

ANÁLISIS DEL ÁREA DE COBERTURA VEGETAL EN EL CRECIMIENTO URBANO
DE LA CIUDAD DE PASTO, NARIÑO.

DAVID ANDRÉS CALVACHE MUÑOZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS
DE POSTGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS
MAESTRÍA EN AGROFORESTERIA TROPICAL
2018

ANÁLISIS DEL ÁREA DE COBERTURA VEGETAL EN EL CRECIMIENTO URBANO
DE LA CIUDAD DE PASTO, NARIÑO.

DAVID ANDRÉS CALVACHE MUÑOZ

Trabajo de grado para optar el título
MAGISTER EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

Director:
JORGE FERNANDO NAVIA ESTRADA, PhD

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS
DE POSTGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS
MAESTRÍA EN AGROFORESTERIA TROPICAL
2018

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de grado son de responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1 del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Académico de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

JORGE FERNANDO NAVIA ESTRADA
DIRECTOR

HUGO FERNEY LEONEL
JURADO DELEGADO

DIEGO ANDRÉS MUÑOZ GUERRERO
JURADO DELEGADO (E)

ÁLVARO JAVIER CEBALLOS
JURADO EVALUADOR

San Juan de Pasto, diciembre de 2018.

RESUMEN

El proceso de urbanización modifica y elimina componentes biológicos de la morfología de una ciudad, donde la cobertura vegetal se ve reemplazada en su mayoría por superficies grises. Para identificar los cambios de dicha cobertura en San Juan de Pasto, se realizó un análisis multitemporal con imágenes satelitales LANDSAT en un periodo de 27 años (1989 -2016), utilizando el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) evidenciando una pérdida de cobertura vegetal urbana, para las doce comunas que conforman la ciudad. De la misma manera se aplicaron procesos automatizados con el fin de obtener indicadores como Presencia de Vegetación, Superficies Impermeables, Humedad Superficial y Temperatura superficial, todos estos relacionados con el área de cobertura vegetal urbana. Posteriormente, se determinaron los efectos de las pérdidas de cobertura realizando una matriz de análisis guiada hacia la identificación de factores de crecimiento urbano y sus consecuencias en el valor de paisaje, estimando mediante adjetivos clasificados en categorías. Finalmente, se logró identificar la pérdida de área de cobertura vegetal marcada en algunas comunas, con lo que el incremento de la temperatura superficial fue evidente, de la misma manera la pérdida de humedad superficial, lo que llevó de la mano la baja valoración del paisaje para habitantes urbanos; cabe mencionar que las comunas del centro de la ciudad, comuna 1 y comuna 2 no sufrieron cambios significativos en su morfología, sin embargo sus temperaturas obtuvieron los índices más altos, por otro lado el plan de ordenamiento territorial actual no contempla de manera óptima el componente vegetal dentro de sus políticas, por lo que en base a esta información es importante replantear el Plan de Ordenamiento territorial (POT) de la Ciudad San Juan de Pasto 2014-2027, debido al desconocimiento de las políticas y acciones de tipo ambiental que busque fortalecer el componente vegetal urbano.

ABSTRACT

The urbanization process modifies and eliminates biological components of a city's morphology, whereby plant cover is replaced mostly by grey surfaces. We aimed to identify the changes in plant cover in San Juan de Pasto, through a multitemporal analysis with LANDSAT satellite images from a 27-year time period (1989-2016). The Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) showed a loss of urban plant cover for the 12 city districts. Likewise, we applied automated processes in order to obtain indicators such as presence of vegetation, impermeable surfaces, surface humidity, and surface temperature; all of which are related with urban plant cover. Furthermore, we determined the effects of cover loss by a matrix analysis approach that focused on identifying factors influencing urban growth and their consequences on the landscape value, which was estimated based on adjectives classified into categories. Finally, we identified a marked loss in plant cover in several districts, resulting in an evident increase in surface temperature. In the same manner, this led to a loss of surface humidity, which was associated with a low landscape value for urban inhabitants. It is noteworthy that the downtown districts, districts 1 and 2, did not undergo significant changes in their morphologies; however, these districts exhibited the highest temperatures. On the other hand, the current land use plan does not optimally include the plant component in its policies. Thus, the information shown herein highlights the importance of re-structuring

the 2014-2017 Land Use Plan of the city of San Juan de Pasto, due to the lack of knowledge of the policies and environmental actions that seek to strengthen the urban plant cover component.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	5
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
GLOSARIO.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. OBJETIVOS	14
1.1. Objetivo General	14
1.2. Objetivos Específicos	14
2. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA.....	15
3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	17
4. MARCO TEÓRICO.....	19
4.1. Cobertura Vegetal.....	19
4.2. Área Verde Urbana.....	20
4.3. Ecosistemas Urbanos.....	21
4.4. Crecimiento Urbano.....	22
4.5. Sostenibilidad y calidad de vida.....	23
4.6. Indicadores Biofísicos.....	24
4.7. Sensores Remotos.....	24
5. ESTUDIOS DE CASO.....	25
6. METODOLOGÍA.....	29
6.1. Localización.....	29
6.2. MATERIALES.....	30
6.2.1. Datos Digitales.....	30
6.2.2. Información Secundaria.....	32
6.2.3. Información Primaria.....	32
6.2.4. Software.....	33
6.3. MÉTODOS.....	
6.3.1. Análisis Multitemporal.....	36

6.3.2. Generación de indicadores biofísicos.....	38
6.3.2.1. Cobertura Vegetal.....	38
6.3.2.2. Humedad en la vegetación.....	40
6.3.2.3. Superficies impermeables.....	41
6.3.2.4. Temperatura superficial terrestre.....	43
6.3.3. Identificación de factores de crecimiento urbano.....	45
6.3.4. Estimación del valor del paisaje.....	46
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
7.1. Cambios de área de cobertura vegetal urbana.....	48
7.2. Análisis de indicadores biofísicos.....	61
7.3. Factores de crecimiento urbano.....	69
7.4. Valoración del paisaje.....	76
8. OBSERVACIONES FINALES.....	81
9. CONCLUSIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de las imágenes Landsat 5 y 8.....	31
Tabla 2. Características aeronave Dji-Phantom 4.....	31
Tabla 3. Características cámara Dji-Phantom 4.....	31
Tabla 4. Software y entidades empleadas para la realización del trabajo.....	33
Tabla 5. Índices espectrales usados en la literatura científica para la detección de cubierta vegetal.....	39
Tabla 6. Índices espectrales usados en la literatura científica para la detección de contenido de agua en la vegetación.....	41
Tabla 7. Lista de adjetivos jerarquizados y su correlación con la escala universal de valores.....	45
Tabla 8. Área de vegetación ajustada al suelo, por comuna. Periodo 1989 - 2016.....	50
Tabla 9. Porcentaje de adición y sustracción para cada comuna. Periodo 1989 - 2016.....	53
Tabla 10. Área de cobertura vegetal estimada por fuente de datos.....	55
Tabla 11. Resultados de valoración del paisaje en comunas priorizadas.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización zona de estudio.....	29
Figura 2. Esquema metodológico.....	35
Figura 3. Imágenes NDVI para los años 1989 y 2016	48
Figura 4. Imágenes SAVI para los años 1989 y 2016	49
Figura 5. Imágenes de detección de cambio Aditivo y Sustractivo de SAVI.....	50
Figura 6. Sector de cambio aditivo en comuna 7. Anganoy.....	51
Figura 7. Sector de cambio sustractivo en comuna 7. La Aurora.....	52
Figura 8. Sector de cambio aditivo en comuna 12. Villarecreo.....	53
Figura 9. Sector de cambio aditivo en comuna 6. El Niza.....	54
Figura 10. Mapa de diferencia de cambio SAVI.....	56
Figura 11. Sector de cambio sustractivo. Morasurco.....	57
Figura 12. Grafica de diferencia de cambio SAVI para cada comuna, periodo 1989-2016.....	58
Figura 13. Ortofotomosaico de identificación de cobertura vegetal. Sector Centro	59
Figura 14. Fotografías aéreas cobertura vegetal en la ciudad de Pasto.....	60
Figura 15. Imágenes de NDVI para los años 1989 y 2016	61
Figura 16. Imágenes SAVI para los años 1989 y 2016.....	61
Figura 17. Imágenes NDWI para los años 1989 y 2016.....	62
Figura 18. Imágenes LST para los años 1989 y 2016.....	62
Figura 19. Imágenes NDBI para los años 1989 y 2016.....	62
Figura 20. Gráfico de tendencia para los indicadores de vegetación por comuna...	63
Figura 21. Gráfico de tendencia para los indicadores de cubiertas impermeables...	65
Figura 22. Gráfico de tendencia para los indicadores de humedad.....	66
Figura 23. Gráfico de tendencia para los indicadores de temperatura.....	67
Figura 24. Planes de vivienda en comunas Surorientales.....	70
Figura 25. Planes de vivienda en comunas Surorientales.....	70
Figura 26. Déficit de Vivienda en Pasto.....	71
Figura 27. Paisaje zonas verdes urbanas Comuna 12. Sector La Carolina Nuevo Sol.....	78

Figura 28. Paisaje zonas verdes urbanas Comuna 10. Sector La Floresta Aranda.....	78
Figura 29. Paisaje zonas verdes urbanas Comuna 9. Sector Torobajo Morasurco	78

GLOSARIO

Aerofotografías o Fotografía Aérea: Foto de la superficie del terreno en blanco y negro, color o en longitudes de onda del infrarrojo, que ha sido capturada con una cámara fotogramétrica análoga o digital desde un avión en vuelo. Son fuente de información básica para la elaboración de cartografía del territorio, planificación urbana, prospección agrícola, minera y de recursos naturales en general.

Análisis multitemporal: Análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las de coberturas interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas.

Coberturas vegetales: Dentro de las categorías temáticas identificadas por el proyecto SIMCI durante el proceso de clasificación de las imágenes satelitales, el grupo de coberturas vegetales representa las áreas de vegetación tales como: bosque primario y selva tropical, bosque secundario, rastrojos altos, rastrojos bajos, pastos y cultivos lícitos.

Landsat: Sistema de teledetección civil de información satelital. Este sistema realiza un levantamiento de datos constante de información de la superficie terrestre desde el espacio. El primer satélite LandSat fue lanzado en 1972 y el más reciente, el LandSat 7 en 1999, encontrándose actualmente en funcionamiento los satélites LandSat 5 y LandSat 7. Las imágenes del sistema LandSat, por su tradición en el levantamiento de información, por su cobertura periódica, resolución espacial y multispectral representan una herramienta valiosa para la realización de estudios de la dinámica de los recursos naturales, programas de seguimiento global, seguimiento de bosques y planeación de desarrollo a nivel regional.

Sensores remotos: Sistemas de detección y medida a distancia, generalmente empleados desde aeronaves o satélites, con los que se obtiene información

meteorológica, oceanográfica, sobre la cubierta vegetal, etc. Para tales medidas se utilizan sistemas de detección activos y pasivos.

Teledetección: Adquisición de información a distancia de un objeto o fenómeno, ya sea usando instrumentos de grabación o instrumentos de fotografía o escaneo.

Urbanización: Progresiva concentración en núcleos urbanos de población, actividades económicas e innovaciones socioculturales, así como su difusión en el entorno

INTRODUCCIÓN

Los procesos de urbanización a nivel mundial han sido considerados como indicadores de progreso y modernización, las ciudades han crecido bajo una dinámica temporal baja y una dinámica espacial alta, causando en gran medida, la modificación y/o degradación del ambiente, eliminación de especies arbóreas de importancia para el habitante urbano y deterioro paisajístico, dando pie a contaminación del agua y del aire, reducción de la cobertura vegetal y áreas para la producción de alimentos, aumento de la temperatura, pérdida de confort y bienestar de los pobladores, altas demandas de recursos energéticos, entre otros impactos (Musse, 2014).

Desde el año 2013 gran parte de la población colombiana se ha reubicado en zonas urbanas, cerca del 80% de la población a nivel nacional se encuentra en un territorio que representa el 1.2% del área total del país, originando afluencias de personas en centros poblados con poca capacidad de sostenimiento (BIRF, 2015; Sánchez & España, 2012).

El crecimiento poblacional urbano exige una modificación y eliminación de componentes en la morfología de una ciudad, tales como especies de fauna, coberturas vegetales, y fuentes hídricas generando impactos directos sobre el medio ambiente (Colombia, Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, 2008). Uno de los componentes más afectados por el crecimiento en las ciudades es la cobertura vegetal, la cual se constituye en un elemento fundamental para el habitante urbano, debido a los

beneficios otorgados, destacándose: el aminoramiento de la intensidad de las islas de calor (Akbari & Konopacki, 2005), el secuestro de CO₂ y la reducción de la polución del aire (McPherson, 1996; McPherson & Simpson, 1998; Nowak *et al.*, 2006).

Los anteriores aspectos están directamente relacionados con la salud y bienestar del habitante urbano, puesto que impactan sobre su calidad de vida al mejorar las condiciones del aire, regular la temperatura y ofrecer espacios para realizar actividades físicas y recreacionales que aportan a la reducción del estrés (Kaplan & Kaplan, 1989).

