Revista de Investigación de Física, 2021 Publicación	<1%

4	"XXV IUFRO World Congress: Forest Research and Cooperation for Sustainable", XXV IUFRO World Congress: Forest Research and Cooperation for Sustainable, 2019 Publicación	<1 %
5	Antonio J. Sanhouse-Garcia, Yaneth Bustos-Terrones, Jesús Gabriel Rangel-Peraza, Alberto Quevedo-Castro, Carlos Pacheco. "Multi-temporal analysis for land use and land cover changes in an agricultural region using open source tools", Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2017 Publicación	<1 %
6	Olga Lucía Ocampo López, Karen Castañeda Peláez, Jorge Julián Vélez Upegui. "Caracterización de los ecotopos cafeteros colombianos en el Triángulo del Café", Perspectiva Geográfica, 2017 Publicación	<1 %
7	JUAN GUILLERMO LOZANO ARANGO. "APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN AL ESTUDIO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS HUMEDALES. CASO DE ESTUDIO HUMEDALES ESPAÑOLES", Universitat Politecnica de Valencia, 2016 Publicación	<1 %
8	Yandy Rodríguez Cueto, Adonis Ramón Puebla. "Evaluación de modelos para generar	<1 %

rutas de conectividad entre áreas naturales protegidas en Granma, Cuba", Revista de Ciencias Ambientales, 2022
Publicación

---

9 Alejandro Coca-Castro, Maycol A. Zaraza-Aguilera, Yilsey T. Benavides-Miranda, Yeimy M. Montilla-Montilla et al. "Evaluación de algoritmos de clasificación en la plataforma Google Earth Engine para la identificación y detección de cambios de construcciones rurales y periurbanas a partir de imágenes de alta resolución", Revista de Teledetección, 2021 <1 %
Publicación

---

10 M. Ramírez, L. Martínez, M. Montilla, O. Sarmiento, J. Lasso, S. Díaz. "Obtención de coberturas del suelo agropecuarias en imágenes satelitales Sentinel-2 con la inyección de imágenes de dron usando Random Forest en Google Earth Engine", Revista de Teledetección, 2020 <1 %
Publicación

---

11 Samanta María Espinoza Rivera, María Dolores Álvarez Arzate. "Factores geográficos en la evolución urbana de la zona central histórica de la ciudad de Tipitapa, Nicaragua 1946-2020", Revista Científica de FAREM-Estelí, 2021 <1 %
Publicación

12	Anna María Franco Gantiva. "Conflictos socioambientales en Antioquia tras la implementación del Acuerdo de Paz. Entre la construcción de la paz territorial y de la paz ambiental", Estudios Políticos (Medellín), 2020 Publicación	<1 %
13	Bimael Justo Quispe Reymundo, Ronald Héctor Révolo Acevedo. "Temperatura superficial y estado de la vegetación del bosque de Polylepis spp, distrito de San Marcos de Rocchac, Huancavelica – Perú", Enfoque UTE, 2020 Publicación	<1 %
14	David Vinué Visús. "Estimación de la biomasa forestal con imágenes de Sentinel-2 para la mejora de la gestión forestal en zonas mediterráneas", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1 %
15	Carlos Pocasangre, Luis Castillo, Carlos Martinez, Andrés García, Douglas Rivas, Rubén Henríquez. "Mapa de flujo de calor radiante de El Salvador utilizando teledetección satelital y procesamiento de datos", Revista Minerva, 2022 Publicación	<1 %
16	Diana Isabel Clavijo Rojas. "Evaluación de Impactos Socioambientales en pequeñas	<1 %

comunidades bajo el enfoque de los Sistemas Socioecológicos: el caso de la minería ilícita del oro en el departamento del Chocó-Colombia", Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA), 2021
Publicación

---

17 Edwar A. Calderón. "Chapter 6 Invisible Territories: The Visibility of an Urban Crisis in Medellín", Springer Science and Business Media LLC, 2021 <1 %
Publicación

---

18 Francisco Javier Arias Vargas. "Actividad emprendedora de los millennials en Antioquia (Colombia)", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 <1 %
Publicación

---

19 K. Rouibah, M. Belabbas. "Applying Multi-Index approach from Sentinel-2 Imagery to Extract Urban Area in dry season (Semi-Arid Land in North East Algeria)", Revista de Teledetección, 2020 <1 %
Publicación

---

20 "Sistemas agroalimentarios nacionales y COVID-19 en Colombia: 1. Análisis de la respuesta en políticas", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021 <1 %
Publicación

21	ANA-MARIA PAYA MARTINEZ. "Estudio de la interrelación entre el eco-diseño y la eco-innovación e identificación de aspectos clave en la innovación sostenible en un sector industrial: aplicación al sector del automóvil", Universitat Politecnica de Valencia, 2013 Publicación	<1 %
22	Gisou Díaz Rojo. "Ajuste y predicción de la mortalidad. Aplicación a Colombia", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1 %
23	Sugenith Margarita Arteaga Castillo. "Cultivos para el cambio climático: selección y caracterización de variedades de judía (Phaseolusvulgaris L.) y Phaseolus lunatus tolerantes a la sequía y salinidad", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1 %
24	Ana Karen Osuna-Osuna, José De Jesús Díaz-Torres, José De Anda-Sánchez, Edgardo Villegas-García et al. "Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010", Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 2015 Publicación	<1 %

25	Elvia Isabel Casas Matiz. "DISEÑO ECOSISTÉMICO: modelo aplicado desde el beneficio ambiental integral a la reserva Thomas Van Der Hammen.", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1 %
26	Mara Luana Vallejos Mihotek, Juan Gregorio Rejas Ayuga. "Análisis de las migraciones y el cambio climático", Migraciones. Publicación del Instituto Universitario de Estudios sobre Migraciones, 2022 Publicación	<1 %

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 5 words
Excluir bibliografía	Activo		