En el departamento de Nariño existe una continua intervención humana que ha modificado de una manera permanente la vegetación original; la cobertura vegetal se ha ido modificando poco a poco generando parches de áreas que antes eran vegetales, en potreros y zonas listas para construcción, muchas especies nativas han desaparecido al urbanizarse grandes áreas y otras debido a las actividades agropecuarias, (Revista Nariño, 2007) así mismo, la capital del departamento, y la zona urbana han generado cambios muy notorios en su estructura, ampliando la oferta de vivienda, infraestructura y servicios mediante obras civiles, las cuales han afectado el componente vegetal modificando o eliminando por completo el área verde.

Los procesos de urbanización evidencian lo anteriormente mencionado, como por ejemplo la apertura de la vía Panamericana, la cual trajo consigo transformaciones drásticas en el paisaje y los recursos naturales (Amaguaña *et al.*, 2014). Además, la extracción de materiales para la construcción, degradación de recursos, afectación en el ruido, aire y agua hasta hace poco con bajo control gubernamental, ha conducido a un deterioro significativo del paisaje, a la contaminación de las fuentes de agua y la polución del aire, generando impactos negativos sobre la población y la cobertura vegetal que forman parte del casco urbano (Corporación Autónoma Regional de Nariño, 2014).

Con base al planteamiento anterior, es fundamental conocer las condiciones biofísicas vinculadas a la cobertura vegetal, tales como, área de cobertura vegetal, temperatura superficial terrestre, contenido de humedad en la vegetación y superficies

impermeables; de igual manera analizar los cambios que sucedidos a través del tiempo, identificando factores que provocan dichos cambios, esto nos lleva a generar una evaluación subrayando la importancia y el valor de la cobertura vegetal en el desarrollo y crecimiento urbanístico de la ciudad de Pasto. Los sistemas de información geográfica permitieron identificar, evaluar y analizar la cobertura vegetal urbana, mediante insumos derivados de sensores remotos, ideales para obtener datos e información que conducen al estudio de aspectos relacionados con el crecimiento urbano y sus consecuencias (Chuvieco, 2006).

Esta investigación usó como recurso aerofotografías de gran detalle, obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados; se fotografiaron las zonas de la ciudad con cambios significativos evaluados durante los últimos 27 años, de la misma manera se generó una cartografía espaciotemporal para las 12 comunas que componen el casco urbano, derivada de imágenes satelitales con el fin de identificar y analizar indicadores biofísicos urbanos tales como, cobertura vegetal, contenido de humedad en la vegetación, temperatura superficial y cobertura impermeable, lo que permitió un análisis en los beneficios otorgados por la presencia o no de la vegetación en el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Analizar el área de cobertura vegetal en el crecimiento urbano en la ciudad de Pasto, Nariño.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar los cambios de área de cobertura vegetal urbana en un periodo de 27 años.
- ✓ Evaluar espacio-temporalmente indicadores biofísicos urbanos, provenientes de sensores remotos.
- ✓ Determinar los efectos del crecimiento de la ciudad de Pasto sobre la cobertura vegetal urbana.

2. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

El estudio de los factores biofísicos existentes en un territorio permite estimar el estado actual de sus habitantes, factores como áreas de cobertura vegetal, temperatura superficial urbana, calidad del aire, agua y ruido, área de cobertura impermeable, entre otros, impactan directamente sobre la calidad de vida humana (Nichol & Wong, 2005).

Desde el año 2014, la dinámica demográfica del municipio de Pasto ha evidenciado un incremento anual de 1.37%, al año 2027 se proyecta un crecimiento de 22.64%, lo que representaría una población estimada de 511.000 habitantes de los cuales 424.130 pertenecerían al casco urbano (Alcaldía municipal de Pasto, 2014), de acuerdo a estos valores para el año 2018 el municipio cuenta con 434.486 habitantes, 360.238 en el casco urbano y 74.248 en el sector rural, aproximadamente, cifras que indican una evidente expansión de la ciudad obligando a la sustitución de áreas verdes por áreas impermeables debido en gran medida a la oferta exponencial de vivienda e infraestructura, en ese sentido la ciudad se encuentra en una preocupante cifra de 2.2 m²/hab. de espacio público efectivo en el sector urbano, presentando un escenario deficitario en un 12.8 m²/hab con respecto a los 15 m²/hab como valor deseado y propuesto por la organización mundial de la salud (OMS, 2010) y que fue acogida por la constitución Colombiana en el artículo 14 del Decreto 1504 de 1998 el cual estableció la categoría de Espacio Público Efectivo EPE (Alcaldía municipal de Pasto, 2014). La cifra

previamente mencionada corresponde al espacio público de carácter permanente, conformado por zonas verdes, parques, plazas y plazoletas, por lo tanto, los valores de las zonas verdes urbanas representadas en esta cifra también son bajas aportando apenas el 2.30% del territorio urbano y representando 1.3 m²/hab (Alcaldía municipal de Pasto, 2014).

Este crecimiento demográfico acelerado mencionado anteriormente, sumado a una urbanización no planificada y carencia de métodos y estudios del paisaje biofísico de las ciudades pueden generar cambios negativos sobre el habitante urbano (OMS, 2010). Los cambios de uso de suelo, el aumento de cubiertas impermeables, la variación del ciclo hidrológico (disminución de la infiltración y la evapotranspiración), la alteración de la temperatura de la superficie y del aire, incremento de la presión sobre el agua, la energía, la infraestructura (Voogt & Oke, 2003; Chudnovsky *et al.*, 2004; Kato & Yamaguchi, 2007; Liang & Weng, 2011; Santana *et al.*, 2011) son evidentemente las problemáticas presentadas por ausencia de cobertura vegetal. Esta investigación resuelve, la problemática sintetizada en las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto se ha modificado el área de cobertura vegetal urbana en los últimos 27 años?
- ¿Cuál es el comportamiento de los indicadores biofísicos urbanos en relación a la cobertura vegetal urbana?
- ¿Cuáles son los efectos del crecimiento de la ciudad sobre la cobertura vegetal urbana?

3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El entendimiento del concepto “ciudad” y su relación con el componente vegetal es de suma importancia, debido a la incidencia directa sobre el habitante urbano. Este término está vinculado con palabras como crecimiento exponencial, aumento de la población, consumo energético, degradación de fuentes de agua, emisión de CO₂ y absorción de este por parte de los mismos habitantes, por lo que su estudio y la relación con los demás componentes es no solamente necesario sino, obligatorio.

El análisis de la cobertura vegetal en una ciudad conlleva al conocimiento de factores biofísicos presentes, causas y consecuencias de los cambios presentados en este importante componente urbano y sus efectos sobre la población, temas como la inhalación y exposición a largo plazo de gases contaminantes y materia particulada, hacen parte de efectos generados por la pérdida de cobertura vegetal urbana, así mismo las alteraciones en la atmósfera, el clima y el ecosistema urbano. (Amestoy, 2010) define como los principales responsables de este efecto al vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y gas metano (CH₄), indicando que el vapor de agua es el principal responsable de dicho efecto, causado directamente por la alteración del ciclo hidrológico debido a procesos de infiltración y evapotranspiración en la ciudad (Voogt & Oke, 2003).

En ese sentido, la obtención de factores biofísicos urbanos mediante sensores remotos, permite una evaluación sobre el espacio y el tiempo, bajo un enfoque confiable, comparable y asequible. (Lakes & Kim, 2012), esto convierte a la teledetección en una herramienta de bajo costo, ya que suministra variables biofísicas periódicamente, en escalas regionales hasta locales, óptimas para el análisis de ciudades. (Chuvieco, 2006).

Es importante tener en cuenta la deficiente generación de información sobre temáticas urbanas en relación con cobertura vegetal, es claro que el municipio de Pasto carece de métodos para realizar estimaciones con una eficacia temporal de factores que a largo plazo inciden sobre la calidad de vida del habitante urbano, por ello, en los procesos de toma de decisiones, por parte de las instituciones de planificación municipal, éste tipo de información no es considerada, normalmente porque no existe o por la dificultad para generarla (Santana *et al.*, 2011; Colombia, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008). Asimismo, este tipo de investigaciones motiva el desarrollo de nuevos estudios y propuestas en otras disciplinas como la planificación urbana, la ingeniería de materiales y la arquitectura, para contrarrestar los impactos negativos del proceso de urbanización mediante la implementación de nuevas obras que aumenten los espacios públicos y los parques, el uso de techos verdes o de cubiertas vegetales, la recuperación de humedales y riveras, el aumento del albedo de los materiales superficiales de la ciudad que eviten la conformación de cañones urbanos (Chicas, 2012).

4. MARCO TEÓRICO

4.1. *Cobertura Vegetal*

Es la expresión integral de la interacción entre los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado, es decir es el resultado de la asociación espacio-temporal de elementos biológicos vegetales característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales (UNAD, 2013). En otras palabras, esta comprende la vegetación que ocupa un espacio determinado dentro de un ecosistema, cumple funciones de gran importancia como la captación y almacenamiento de energía, refugio de la fauna, agente antierosivo del suelo, medio regulador del clima local, atenuador y reductor de la contaminación atmosférica y del ruido, fuente de materia prima y bienestar para el hombre (Alcaldía Municipal de Piendamó, 2002).

La cobertura vegetal es un componente importante dentro de la estructura urbana puesto que se le atribuyen características como: regular la temperatura, al hacer parte del mecanismo de evapotranspiración y permitir con este un efecto de enfriamiento y confort; proporcionar sombra, realiza el papel de agente de filtrado y reciclaje de

contaminantes, liberar oxígeno, servir de hábitat para la fauna urbana y dar un aspecto estético (Nichol & Wong, 2005).

Algunos de estos beneficios urbanos brindados por la cobertura vegetal pueden ser evaluados mediante índices de vegetación, generados en su mayoría a partir de imágenes satelitales. Índices que permiten diferenciar cubiertas vegetales, identificando suelos desnudos y cuerpos de agua los cuales se analizan a partir de patrones de reflexión y absorción de la radiación por parte de la vegetación verde, dado que el pigmento clorofila presente en las células de las plantas absorbe fuertemente parte de la luz visible (desde 0.40 hasta 0.70 micras), especialmente la azul y roja, para efectuar el proceso de fotosíntesis; por el contrario estas células reflejan intensamente la radiación en el infrarrojo cercano (NIR), (desde 0.76 hasta 0.90 micras) debido a que la absorción de esta energía puede dañar los tejidos de la planta a causa del sobrecalentamiento. El índice más empleado para hallar la dinámica de la vegetación, es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual, además, presenta la ventaja de reducir la influencia de los efectos atmosféricos (Gates, 1980 citado por Senanayake *et al.*, 2013).

4.2. Área Verde Urbana

Según Roibon & Scornik (2004), el concepto de área verde o espacio abierto de uso público es relativamente nuevo y en continuo proceso de evolución. Por su parte Sorensen *et al.* (1997), afirman que este concepto se origina en el reconocimiento de que las áreas verdes pueden y deberían ser utilizadas de manera integrada y holística, para muchos otros beneficios sociales y ambientales, más allá del uso recreativo o estético. Consecuentemente, Gómez (2003) sugiere que el papel de estas áreas, exclusivamente, como parte de la ornamentación de la ciudad, desdibuja su importancia como elementos estructurantes de la misma y determinantes en la calidad de vida de sus habitantes. Desde otro contexto Zulauf (1997) afirma que las áreas verdes en un ambiente urbano podrían ser entendidas como “vestigios del sitio primitivo natural dentro del área central y con sus alrededores edificados, que incluye un anillo periférico de transición, mostrando fuertes señales de devastación ambiental, la cual ocurrió aún antes que el área urbana comenzara a ser construida, devastación que todavía está en

evolución”. Según el autor, avenidas, edificios, estadios, son elementos estáticos de la estructura urbana; los parques de reserva forestal son elementos naturales que permanecen, los cuales deben ser protegidos y manejados técnicamente para adaptarlos a la realidad urbana con la menor modificación posible; canales, jardines, orillas de las vías plantadas con árboles son productos de la ingeniería y en consecuencia, son productos artificiales construidos con recursos naturales.

En Colombia, el concepto de zona verde se trabaja de manera explícita en la normatividad mediante el Decreto 1504 de 1998 (artículos 12, 21, 25 y 28), definiéndola más en el sentido de áreas residuales de los procesos de urbanización o resultantes de las cesiones de urbanizadores a los municipios, sin incluir aquellas áreas verdes urbanas naturales asociadas al sistema orográfico o al sistema hídrico, ni aquellas áreas con cobertura vegetal o arborización asociada a componentes artificiales o construidos del espacio público como parques, plazas o plazoletas. Siendo éste el concepto que retomaron las entidades orientadoras y gestoras de los procesos de planeación urbana y ordenamiento territorial (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

Para la ciudad de Bogotá D.C., el Consejo de Bogotá D.C. en el Proyecto de Acuerdo No. 375 de 2005, habla del concepto de área verde urbana haciendo referencia a una noción más integral como lo es un “Sistema de áreas verdes urbanas”, el cual está conformado por aquellas áreas, que además de cumplir una función ecológica y ambiental, desempeñan una función social y de ornamentación, y por tanto constituyen zonas de protección, como las zonas verdes urbanas, las rondas de los ríos y humedales, y los cerros que enmarcan la ciudad (Concejo de Bogotá D.C., 2005). Siendo de especial interés este concepto de sistema, el cual incluye las zonas verdes urbanas como espacios cuya función básica es la recreación, el descanso público y la ornamentación de la ciudad, tales como parques y plazas de barrio, los parques metropolitanos, los separadores viales verdes, los parques cementerio, los centros o parques deportivos y las áreas institucionales especialmente colegios, universidades, jardines botánicos y clubes. Y las otras zonas que hacen parte de este sistema, son las zonas verdes de protección, es decir, las rondas de los ríos y humedales y los cerros.

4.3. *Ecosistemas Urbanos*

Un ecosistema es una unidad ecológica compuesta por componentes físicos (abióticos) y biológicos (bióticos) que interactúan por medio de relaciones interconectadas cuyos flujos de energía manifestados en los ciclos de materiales entre los componentes, determinan la estructura trófica y la diversidad biológica (Gooch, 2011). Los ecosistemas pueden ser naturales o urbanos cuando son modificados artificialmente por condiciones ambientales y por el hombre, convirtiéndolos en el tipo de ecosistema más complejo (Zhang, *et al.*, 2006).

Claramente, un ecosistema urbano conserva los componentes de un ecosistema terrestre; en su aspecto biótico presenta una mayor carga humana debido a la alta densidad poblacional que causa una pérdida en las características de auto-regulación y auto-sostenimiento del sistema ecológico por las fuertes interrelaciones e interacciones de los subsistemas económicos, sociales y naturales (Makoto, 1977; Yang, *et al.*, 2010). Para entender la estructura, la función y las dinámicas de los ecosistemas urbanos se requieren dos tipos de estudios. Primero, los estudios internos de los ecosistemas urbanos, los cuales comprenden los procesos, impactos y modelamiento de la urbanización. Segundo, las interrelaciones entre los ecosistemas urbanos y otros asentamientos a través de relaciones multiescala (Makoto, 1977).

Otra concepción asociada a ecosistema urbano, es presentada a partir de la heterogeneidad espacial en materiales, propiedades, componentes e interacciones dentro de un modelo sistemático donde sus componentes fundamentales delimitables y cuantificables considerados como cubiertas del suelo – land cover (superficies impermeables, vegetación y suelos) - impactan sobre las dinámicas y distribución de la energía y la humedad del complejo urbano (Ridd, 1995). El impacto humano sobre las cubiertas del suelo se renombra como usos del suelo – land use – que se describe como un conjunto de actividades que el hombre realiza sobre las cubiertas del suelo de manera temporal o permanente, con el objetivo de modificarla o conservarla para obtener beneficios o servicios.

4.4. *Crecimiento Urbano.*

Ciudades pequeñas, como la de San Juan de Pasto, poseen una tendencia hacia una expansión urbana concéntrica, debido a que la población busca mantener una proximidad con el centro, zona en donde se agrupan las primordiales actividades y servicios de la localidad (Richardson, 1989), de la misma manera, cuando las ciudades se unen a lo largo de las carreteras con otras ciudades o poblaciones y se concentran con el centro urbano, se convierten en corredores urbanos donde se ubicarán respectivamente bienes y servicios.

La dinámica del crecimiento urbano se analiza principalmente por el aporte migratorio sumado al crecimiento natural de la población local (Castells, 1997), este crecimiento relacionado a la expansión urbana concéntrica genera un desbordamiento territorial hacia las periferias, evidente en la ciudad de Pasto. La expansión de las comunas periféricas durante la década del setenta y ochenta del siglo pasado, fueron reemplazando coberturas vegetales en espacio de tejido urbano, “urbanizar es hacer urbano, es convertir en poblado una porción de terreno o prepararlo para ello, abriendo calles o dotándolas de luz, pavimento y demás servicios urbanos”.

La configuración del espacio urbano en las ciudades latinoamericanas está siendo determinada por la activa participación del sector privado, cuya dinámica económica al parecer, determina los esquemas normativos de la planeación urbana local (Roncayolo, 1988). La inversión privada se ha convertido en un factor importante en el crecimiento urbano de las ciudades en Colombia; la estrategia empresarial busca nuevos lugares modificando los límites y la morfología urbana de la ciudad, su expresión en términos espaciales, ha sido un movimiento poblacional según el estrato de ingreso en algunos distritos periféricos urbanos (Ascher, 1992), entonces, el crecimiento urbano actual depende en gran medida del desarrollo de los sectores privados que generan infraestructura acelerada con el fin de alcanzar objetivos propios.

Lo que caracteriza a la ciudad latinoamericana es su rápida expansión física; hoy en día, se establece un debate no sólo en la capacidad para detener este crecimiento sino también, la manera en que las ciudades están creciendo. La revolución de las telecomunicaciones tiene una expresión espacial bastante clara. La ciudad latinoamericana, especialmente las principales metrópolis son el blanco para la

instalación de infraestructura de telecomunicaciones e informática, servicios especializados de alto nivel, lo mismo que servicios financieros (Blanco, 1996).

A este respecto, los elementos de juicio disponibles permiten sustentar la hipótesis de que este proceso está inmerso dentro del fenómeno del crecimiento policéntrico caracterizado por la aparición de distritos territoriales en la ciudad, habilitados por la inversión privada, constituyendo parte esencial de la dinámica de crecimiento urbano asociada a un cambio en la renta del suelo y, por ende, a la del crecimiento urbano.

La ciudad de San Juan de Pasto, a partir de su evolución, crecimiento y ocupación territorial, ha generado desplazamiento de áreas anteriormente ocupadas por vegetación, debido a necesidades o acciones que se requieren para el “desarrollo” de la ciudad, acciones y agentes que contribuyen a la dinámica de crecimiento que finalmente si no hay un diagnóstico, monitoreo y control afectarán el buen vivir del habitante urbano.

4.5. Sostenibilidad y calidad de vida

El término sostenibilidad ambiental se refiere a la relación particular entre los sistemas humano y ecológico que asegura la satisfacción de las necesidades humanas a largo plazo (World Commission on Environment and Development, 1987). Los habitantes de un territorio son quienes determinan el concepto de la calidad de vida, que trata de la apreciación individual que tiene cada uno de los habitantes de un espacio geográfico acerca de cómo los elementos internos (salud física y mental, educación, recreación, entre otros) y externos (ambiente físico) inciden en el nivel de bienestar, autoestima, felicidad y logro de sus metas.

4.6. Indicadores biofísicos

Desde la perspectiva de sostenibilidad, la principal preocupación recae sobre los impactos que generan las actividades humanas en los recursos naturales; esto ha motivado a concebir, a escala global, marcos y metodologías para la construcción de indicadores de sostenibilidad, denominados algunas veces como indicadores ambientales, cuyo objetivo primordial ha sido evaluar las condiciones biofísicas,

sociales, económicas y políticas de las ciudades y advertir acerca de la necesidad de generar cambios en ciertas acciones o comportamientos, como reduciendo las emisiones contaminantes, desarrollando políticas para la conservación del agua, de la vegetación y de la energía; aumentando la eficiencia de los recursos utilizados, entre otras estrategias (Van Bellen, 2002).

En este documento se denominó indicadores biofísicos a las variables empleadas para caracterizar propiedades físicas medurables o factores abióticos del ambiente urbano de la ciudad de San Juan de Pasto (temperatura, humedad y suelo), y a las variables bióticas o seres vivos del entorno, en el caso particular de la vegetación, calculados a partir de técnicas de teledetección mediante sensores remotos.

4.7. *Sensores remotos*

Dispositivos que, desde plataformas aéreas o espaciales, son capaces de capturar la energía electromagnética reflejada o emitida por las cubiertas presentes en la superficie terrestre o la atmósfera, permitiendo observar, medir u obtener información de los objetos o fenómenos de la superficie terrestre, a partir del análisis e interpretación de los datos adquiridos (Chuvieco, 2003).

5. ESTUDIOS DE CASO

Mena *et al.*, (2011) en su estudio denominado “Índices de área verde y cobertura vegetal para la ciudad de Parral (Chile), mediante Fotointerpretación y SIG”, se cuantificó y analizó la disponibilidad de áreas verdes y cobertura vegetal. Inicialmente, se cuantificó la arborización urbana a través de un muestreo aleatorio simple de veinticuatro unidades muestrales con mediciones en terreno combinadas con mediciones en las fotografías aéreas, de lo cual se obtuvo la superficie aportada. Posteriormente, se obtuvo la superficie de las áreas verdes existentes y de los espacios abiertos disponibles, mediante la utilización de los SIG y se calculó la superficie ocupada por la arborización urbana en espacios privados. Se obtuvo que la ciudad de Parral dispone actualmente de 12,72 ha de áreas verdes, equivalentes a 4,82 m²/hab, lo

cual implica una frecuencia de áreas verdes de 0,022 m²/m². En cuanto a los índices explicativos de disponibilidad, se estableció que la accesibilidad promedio a un área verde existente es de 327,2 m. A su vez, considerando una zona de influencia de 200 m en torno a las áreas verdes, se determinó que existen 5.160 viviendas que disponen del servicio básico (56,4%). Al incorporar los espacios abiertos disponibles, estos valores disminuyen considerablemente obteniéndose una accesibilidad promedio de 213,7 m y una cobertura de servicio de 79,2%. Finalmente, se estimó que la cobertura vegetal existente al interior de las manzanas urbanas (arborización urbana en espacios privados) representa un recurso importante, 17,8 veces mayor que la arborización urbana de calles, por lo que debería ser considerado dentro de los planes y políticas municipales.

Smardon (1988), realizó un estudio llamado “La percepción y la estética del entorno urbano: Análisis de la función de la vegetación”. En la primera parte de este trabajo se hizo una revisión del papel que desempeña la vegetación urbana en lo que se refiere a la conducta humana y la percepción de los entornos urbanos. Esto incluye una revisión de las funciones y beneficios de la vegetación urbana y los beneficios económicos de uso humano, las funciones instrumentales o fisiológicas y las funciones perceptivas, incluyendo beneficios sensoriales visuales y aspectos simbólicos. En la segunda parte del estudio se examina el papel de la vegetación urbana en la realización de estas diversas funciones ambientales a diferentes escalas y en diferentes contextos. Por último, se realizó una revisión de los medios para evaluar el cambio en la calidad de la vegetación urbana en el medio ambiente, así como el uso de vegetación para mejorar la calidad de percepción del medio ambiente urbano.

El estudio realizado por Sharpe *et al.*(1986), llamado “El destino de la vegetación natural en el desarrollo urbano de los paisajes rurales en el sureste de Wisconsin” En tres paisajes rurales con cobertura vegetal (cada 25 kilómetros) en el sureste de Wisconsin se investigó la urbanización, utilizando una base de datos espaciales con series de tiempo de uso de la tierra y la cubierta vegetal para 1937, 1963 y 1975. Además, los pobladores de las zonas forestales en estas zonas fueron encuestados para evaluar los tipos y la intensidad de la perturbación. Remanente la vegetación

natural y semi-natural como cercas con árboles en paisajes rurales sufrieron transformaciones complejas en la urbanización. Los Cambios de uso del suelo destruyeron algunas extensiones de bosques y sabanas, mientras que otros se quedaron en nuevos lugares que terminaron siendo compensación pérdidas. Los bosques y cercas son recursos para el desarrollo de las zonas de la zona urbana. Sin embargo, la mayoría de tales recursos vegetales de las zonas rurales se destruyeron durante la urbanización, en lugar de ser incorporado en la vegetación urbana.

Cerón & Ramos (2010), realizaron un estudio de la diferenciación socio-espacial de Pasto que permite estratificar los nuevos desarrollos urbanísticos y definir claramente sus fronteras. Dicho documento identifica las principales características y los diferentes patrones de crecimiento socioespacial de la ciudad. A partir de la segunda mitad del siglo XX, en especial, hacia la década de los 80's, la ciudad se consolida como tal, pues tuvo un crecimiento urbano importante. Se presentan la aparición de nuevos actores urbanos que modifican sustancialmente la ciudad.

Vista la ciudad a través del plano elaborado por planeación municipal, Pasto presenta una forma irregular. La estructura urbana de la ciudad se desarrolló, históricamente, a partir de un centro ubicado en una zona relativamente plana. La ciudad de San Juan de Pasto reúne en el centro histórico y como herencia colonial, las principales funciones administrativas, comerciales, financieras y culturales.

La construcción de la Avenida Panamericana, que atraviesa la ciudad de norte a sur, por el occidente del casco urbano, se constituyó en el eje vial que arrastró el crecimiento de la ciudad hacia el occidente, dando origen a un sector residencial importante de estratos socioeconómicos medios y medios altos. Caso contrario se observa, con el corredor comercial comprendido entre el centro, Torobajo y Avenida de los Estudiantes, constituido por centros comerciales, boutiques, y tiendas donde venden artículos de lujo; restaurantes de calidad gastronómica, sector de influencia universitaria.

Amaguaña *et al;* (2014), determinaron los índices de cobertura vegetal urbana y espacios abiertos disponibles en las comunas seis (6) y siete (7) del municipio de Pasto;

de igual manera, se analizó y detectó cambios de las coberturas en un marco multitemporal de manera supervisada de los años 2005 y 2013; este proceso se realizó a partir de una ortofotografía del año 2005, donde se obtuvo un índice de cobertura vegetal urbana de 30,24 m²/hab y de espacios abiertos disponibles de 0,89 m²/hab, estos datos fueron obtenidos mediante herramientas y procesos cartográficos como la consolidación y análisis de fotografías aéreas.

Con base a los resultados del año 2005, se hizo la respectiva actualización en campo de la imagen 2013 para las variables de estudio, encontrando una reducción de 22,94 m²/hab de cobertura vegetal urbana y 0,24 m²/hab en espacios abiertos disponibles. Teniendo las ortofotografía 2005 y 2013 consolidadas, se analizó y detectó cambios en un marco multitemporal de las dinámicas, teniendo cambios significativos en las coberturas urbanísticas.

Figuroa y Ordoñez (2014), caracterizan la evolución urbana de los barrios que hacen parte de la comuna 5 en la ciudad de San Juan de Pasto, donde identifican los principales factores que dinamizaron el crecimiento urbano en dicha comuna. Mediante una metodología que implicó la recolección de información secundaria e información primaria se identificaron como principales factores de crecimiento: el crecimiento poblacional que obliga a la expansión física de las ciudades causada en su mayoría por la migración “*campo-ciudad*”; la demanda de vivienda fue un factor importante ocasionando una rápida urbanización de la zona de estudio.

El crecimiento urbanístico que experimentó la ciudad condujo a la absorción de sectores rurales, presentándose el fenómeno de conurbación, convirtiéndolos en nuevos barrios, como sucedió con el sector de Chapal, caracterizado por ser un espacio rural, el crecimiento de la ciudad aglomeró este espacio geográfico, integrándolo a la creciente urbe. Finalmente concluyen que, la evolución espacial de la Comuna Cinco de la ciudad de San Juan de Pasto, obedece al proceso de crecimiento del área urbana del Municipio, donde el principal factor dinamizador de esta evolución es el crecimiento demográfico en todas sus características.

La comuna no escapa al modelo de crecimiento urbano que se generó en todas las ciudades a partir de la década de 1970, donde este espacio urbano experimenta una

redistribución espacial de la población que la llevará a una expansión urbana, evidenciada en el desarrollo de una dinámica espacial de crecimiento horizontal, que la llevó a ocupar todo el sector sur. Cabe destacar que durante éstos cincuenta años, San Juan de Pasto creció a un ritmo acelerado, el crecimiento demográfico es el principal factor social que influye en la apropiación de nuevos espacios para la urbanización, en este período la ciudad se consolida como el núcleo urbano más importante del sur del país, tanto por su privilegiada ubicación geográfica que resulta estratégica en el campo geopolítico, social y económico, plano en el cual pasó de ser un espacio urbano aislado a una urbe progresista que cada día crece funcional y espacialmente.

Si este ritmo de crecimiento continúa hacia el futuro, San Juan de Pasto dejaría de ser una ciudad intermedia para convertirse en el centro urbano primado de un área metropolitana que acogerá los municipios limítrofes más cercanos.

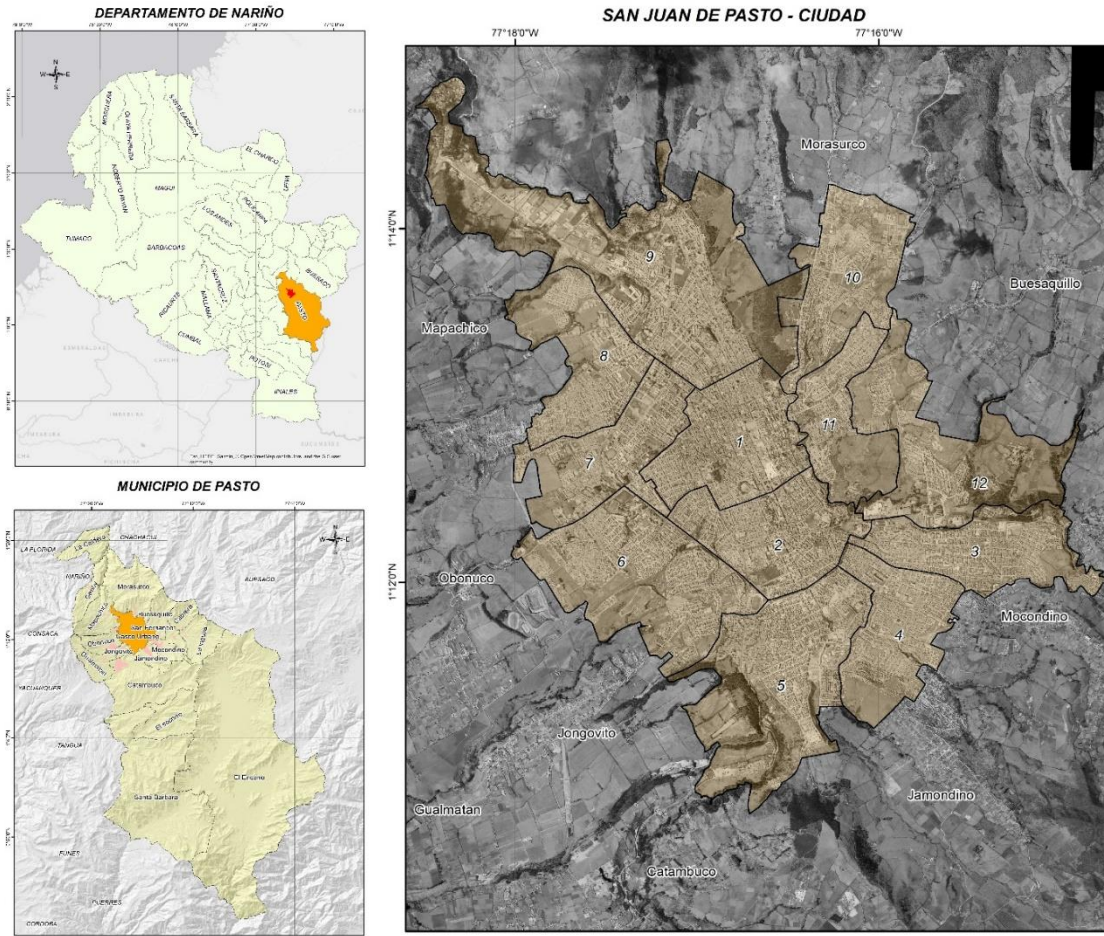
6. METODOLOGÍA

6.1. LOCALIZACIÓN

El estudio se realizó en la zona urbana del municipio de Pasto, conformada por 12 comunas, como indica la figura 1, con un área total de 23,67 km² y un perímetro urbano de 42,26 km. La ciudad cuenta con 360.238 habitantes los cuales se encuentran en una distribución desuniforme, encontrando las tasas más altas de densidad poblacional en las comunas 3, 4, 5 y 6 en barrios como, Santa Mónica, Villaflor, Las Mercedes, Bernal, Chiles, El Tejar, El Rosario, El Chapal, Niza y Caicedo, que en conjunto alojan el 48.4% de la población urbana de la ciudad de Pasto (Alcaldía municipal de Pasto, 2014). El Centroides de la ciudad se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas Latitud

N1°12'42" y Longitud W77°16'43" con una altitud promedio de 2.540 msnm y una temperatura promedio de 19°C.

Figura 1. Localización zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia, 2018. Apoyado con datos IGAC.

La ciudad de Pasto sufre una extensión exponencial en sus márgenes, marcadas en las comunas 3, 4 y 5, guiada por el actual Plan de Ordenamiento Territorial, que recomienda la expansión direccionada hacia estas comunas, por lo tanto, es necesario el estudio espacial y el análisis sobre la cobertura vegetal de la ciudad y el enfoque en las comunas de mayor incidencia.

6.2. MATERIALES

6.2.1. Datos digitales.

Con el fin de generar el análisis multitemporal, se usaron dos imágenes satelitales de la plataforma Landsat, identificadas con número de *path 009* y *row 59*, provistas y

descargadas por medio del portal web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Para la selección básica de los datos raster se tuvieron en cuenta la disponibilidad, una buena visibilidad y semejanzas en las fechas de adquisición para evadir condiciones meteorológicas atípicas. Las imágenes Landsat se caracterizan por ser imágenes multiespectrales (con seis bandas ópticas y una térmica) de mediana resolución espacial, propicias para estudiar fenómenos naturales y coberturas del suelo en ciudades.

Mediante la búsqueda bibliográfica y de metadatos de las escenas o imágenes se identificaron valores de reflectancia superficial de cada una de las bandas ópticas y la temperatura de brillo en la banda térmica, corregida atmosféricamente por el modelo de código de transferencia radiativa 6S (Segunda Simulación de una Señal del Satélite en el Espectro Solar); éste método de corrección tiene como entradas el vapor de agua, el ozono, la altura geopotencial, el espesor óptico de aerosol y un modelo de elevación digital (USGS). Las fechas de adquisición de las imágenes LANDSAT 5 y LANDSAT 8 se indican en la tabla 1.

Los productos de reflectancia superficial, así como las temperaturas de brillo, se descargaron con una exactitud geométrica por la incorporación de un Modelo Digital de Elevación (DEM) y puntos de control terrestre (GCPs) al tener un nivel de procesamiento L1T. Asimismo, estos productos están reproyectados en el sistema de proyección Universal Transverse Mercator (UTM) zona 18N, en formato GeoTiff, y cuentan con un tamaño de pixel remuestreado a 30 m usando el método del vecino más cercano.

Los datos vectoriales fueron extraídos de diferentes fuentes, en las cuales se define el área actual del casco urbano de la ciudad. Los archivos vectoriales se almacenan en una geodatabase junto con datos demográficos, parques y zonas verdes registrados dentro del polígono.

Tabla 1. Características de las imágenes Landsat 5 y 8.

ID DE LA ESCENA	FECHAS DE ADQUISICIÓN	SENSOR
p009r059_4dt19890807_z18	07/08/1989	TM
LC80090592016238LGN01	25/08/2016	ETM+ L1T

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El análisis de los cambios identificados en el espacio y tiempo requiere un insumo fotográfico aéreo de detalle, el cual permitió relacionar el área de cobertura vegetal con los indicadores biofísicos y los beneficios otorgados, además de observar detalladamente los cambios sucedidos en el tiempo y lograr una comparación analítica más precisa; para esto se utilizaron fotografías aéreas obtenidas a partir de una cámara RGB vinculada al cuerpo de un vehículo aéreo no tripulado cuyas características se describen en la tabla 2 y tabla 3, esto con el fin de mejorar resolución espacial y temporal, algo que las imágenes tipo Landsat no ofrecen de primera mano.

Tabla 2. Características aeronave Dji-Phantom 4.

MÁX. VEL.	ÁNGULO MÁX. DE INCLINACIÓN			MAX ALTURA	MÁX. VIENTO	TIEMPO VUELO	TEMP.	SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO SATELITAL
20 m / s	Modo S: 42°	Modo A: 35°	Modo P: 15°	6000 m	10 m/s	Aprox. 28 minutos	0° a 40° C	GPS / GLONASS

Fuente: Dji Página Oficial, 2018

Tabla 3. Características cámara Dji-Phantom 4

SENSOR		LENTE	VELOCIDAD DE OBTURADOR ELECTRÓNICA	TAMAÑO DE LA IMAGEN	FOTO
1 / 2.3 "CMOS	píxeles efectivos: 12.4M	FOV 94° 20 mm (formato equivalente a 35 mm) foco f / 2.8 en ∞	8 - 1/8000 s	4000 x 3000	JPEG, DNG (RAW)

Fuente: Dji Página Oficial, 2018

Las fotografías digitales generadas por el VANT debieron someterse a un proceso de proyección cartográfica, en la que finalmente se obtendrán fotografías georreferenciadas en formato TIF.

6.2.2. Información secundaria.

Los documentos de diferentes fuentes, como la Alcaldía Municipal de Pasto, Gobernación de Nariño, centro cultural Leopoldo López Álvarez del Banco de la República y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, forman parte de los materiales bibliográficos que ayudaron a cumplir los objetivos de la investigación. Se recolectó información de acuerdo a hechos o situaciones trascendentales en el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto, en este sentido, dentro esta fase, se elaboró una depuración y análisis obtenida a través de un estudio correlacional de las dimensiones inmersas dentro de este espacio geográfico, alcanzando como resultado datos que

conduzcan a identificar los principales factores que dinamizaron el crecimiento urbano. Cabe destacar que el análisis de los últimos planes de ordenamiento del territorio para el municipio de Pasto, fueron documentos transversales en el análisis de la información, a partir de estos se identificó tendencias de crecimiento demográfico, ordenamiento espacial de la ciudad de Pasto e indicadores de áreas de espacio público, zonas verdes, entre otras.

La información derivada de documentos se digitalizó en una matriz que permitió jerarquizar los datos, también se tuvieron en cuenta archivos fotográficos de años anteriores, en los cuales se evidenciaron cambios significativos en el crecimiento urbano de la ciudad, estos insumos permitieron hacer una comparación con fuentes de primer orden que con el fin de establecer factores de cambio en la dinámica del crecimiento urbano.

6.2.3. Información primaria.

Las entrevistas, diálogos semi-estructurados, observación simple, cartografía social y mapas parlantes, fueron las herramientas para la adquisición de información de primer orden, con el fin de realizar una aproximación más concreta a la dinámica del espacio. El acompañamiento de actores claves como funcionarios de entidades públicas, organizaciones no gubernamentales y miembros de la población que han habitado por más de 20 años, fueron clave para el desarrollo del proceso. La cartografía social y los mapas parlantes, permitieron espacializar los fenómenos generados en las comunas de estudio, de igual manera se identificaron patrones de comportamientos de expansión, ubicación y flujos migratorios generados en diversos períodos de tiempo, basados en factores tanto endógenos como exógenos; a través de este proceso la población objeto de estudio interpretó la transformación, ocupación y crecimiento urbano territorial de este espacio de estudio.

6.2.4. Software.

El uso de herramientas informáticas fue fundamental para los procesos desarrollados en las imágenes satelitales anteriormente mencionadas, las variables biofísicas se obtuvieron a partir de varias operaciones y procesamientos mediante un lenguaje

especifico de programación muy utilizado en teledetección ambiental, se generaron productos cartográficos bajo tipología vectorial y estadísticas descriptivas de cada raster esto a partir del ingreso de comandos y funciones mediante Phython junto a las librerías GDAL y NumPy.

Tabla 4. *Software* y entidades empleadas para la realización del trabajo

SOFTWARE	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
TELEDETECCIÓN	<i>ERDAS IMAGINE</i>	Software para la visualización, procesamiento y análisis de imágenes satelitales, fotografías aéreas y demás insumos remotos. El software permite mediante procesos automatizados, la clasificación de imágenes a partir del ingreso de clases conduciendo a un análisis multitemporal a corto, mediano y largo plazo.
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	<i>ArcGis 10.5</i>	Conjunto de aplicaciones SIG que permiten ingresar, manipular, analizar y desplegar información geográfica digital. El software permite el ingreso en diferentes formatos incluidos raster y vector.
LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN	<i>Python</i>	Lenguaje de programación de alto nivel, desarrollado bajo licencia de código abierto, orientado a objetos, con tipado dinámico, diseñado para ejecutarse por medio de un intérprete. Tiene una biblioteca que contiene módulos o librerías estándar y además adopta los creados por terceros.
LIBRERÍAS O MÓDULOS	<i>Arcpy</i>	Módulo empleado en Python que contiene aplicaciones, procesos y comandos de ArcGis, por tanto es posible tener acceso a herramientas de geo-procesamiento para el análisis, conversión y administración de datos geográficos.
	<i>GDAL</i>	Módulo de código abierto licenciado por Open Source Geospatial Foundation, presenta un modelo de datos para el manejo de formatos geoespaciales como raster y vector, además de múltiples funciones para el procesamiento de estos.
	<i>NumPy</i>	Módulo nativo de Python que cuenta con funciones para operar matrices, generar números aleatorios, Transformada de Fourier y algebra lineal.
	<i>Rpy</i>	Módulo empleado en Python para acceder a las funciones y estructuras de R.
FUNCIONES	Son las operaciones que componen cada módulo.	
PARÁMETROS	Son los datos de entrada de cada función.	

Fuente: basado en Musse, 2014.

El almacenamiento de la información descriptiva se realizó en un base de datos geográfica mediante la librería ArcPy. En la Tabla 4 se muestra la jerarquía de los componentes del software acompañada de una breve descripción.

6.3. MÉTODOS

La Figura 2, indica de manera resumida la metodología utilizada en este estudio, donde se destacan aspectos importantes como la recopilación de información primaria y secundaria, reflejadas en información bibliográfica y cartográfica, las cuales permitieron establecer el área exacta para el desarrollo de la investigación, se revisaron documentos propios de la ciudad, tales como informes de la secretaría municipal de planeación además de los últimos dos planes de ordenamiento territorial (2003 - 2012 y 2014 - 2027) y el documento técnico de soporte del Plan de Ordenamiento Territorial 2014-2027 “Pasto Territorio Con-sentido” de la alcaldía municipal de Pasto, esto permitió conocer la situación actual del territorio además de la identificación de los cambios urbanos de los últimos años. Del mismo modo la revisión de la plancha cartográfica oficial del IGAC (429IIC) y el uso de un ortofotomosaico a escala 1:2000 del año 2005, permitieron una visualización geográfica detallada, identificando zonas verdes urbanas, vertimientos, y distribución espacial de elementos importantes en el estudio.

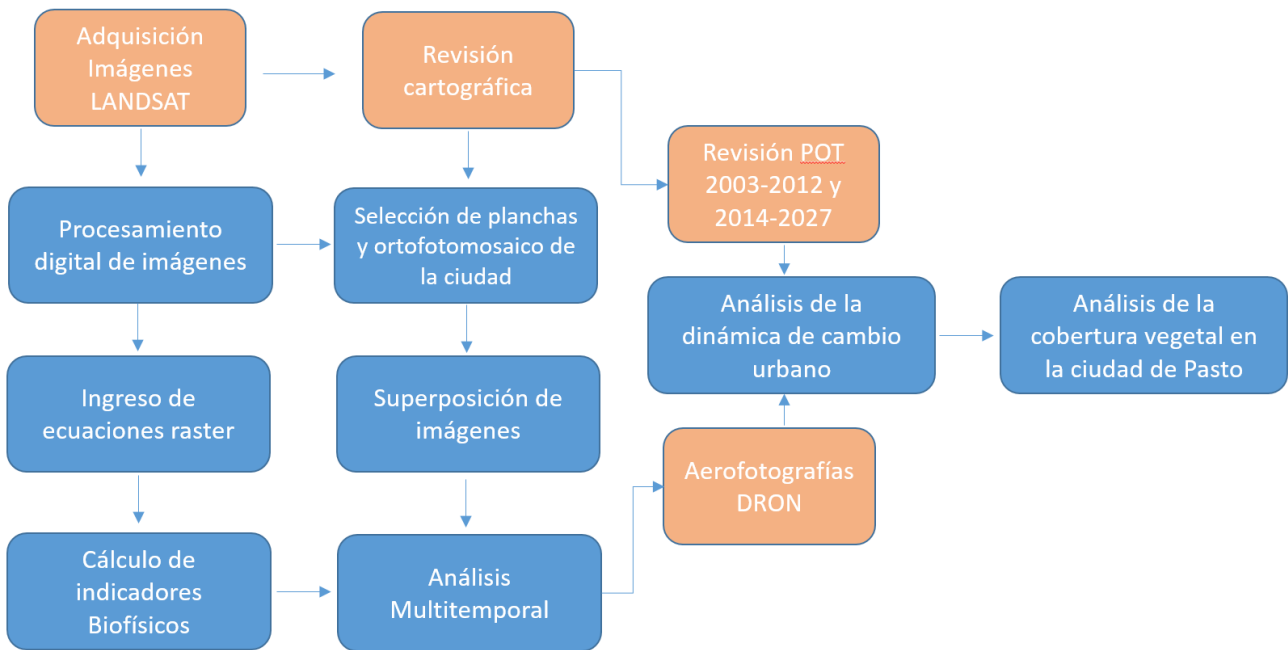


Figura 2. Esquema metodológico.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

6.3.1. Análisis multitemporal.

Para el análisis multitemporal se definen dos fechas de evaluación, 7 de agosto de 1989 y 25 de agosto de 2016, la selección de estas fechas dependieron en gran medida de la disponibilidad de imágenes satelitales, teniendo en cuenta los siguientes criterios, (Chuvienco, 2006):

- Distribución de fechas de toma: Se analizará la fecha de toma de la imagen, debido a que es más conveniente emplear imágenes capturadas en la misma época del año, preferiblemente en tiempo seco para garantizar la calidad de los datos.
- Menor presencia de nubes: La cantidad de nubes no debe sobrepasar el 20% del cubrimiento de la imagen.
- Inclusión de las 6 bandas del espectro electromagnético: Con el fin de realizar el tratamiento de las imágenes y la combinación de bandas que permitirán

identificar los cambios en vegetación urbana, es necesario que las imágenes cuenten con la totalidad de las bandas requeridas.

Una vez identificadas las imágenes que cumplan con las condiciones se seleccionaron 2 para diferentes años teniendo en cuenta el año inicial y el año final de la evaluación multitemporal (1989-2016). La descarga de las imágenes se realizó por medio del portal web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y se procedió al preprocesamiento de las mismas, actividad que se describe a continuación.

Como primer paso, se realizó una extracción de la zona de estudio mediante el uso de una máscara en formato vectorial, dicha máscara contiene el perímetro de la zona urbana de Pasto. La corrección geométrica fue necesaria para generar unos resultados más precisos, para esto en primer lugar, se siguió la metodología definida por Chuvieco, 2006. Inicialmente se tomaron puntos de control mediante un receptor submétrico considerando aspectos relacionados con su número, calidad y distribución. Por tratarse de una corrección mapaimagen, se utilizó la cartografía topográfica oficial a escala 1:25.000 con el apoyo de un ortofotomosaico a escala 1:2000 del año 2005, ambos con fuentes oficiales (IGAC). Seguidamente, se calcularon las funciones de transformación (función de primer grado) a partir de los puntos de control seleccionados, aceptando un error longitudinal medio inferior a un pixel (10 m para la imagen con salida a escala 1:25.000). Finalmente, se realizó la transferencia de los niveles digitales originales a su nueva posición, utilizando el método de convolución cúbica, propuesta por Chuvieco, 2006.

Debido al aprovechamiento de los productos de reflectancia superficial disponibles para las versiones de Landsat TM4, TM5 y EMT+7, la presente metodología ahorra los procesos de radiancia espectral y de corrección atmosférica. Entonces, la corrección radiométrica de las imágenes como procedimiento que minimiza las dificultades radiométricas de los niveles digitales (ND) producidas en el momento de la captura de la energía reflejada por las cubiertas, ya sea por la atmósfera o por fallas en el sensor, queda reducido al escalamiento de la reflectancia superficial ρ (adimensional) y de la temperatura de brillo T_B (en Kelvin) mediante las siguientes expresiones:

$$\rho = sr_{band} * 0.0001$$

$$T_B = T_{\alpha_{band6}} * 0.001$$

Donde sr_{band} es cada una de las bandas del producto de reflectancia superficial, y $T_{\alpha_{band6}}$ es la reflectancia en la banda térmica equivalente a la temperatura de brillo. La reflectancia superficial, como unidad de medida comparable con otros sensores, se define como la proporción de la energía reflejada que incide en un cuerpo y cuya longitud de onda reflejada determina el color de un objeto en condiciones ideales con sus efectos atmosféricos removidos (NASA, 2011).

Para la identificación de la cobertura vegetal urbana se usó la técnica de visualización e interpretación de imágenes satelitales en pantalla, siguiendo los parámetros (tono, textura, forma y patrón espacial) propuestos por Chuvieco, 2006. Los recorridos de campo y reconocimientos de la zona fueron fundamentales al momento de relacionar lo encontrado en la imagen, de la misma manera la combinación adecuada de bandas multiespectrales para ambos tipos de imágenes Landsat, fue clave para la identificación de vegetación urbana en ambos años. Las áreas arrojadas para el segundo año fueron rectificadas mediante una supervisión en campo, que incluyó captura de puntos DGPS y un proceso de clasificación de la imagen a partir de una función específica del software ERDAS, descrita más adelante, esto permitió saber si la cobertura vegetal permaneció en el lugar o no, contribuyendo a la discusión de pérdida o ganancia de este componente urbano, para el desarrollo de esta actividad se utilizó la metodología propuesta por Chuvieco, 2002, la cual consiste en realizar una clasificación de manera supervisada y no supervisada; en el Software ERDAS se realizó la clasificación de las imágenes satelitales.

Una vez identificadas las zonas con mayor dinámica de cambio, se procedió a analizar las posibles causas, apoyándose en información secundaria basada en ordenamiento territorial de la ciudad, de igual manera se capturaron fotografías aéreas a una altura de 130 metros permitiendo tener un detalle de la imagen, logrando un tamaño de pixel de 5,69 cm/pixel en un ángulo de 90° de inclinación, estas fotografías fueron capturadas en sectores distribuidos espacialmente a lo largo y ancho de la ciudad, donde se hayan identificado los cambios más altos de cobertura de vegetación urbana. Las fotografías

de detalle sirvieron de insumo para la discusión sobre los indicadores biofísicos los cuales se describen a continuación.

6.3.2. Generación de indicadores biofísicos.

Los parámetros biofísicos a estimar se eligieron de acuerdo a lo reportado en las búsquedas bibliográficas, tomando sólo los que describan con mayor fiabilidad el comportamiento de las características físicas de la zona de estudio y cumplan con los criterios propuestos por Segnestam, (2002). Las variables usadas en este trabajo de grado fueron: cobertura vegetal y su contenido de humedad, temperatura superficial y la cobertura de superficies impermeables. A cada uno de los raster generados por cada cubierta, se les aplicó una función de estadísticas de zonas para extraer el valor promedio.

6.3.2.1. Cobertura Vegetal

Se analizaron a partir de los patrones de reflexión y absorción de la radiación por parte de la vegetación verde, dado que el pigmento clorofila presente en las células de las plantas absorbe fuertemente parte de la luz visible (desde 0.40 hasta 0.70 micras), especialmente la azul y roja, para efectuar el proceso de fotosíntesis; por el contrario estas células reflejan intensamente la radiación en el infrarrojo cercano (NIR), (desde 0.76 hasta 0.90 micras) debido a que la absorción de esta energía puede dañar los tejidos de la planta a causa del sobrecalentamiento. Estos índices fueron calculados usando la reflectancia superficial de la banda roja (banda 3) y la reflectancia superficial del infrarrojo cercano (banda 4). Para el caso de SAVI, se empleó un factor de ajuste L igual a 0.5

Sin embargo, el índice descrito presenta dos limitaciones: la primera es causada por la contaminación del suelo que altera la energía reflejada por la cubierta vegetal, y la segunda se origina por la presencia de áreas con alta biomasa que ocasionan saturación, situaciones que producen variaciones en el NDVI. Dado los inconvenientes mencionados, los investigadores han desarrollado significativos avances para mejorar los modelos de los índices de vegetación; ejemplo de algunos de ellos son: Índice de Vegetación Transformado (TVI) (ecuación 2), el cual elimina los valores negativos del NDVI y estabiliza la varianza, (Rouse *et al.*, 1974 citado por Fatiha *et al.*, 2013); el

Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) (ecuación 3), que minimiza el efecto de la reflectancia del suelo empleando un factor de ajuste que caracteriza la tasa de cobertura vegetal (Xu, 2008 citado por Essa *et al.*, 2012); Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Transformado (TSAVI) (ecuación 4), creado con el objetivo de reducir el efecto del suelo en zonas con densidad de vegetación baja, introduciendo parámetros de la línea del suelo (Jiang *et al.*, 2006). Cabe citar a Chen *et al.*, 2005, quienes consideraron el porcentaje de cobertura vegetal (VC) (ecuación 5) como un indicador útil para la detección y evaluación del cambio en la vegetación y urbanización en el centro de China, índice que se encuentra altamente correlacionado con el NDVI. La Tabla 5 muestra los modelos para obtener cada índice mencionado.

La cobertura vegetal para la ciudad de Pasto fue determinada a través de las mediciones espectrales de los indicadores numéricos de vegetación NDVI (ecuación 1) y de SAVI (ecuación 3). Estos índices fueron calculados usando la reflectancia superficial de la banda roja (banda 3) y la reflectancia superficial del infrarrojo cercano (banda 4). Para el caso de SAVI, se empleó un factor de ajuste L igual a 0.5.

Tabla 5. Índices espectrales usados en la literatura científica para la detección de cubierta vegetal

ÍNDICE	RELACIÓN ENTRE BANDAS	REFERENCIA
NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$	Gates, 1980 citado por Senanayake <i>et al.</i> , 2013.
TVI: Índice de Vegetación Transformado	$TVI = \sqrt{\frac{NIR - RED}{NIR + RED}} + L \quad (2)$	Rouse <i>et al.</i> , 1974 citado por Fatiha <i>et al.</i> , 2013.
SAVI: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo	$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)}(1 + L) \quad (3)$	Xu, 2008 citado por Essa <i>et al.</i> , 2012
TSAVI: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Transformado	$TSAVI = \frac{a * (NIR - a * RED - b)}{a * NIR + RED - a * b + X(1 - a^2)} \quad (4)$	Jiang <i>et al.</i> , (2006)
VC: Cubierta Vegetal	$VC = -4.337 - 3.733 \times NDVI + 161.968 \times NDVI^2 \quad (5)$	Chen <i>et al.</i> ,(2005)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dónde: **L:** Parámetro de ajuste que caracteriza la tasa de cobertura vegetal del suelo, con valor de 0.25 para densidad fuerte, 1 para densidad baja de vegetación, en densidades medias se destina el valor de 0.5. **a:** Pendiente de la línea del suelo. **b:** intercepto de la línea del suelo. **X:** Valor ajustado para minimizar el efecto del fondo del suelo ($X=0.08$).

6.3.2.2. Contenido de humedad en la vegetación

El índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) (ecuación 6), emplea las bandas del infrarrojo de onda corta (SWIR) (desde 1.55 hasta 1.75 micras) y del infrarrojo cercano (NIR) (desde 0.76 hasta 0.90 micras), ya que la reflectancia espectral del SWIR se afecta por la cantidad de agua presente en la hoja, lo que depende de la estructura interna de la hoja y presencia de materia seca; en tanto la reflectancia espectral del NIR se afecta únicamente por la estructura interna de la hoja y la materia seca, entonces la combinación de los dos canales en el NDWI permite remover los efectos causados en la reflectancia por la materia seca y la estructura interna de la hoja para observar únicamente el contenido de agua presente en la hoja (Gao, 1996; Jackson, 2004; C. Wang *et al.*, 2007).

También es necesario mencionar el Índice Contenido de Agua en la Hoja (LWCI) (ecuación 7), el cual relaciona los logaritmos de las reflectancias del NIR y el SWIR, con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados (Huete *et al.*, 1987 citado por Santana *et al.*, 2010).

Existen otros índices para hallar el contenido de agua en la vegetación, los cuales emplean las bandas del espectro visible, en particular el Verde (desde 0.52 hasta 0.60 micras) y la banda del infrarrojo de onda corta SWIR, dado que el agua tiene menor reflectancia en el SWIR que en el Verde, en tanto otros objetos de la superficie terrestre en especial en zonas urbanas reflejan más en el SWIR comparados con el agua; en consecuencia, ofrece una mejor diferenciación entre masas de agua y otras características de la superficie terrestre, es el caso del índice de Agua de Diferencia Normalizada Mejorado (MNDWI) (ecuación 8) (Xu *et al.*, 2013). También es de mencionar el Índice de Humedad Normalizado (NHI), definido como el negativo del índice de Agua de Diferencia Normalizada Mejorado (-MNDWI) (ecuación 9) (Lacaux *et*

al.,2007). La Tabla 6 muestra los modelos para obtener los índices de agua mencionados.

El contenido de humedad evaluado para la ciudad de Pasto, utilizó índices de NDWI (ecuación 6) y NHI equivalente al –MNDWI (ecuación 9). El NDWI utiliza la reflectancia superficial del infrarrojo cercano (banda 4) y la reflectancia superficial del infrarrojo de onda corta (banda 5). Por otra parte, el NHI se calculó a partir de la reflectancia superficial de la banda verde (banda 2) y la reflectancia superficial del infrarrojo de onda corta.

Tabla 6. Índices espectrales usados en la literatura científica para la detección de contenido de agua en la vegetación

ÍNDICE	RELACIÓN ENTRE BANDAS	REFERENCIA
NDWI: Índice de Agua de Diferencia Normalizada	$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (6)$	Gao (1996)
LWCI: Índice de Contenido de Humedad en la Hoja	$LWCI = \frac{-\log[1 - (NIR - SWIR)]}{-\log[1 - (NIR_{FT} - SWIR_{FT})]} \quad (7)$	Huete <i>et al.</i> , 1987 citado por Santana <i>et al.</i> , 2010.
MNDWI: Índice de Agua de Diferencia Normalizada Mejorado	$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR} \quad (8)$	Xu, 2008 citado por Essa <i>et al.</i> , 2012
NHI: Índice de Humedad Normalizada	$NHI = \frac{SWIR - GREEN}{SWIR + GREEN} \quad (9)$	Lacaux <i>et al.</i> (2007)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la Tabla 6, los subíndices FT simbolizan las reflectividades de la energía en el infrarrojo cercano y de onda corta, para hojas con máxima presión de turgencia.

6.3.2.3. Superficies impermeables

Un método sencillo con exactitudes mayores al 90% para extraer superficies construidas o impermeables, es descrito por (Zha *et al.*, 2003), quienes proponen el Índice de Construcción de Diferencia Normalizada (*NDBI*) (ecuación 10) basado en la mayor reflectividad en el infrarrojo de onda corta (*SWIR*) (desde 1.55 hasta 1.75 micras) de las cubiertas construidas o de suelo desnudo sobre la reflectividad de las mismas en el infrarrojo cercano (*NIR*) (desde 0.76 hasta 0.90 micras).

Villa (2007) citado por Zha *et al.* (2003) en su Índice de Construcción (*UI*) (ecuación 11) afirma que existe mayor reflectividad de las superficies construidas en el Infrarrojo de onda corta (*SWIR2*) que va desde 2.08 hasta 2.35 micras. Mientras que Xu (2010)

propuso el índice de Superficie Impermeable de Diferencia Normalizada (*NDISI*) (ecuación 13), con el propósito de minimizar el ruido causado por cubiertas u objetos presentes en la zona urbana como agua, arena, suelos desnudos, tierra y arena, los cuales, al igual que la cubierta construida, tienen alta emitancia en el infrarrojo térmico (*TIR*) (desde 10.40 hasta 12.50 micras), y baja reflectancia en el infrarrojo cercano (*NIR*) (desde 0.76 hasta 0.90 micras); sin embargo, el agua, la tierra y la arena tienen reflectancia superior en el visible (desde 0.40 hasta 0.70 micras) y los suelos y la arena tienen reflectancia superior en el infrarrojo de onda corta (*SWIR*) (desde 1.55 hasta 1.75 micras) comparados con los materiales impermeables. Por tanto, el *NDISI* maximiza la radiancia emitida por los materiales impermeables en forma de calor en la longitud de onda *TIR* y minimiza la reflectancia de tres longitudes de onda (conformados por cualquier banda del visible, el *SWIR* y el *NIR*) donde otros objetos o cubiertas tienen reflectancias altas y generan ruidos. En la tabla (3) se resumen los índices referenciados en la literatura para obtener las superficies impermeables, destacando el modelo usado y los autores de los mismos.

La evaluación de la cobertura impermeable dentro de la ciudad de Pasto, se realizó mediante el cálculo de los indicadores de *NDBI* (ecuación 10) y *NDISI* (ecuación 12). El primer indicador, emplea los niveles digitales (*ND*) del infrarrojo de onda corta *SWIR* 1 y los *ND* del infrarrojo cercano (banda 4). Por otra parte, el *NDISI* expresado en la ecuación 12 es modificado agregando el índice de humedad *MNDWI* en vez de una de las bandas ópticas (*VIS*) dado que el agua puede generar ruido frente a las cubiertas impermeables (Xu, 2010), quedando de la siguiente manera:

$$NDISI = \frac{LST - \left(\frac{MNDWI + NIR + SWIR}{3} \right)}{LST + \left(\frac{MNDWI + NIR + SWIR}{3} \right)}$$

Donde, *LST* corresponde a la temperatura superficial terrestre, *MNDWI* es el Índice de Agua de Diferencia Normalizada Mejorado, *NIR* es la reflectancia superficial en el infrarrojo cercano y *SWIR* es la reflectancia superficial en el infrarrojo medio. Estas variables al estar en diferentes unidades de medidas, deben ser reescaladas de datos *float* a imágenes de 8-bits con valores de pixel entre 0 y 255 (Xu, 2010). En la tabla 6 se resumen los índices referenciados en la literatura para obtener las superficies impermeables, destacando el modelo usado y los autores de los mismos.

6.3.2.4. Temperatura superficial terrestre (LST)

Para el cálculo de la temperatura superficial terrestre, se utilizan los productos de reflectancia ya que los efectos atmosféricos han sido removidos, siendo necesario únicamente corregir la emisividad que cambia espacialmente con los diferentes tipos de cubierta. Un método operativo que permite estimar emisividad superficial terrestre sin necesidad de realizar a priori una clasificación de las cubiertas que exige de un gran conocimiento sobre el área de estudio es el método del umbral del NDVI (Sobrino *et al.*, 2004), el cual exhibe tres casos, según el estado de la vegetación:

- NDVI < 0.2, los pixeles son considerados como suelo desnudo y su emisividad tiene un valor de 0.97.
- NDVI > 0.5, los pixeles son considerados como vegetación plena y asumen un valor de emisividad de 0.99.
- $0.2 \leq \text{NDVI} \leq 0.5$, los pixeles son considerados como pixeles mezclados entre suelo desnudo y vegetación así que su emisividad está condicionada por la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon$$

Donde ε_v es la emisividad de la vegetación, ε_s es la emisividad del suelo y P_v es la proporción vegetal dada por Carlson & Ripley (1997), así:

$$P_v = \left(\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \right)^2$$

Donde $\text{NDVI}_{\max} = 0.5$ y $\text{NDVI}_{\min} = 0.2$. La ecuación: $\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon$ posee un diferencial de emisividad $d\varepsilon$ correspondiente a los efectos de la distribución geométrica de las superficies naturales y también de las reflexiones internas cuyo valor es necesario estimar en superficies heterogéneas por medio de la siguiente ecuación:

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - P_v)F\varepsilon_v$$

Donde F es un factor de forma con un valor medio de 0.55 (Sobrino, J. A., *et al.*, 1990)

Una vez, los valores de emisividad espectral sean determinados a partir del método del umbral del *NDVI*, se calcula la temperatura superficial terrestre corregida con la emisividad *LST* mediante la siguiente ecuación, de Artis & Carnahan (1982), teniendo en cuenta el producto de reflectancia de temperatura de brillo procesado: $S_o = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}$

$$LST = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda * \frac{T_B}{\rho}\right) * \ln \varepsilon}$$

Siendo λ = longitud de onda media de la banda térmica, $\rho = h * c / \sigma$ ($1.438 * 10^{-2}$ m K), σ = constante de Boltzmann ($1.38 * 10^{-23}$ J K⁻¹), h = constante de Planck ($6.626 * 10^{-34}$ J sec) y c = velocidad de la luz ($2.998 * 10^8$ m s⁻¹).

Estas ecuaciones fueron ingresadas directamente a la imagen mediante la plataforma de programación R Studio y los productos finales se exportaron generando salidas gráficas para los años 1989 y 2016, con el fin de identificar y comparar la información biofísica localizada en el interior del perímetro urbano, enfatizando en los efectos que el crecimiento urbano ha generado sobre la cobertura vegetal urbana. El análisis de los valores mapeados se realizó para cada una de las doce comunas que conforman la ciudad haciendo énfasis en aquellas que obtuvieron los mayores valores en cada indicador, para este análisis se determinaron inicialmente, factores de crecimiento urbano y posteriormente se evaluaron algunos efectos del crecimiento sobre la presencia de cobertura vegetal urbana.

6.3.3. Identificación de factores de crecimiento urbano.

Este proceso implicó la recopilación y presentación sistemática de datos primarios y secundarios para describir cómo se manifiesta el fenómeno en un determinado espacio durante el tiempo; catalogando esta actividad dentro del campo descriptivo según lo

propone Sabino (1992), en su método de investigación. La determinación de factores de crecimiento urbano se enmarcó dentro de la metodología cualitativa, en el cual se aplicó un enfoque histórico-hermenéutico, con el fin de analizar e interpretar documentos escritos e imágenes que permitan comprender la evolución espacial de las comunas de estudio.

El análisis de algunas cifras derivadas de los dos últimos planes de ordenamiento territorial (2003 - 2012 y 2014 - 2027) fue fundamental dentro de la teoría de la planificación regional, se analizaron variables estadísticas como, densidad de crecimiento poblacional, índice de primacía, áreas verdes urbanas y espacios abiertos disponibles, conduciendo a la comprensión e identificación de los cambios sucedidos sobre las comunas de estudio. Se realizará una matriz que permita comparar los valores de dichas variables y realizar una interpretación gráfica entendible.

Las entrevistas y los diálogos semi estructurados, son herramientas complementarias para la identificación de los cambios presentados en las comunas de estudio, se elaboraron con el objetivo de realizar un acercamiento a la población residente para tener mayor claridad en la dinámica de cambio presentado durante los últimos años.

Por otro lado, el método de la observación simple fue la herramienta que condujo a dilucidar la dinámica de los barrios que conforman las comunas desde un campo exógeno, resultado de este proceso, fue la identificación de los diferentes factores y fenómenos que incidieron ya sea directamente o indirectamente en el crecimiento de las comunas.

La cartografía social y los mapas parlantes, permitieron espacializar los fenómenos generados en las comunas de énfasis, de igual manera se identificaron patrones de comportamientos de expansión, ubicación y flujos migratorios, esto debido a factores tanto endógenos como exógenos; en este sentido también se pretendió que a través de este proceso la población objeto de estudio interprete cómo ha sido la transformación, ocupación y crecimiento urbano territorial de este espacio de estudio.

6.3.4. Estimación de valor del paisaje de acuerdo a la presencia de cobertura vegetal.

Una vez identificados los factores de crecimiento urbano, se relacionaron con las áreas de cobertura vegetal para cada comuna. Mediante el proceso de valorización directa de tipo subjetiva propuesta por Aramburu et al., (2006) se evaluó el beneficio en

percepción del paisaje que el crecimiento urbano puede limitar frente a la presencia de cobertura vegetal. Siguiendo lo propuesto por Craik (1975) se tomaron dos o tres fotografías de cada comuna en donde la cobertura vegetal estuvo presente con el propósito de que las comunidades las califiquen de acuerdo con una lista de valores o adjetivos. Estos adjetivos se establecieron de acuerdo a las características culturales y vocabulario dominante en la ciudad. Tomando la metodología de Gomez-Zotano y Muñoz (2016) se definieron 30 adjetivos clasificados en seis categorías: (1) feo, (2) sin interés, (3) agradable, (4) distinguido, (5) fantástico y (6) espectacular; a cada adjetivo le corresponde un valor según la escala internacional de valores de paisaje propuesta por Fines (1968). (ver tabla 7).

Tabla 7. Lista de adjetivos jerarquizados y su correlación con la escala universal de valores.

Adjetivos	Valor	Categoría	Valor	Adjetivos	Valor	Categorías	Valor
1. Insoportable	0	Feo	0 - 1	6. Triste	1,1	Sin interés	1,1 - 2
2. Horrible	0,25			7. Pobre	1,25		
3. Desagradable	0,5			8. Frío	1,5		
4. Pésimo	0,75			9. Monótono	1,75		
5. Feo	1			10. Sin interés	2		
11. Común	2,1	Agradable	2,1 - 4	16. Interesante	4,1	Distinguido	4,1 - 8
12. Sencillo	2,5			17. Grato	5		
13. Pasable	3			19. Conservado	7		
14. Regular	3,5			20. Singular	8		
15. Aceptable	4						
21. Variado	8,1	Fantástico	8,1 - 16	26. Estupendo	16,1	Espectacular	16,1 - 32
22. Estimulante	10			27. Soberbio	20		
23. Bonito	12			28. Maravilloso	24		
24. Hermoso	14			29. Fantástico	28		
25. Precioso	16			30. Espectacular	32		

Fuente: Gomez-Zotano y Muñoz (2016).

Para su aplicabilidad se realizó una encuesta estructurada con datos como: edad, sexo, lugar de habitación y ocupación, Gomez-Zotano y Muñoz (2016), simplemente para llevar un registro, estos datos iniciales no influyeron en los resultados. La encuesta estuvo formada por dos imágenes de 10 cm x 15 cm de las áreas de cobertura vegetal, acompañadas de los adjetivos calificativos determinados. Entre las preguntas, también

se asignaron qué tipo de acción recomendaría para la cobertura vegetal observada (Conservación, Protección, Restauración o Mejoramiento). Cada entrevistado evaluó de forma rápida las imágenes, seleccionando según su criterio el adjetivo que califica a la fotografía observada. Para la selección de la muestra se aplicó la metodología del muestreo teórico propuesto por Glasser y Strauss (1967), proceso en el cual el analista conjuntamente selecciona, codifica y analiza su información y decide qué información escoger luego y dónde encontrarla para desarrollar su teoría tal como surge. Esta metodología recomienda iniciar la investigación de un sistema parcial de conceptos "locales" designando unas pocas características principales de la estructura y procesos en las situaciones que estudiará, por lo que de manera intencional se seleccionaron personas con diferentes ocupaciones, entre ellas: habitantes mayores de 50 años que registren periodos de tiempo largos en las comunas, estudiantes, técnicos y profesionales, entre otros; dicha selección se estableció debido a que es fundamental el componente de cambios presentados en las comunas, dichos cambios se registran en personas con edades avanzadas que hayan permanecido de forma constante en las comunas.

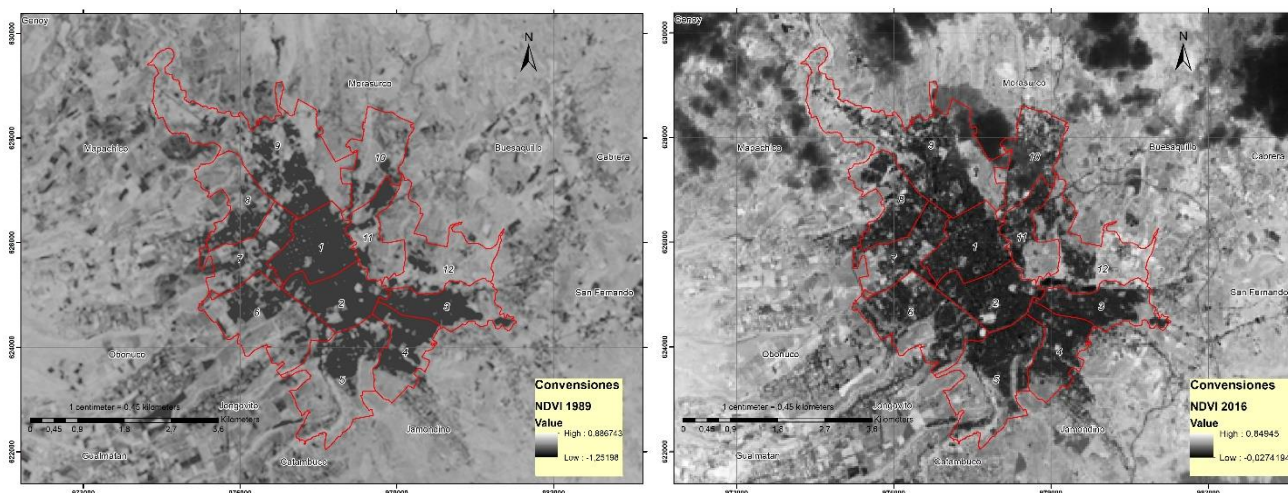
Estos métodos determinan los efectos del crecimiento de la ciudad de Pasto sobre la cobertura vegetal urbana y junto a los resultados obtenidos de las técnicas geográficas y de teledetección desarrollar un análisis completo de la cobertura vegetal en el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se relacionan los resultados obtenidos para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en la presente investigación, al finalizar los resultados de los objetivos específicos se realizará una discusión.

Inicialmente se presenta el resultado de la identificación de cambios del área de cobertura vegetal urbana durante el periodo 1989 – 2016 en el que se realizó la extracción de las bandas a utilizar en las imágenes Landsat con el fin de generar el índice de vegetación de diferencia normalizada *NDVI* para cada año, siguiendo la metodología propuesta por Gates, 1980 citado por Senanayake et al., 2013.

Figura 3. Imágenes *NDVI* para los años 1989 (izq.) y 2016 (der.)



Fuente: Esta investigación, 2018.

Cabe destacar que no se realizaron clasificaciones de cobertura, debido a que el análisis se enfocó directamente en el componente vegetal, es decir se evaluó la diferencia de área de vegetación presente en la ciudad. Como se puede observar, la figura 3 indica valores numéricos en cada pixel representados gráficamente en una escala de grises cuyo rango es -1 a 1, en la cual los valores más cercanos al 1 representaron presencia de vegetación mediante un color gris claro y los valores más cercanos a -1 representaron ausencia de vegetación mediante un color negro, teniendo en cuenta el principio de *absorción y reflexión* de la radiación por parte de la vegetación verde. Estos resultados preliminares guiaron a la evidente pérdida de cobertura vegetal, sin embargo, se realizaron procesos específicos con la finalidad de identificar detalladamente los valores de cambio presentados en el periodo de evaluación, de igual manera se identificaron las comunas y los sectores con cambios significativos.

Un proceso importante para mejorar en gran medida los resultados gráficos fue la corrección de deficiencias que el índice de vegetación de diferencia normalizada *NDVI*

presenta: la primera se presentó por la contaminación del suelo que altera la energía reflejada por la cubierta vegetal, y la segunda se originó por la presencia de áreas con alta biomasa que ocasionaron saturación. A partir del índice de vegetación se empleó un factor de ajuste que caracteriza la tasa de cobertura vegetal (Xu, 2008 citado por Essa et al., 2012), mejorando la calidad de información firmada en la imagen. El resultado de la asignación de dicho factor, fue el índice de vegetación ajustado al suelo SAVI.

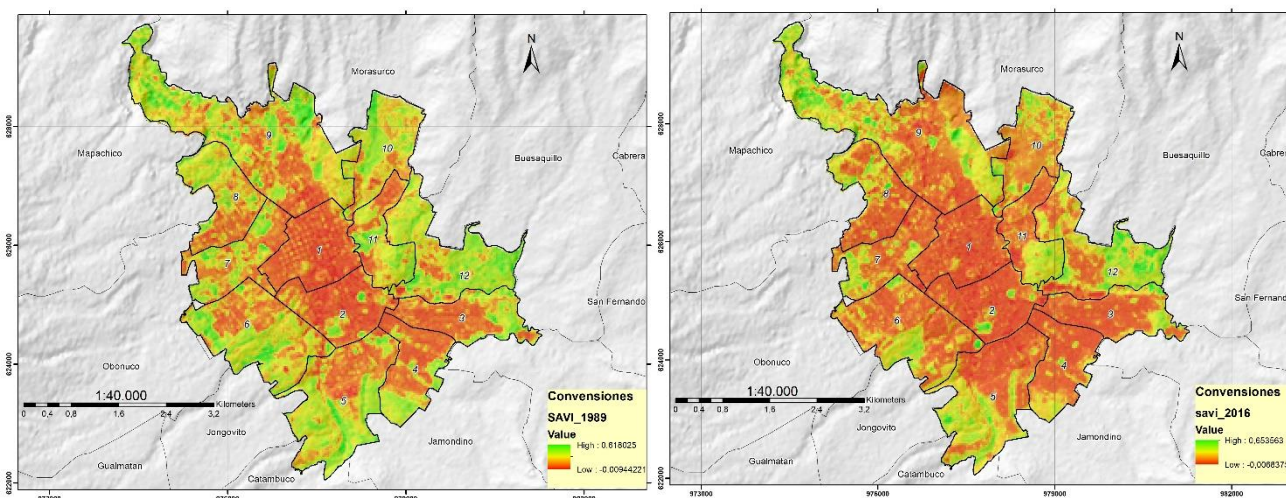


Figura 4. Imágenes SAVI para los años 1989 (izq.) y 2016 (der.)

Fuente: Esta investigación, 2018.

La figura 4 muestra bajo una simbología basada en colorimetría *verde/rojo*, la presencia de vegetación en la superficie terrestre mediante el índice SAVI. El color rojo representa los valores firmados en la imagen que se encuentran cercanos al -1, es decir, indicando ausencia de vegetación mientras que el color verde representa los valores cercanos al 1 es decir vegetación ajustada al suelo.

Claramente se pudo observar el decrecimiento del área de la vegetación desde la comuna 1 y 2 hacía las periferias, sin embargo, las comunas del centro de la ciudad no presentaron cambios significativos en los valores de pixel (ver tabla 8).

Tabla 8. Área (m²) de vegetación ajustada al suelo, por comuna. Periodo 1989-2016.

COMUNA	1989	2016	DIFERENCIA
--------	------	------	------------

1	67.809	54.570	13.239
2	191.948	110.690	81.258
3	486.974	320.645	166.329
4	494.151	257.244	236.907
5	1.623.583	1.201.733	421.850
6	1.452.466	732.734	719.732
7	640.099	396.995	243.104
8	763.331	430.478	332.853
9	2.624.468	2.091.386	533.082
10	1.002.955	561.680	441.275
11	644.827	487.205	157.622
12	1.778.398	1.370.300	408.098

Fuente: Esta investigación, 2018.

Las comunas 6, 9, 10 y 12 presentaron valores de cambio significativos, estos se corroboraron mediante un análisis basado en algoritmos de probabilidad de cambio generados a partir de la plataforma de programación R Studio, valores que permitieron determinar, no solamente, el cambio específico pixel a pixel sino también identificar la dirección de cambio, es decir lo que desapareció denominado *cambio sustractivo* o lo que se adicionó o mantuvo denominado *cambio aditivo*, durante el periodo de evaluación.

Para el componente de análisis (cobertura vegetal) representado mediante el SAVI, se estableció el concepto *aditivo* al caso en el que haya aumento o mantenimiento del área de cobertura vegetal durante el tiempo de evaluación y el concepto *sustractivo* se refiere al caso en el cual se presenten pérdidas de cobertura vegetal en la ciudad de Pasto.

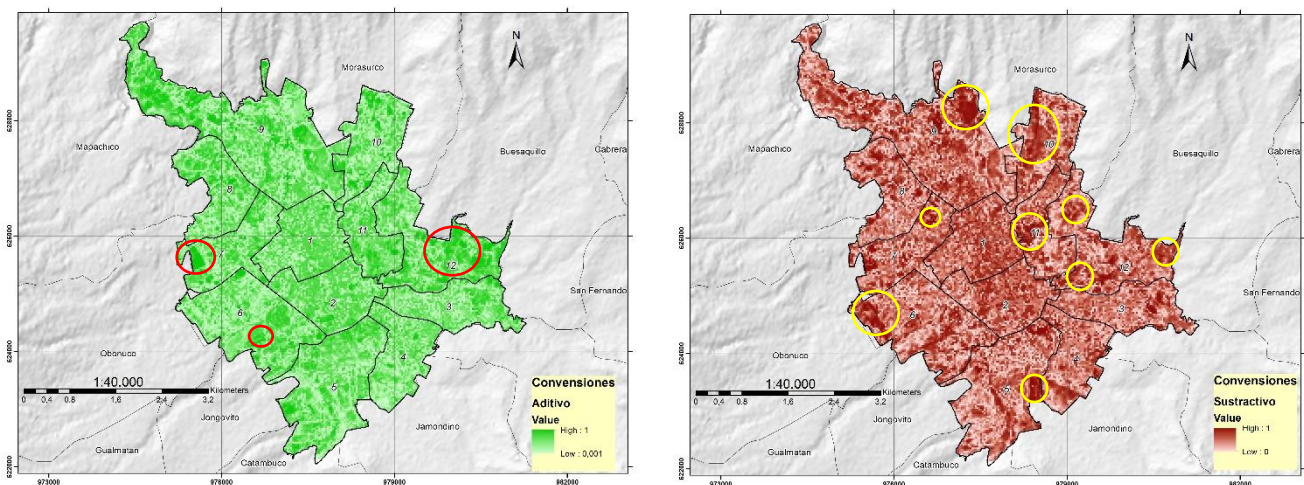


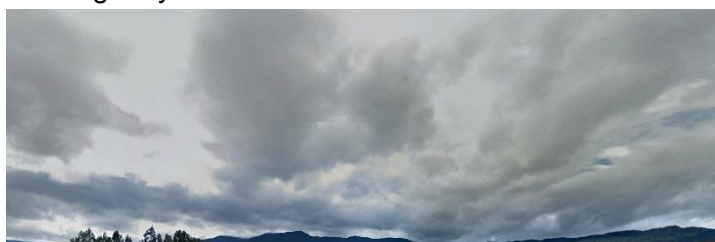
Figura 5. Imágenes de detección de cambio Aditivo (izq.) y Sustractivo (der.) de SAVI.

Fuente: Esta investigación, 2018.

La figura 5 indica el cambio presentado con respecto a la ganancia o mantenimiento (escala de verdes) y pérdida de la cobertura vegetal (escala de rojos) sucedidos durante los 27 años de comparación. El mapa de la parte izquierda muestra una sustentación del área, evidente en ciertos sectores correspondientes a las comunas 7, 12 y 6, valores que condujeron a una priorización de aquellos fragmentos verdes con el fin considerar y discutir más adelante, posteriormente, se evaluaron los cambios sustractivos que requieren un mayor análisis bajo un mapa de comparación de cambio (ver figura 10).

Para la comuna 7 pudo identificarse claramente que, durante el lapso de tiempo evaluado, el sector oeste, límite con el corregimiento de Obonuco, presentó un área de cambio aditivo evidenciando la presencia de áreas de cobertura vegetal en lotes no habitados, colindantes con la infraestructura de la alcaldía de Pasto en el sector de Anganoy, además existe un pequeño fragmento de bosque nativo de aproximadamente 1,2 has el cual se ha mantenido durante el periodo de evaluación incrementando su área en un 0,05% de acuerdo a estimaciones poligonales realizadas de forma remota, estos resultados se ven expuestos en el sector aún en la actualidad (ver figura 6) y se confrontan con los valores de cambio sustractivo presentados en la misma comuna pero en diferente sector.

Figura 6. Sector de cambio aditivo en comuna 7. Anganoy.



Fuente: ESRI, DigitalGlobe 2016; Google Street View.

La construcción de la Avenida Panamericana, que atraviesa la ciudad de norte a sur, por el occidente del casco urbano, se constituyó en el eje vial que arrastró el crecimiento de la ciudad hacia el occidente, dando origen a un sector residencial importante de estratos socioeconómicos medios y medios altos, la comuna 7 hace parte de este canal vehicular de importancia para la ciudad, en donde la formulación de proyectos civiles a lo largo de este componente vial ha generado una marcada pérdida de vegetación evidenciada en los barrios La Aurora, San Ignacio y el sector denominado como Los Hexágonos. Estos cambios han contribuido en los valores sustractivos asignados para dicha comuna dentro del marco del estudio de imágenes digitales. El centro comercial Unicentro implementado en este sector, en el año 2007 (ver figura 7) genero un cambio de cobertura significativo para la comuna, cerca de 43.000 m² de cobertura vegetal fue transformada a cobertura impermeable, haciendo que los valores evidenciados en el gráfico de diferencia de cambios SAVI (Figura 10) marquen un valor numérico de 0,64 entre índices SAVI, valor por encima del promedio para las 12 comunas. De la misma manera la construcción en general de obras civiles de avanzada como el colegio San Francisco Javier y edificios habitacionales en el sector de los hexágonos colindantes con la calle 16 contribuyeron en gran medida a los

valores sustractivos de la comuna.

Figura 7. Sector de cambio sustractivo en comuna 7. La Aurora



Fuente:ESRI, DigitalGlobe 2016;Aerofotografía DRON, 2018.

El fenómeno de la adición se presentó en la comuna 12 en la que, sobre la parte oriental con los barrios Villarecreo y La Carolina se pudo evidenciar un mantenimiento del área de cobertura vegetal durante el tiempo de evaluación, específicamente en sectores cercanos al corregimiento de Buesaquillo, inmediaciones a La Corporación autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO, la cual cuenta con un área de cobertura vegetal significativa de aproximadamente 240.221 m² de acuerdo a mediciones poligonales realizadas de forma remota (ver figura 8).

Figura 8. Sector de cambio aditivo en comuna 12. Villarecreo.



Fuente: ESRI, DigitalGlobe 2016; Aerofotografía DRON, 2018.

Esta cobertura vegetal es de suma importancia para la comuna 12 de acuerdo a los valores numéricos de las imágenes, debido a que es el único sector que presentó un cambio aditivo. La comuna 12 mostró valores de cambio sustractivo muy altos, los más altos de la ciudad, prácticamente es una de las comunas que presentó mayor pérdida de vegetación a lo largo del periodo de evaluación de esta investigación (Ver tabla 9).

Tabla 9. Porcentaje de adición y sustracción para cada comuna. Periodo 1989-2016.

COMUNA	ÁREA (m ²)	ADICIÓN O MANTENIMIENTO	SUSTRACCIÓN
1	1.614.054	0,35 %	2,57 %
2	1.505.189	2,89 %	3,18 %
3	1.461.937	7,04 %	6,31 %
4	1.400.682	1,42 %	10,70 %
5	2.746.137	7,57 %	6,24 %
6	2.492.709	9,16 %	8,98 %
7	1.458.697	<u>22,16 %</u>	<u>11,94 %</u>
8	1.489.398	11,10 %	7,29 %
9	4.533.116	20,35 %	16,59 %
10	1.552.916	9,33 %	<u>27,87 %</u>
11	1.166.592	11,11 %	13,01 %
12	2.251.342	19,75 %	<u>28,73 %</u>

Fuente: Esta investigación, 2018.

Continuando con el análisis de la detección de cambio, la comuna 6 al igual que la comuna 12 presentó valores de pixel aditivos (mantenimiento) en algunos sectores (Ver Figura 9).

Figura 9. Sector de cambio aditivo en comuna 6. El Niza.



Fuente: ESRI, DigitalGlobe 2016; Google Street View.

Esta comuna alberga gran cantidad de habitantes de la ciudad de Pasto (Alcaldía municipal de Pasto, 2014), cerca del 50% de la población citadina se encuentra distribuido a lo largo y ancho de las comunas sur orientales, por lo que se convierte en una de las comunas de interés; esta mostró un índice de diferencia SAVI por encima del promedio, es decir tiene una pérdida significativa en cuanto al área de cobertura vegetal, sin embargo, en ciertos sectores existen amplias áreas de cobertura vegetal (ver figura 5). Claramente se pudo observar que los barrios El Niza, Agualongo y Caicedo presentaron una significativa área de cobertura vegetal, conformada

básicamente por potreros y especies arbóreas nativas de porte alto que hacen parte en gran medida del predio de uno de los cementerios municipales, contribuyendo a la adición en los valores de evaluación. Los valores de pérdida para la comuna 6 se presentaron justamente en sectores que hacen parte de los barrios mencionados anteriormente, el impacto negativo se evidenció en la pérdida de especies vegetales con alto valor ambiental, causada en gran medida por la modificación de la topografía derivada de los asentamientos humanos informales medida por los indicadores de densidad de vivienda y densidad de población en el documento técnico del POT 2014-2027 aumentando el riesgo ante las amenazas de fenómenos de remoción en masa cartografiadas por Planeación Municipal, sin embargo, dicho POT desconoce las medidas frente a los cambios de uso del suelo en la mayoría de comunas de la periferia, muchas veces por el débil planteamiento de políticas locales.

Como consecuencia de la ausencia e ineficiencia en la implementación de todas las herramientas previstas por la ley, la ciudad se encuentra en una cifra de 2.2 m²/hab (Alcaldía municipal de Pasto, 2014), de espacio público efectivo en todo el sector urbano. La cifra previamente mencionada presenta un escenario deficitario en un 12.8 m²/hab con respecto a los 15 m²/hab como valor deseado y propuesto por la organización mundial de la salud OMS y que fue acogida por la constitución Colombiana en el artículo 14 del decreto 1504 de 1998 el cual estableció la categoría de Espacio Público Efectivo EPE, que corresponde al espacio público de carácter permanente, conformado por zonas verdes, parques, plazas y plazoletas y que para efectos de su medición estableció un indicador de espacio público por habitante de 15 m². Al analizar y desdoblar la cifra de 2.2 m²/hab de espacio público efectivo por habitante en el sector urbano, se puede determinar que la cantidad y calidad de espacio públicos efectivos de permanencia correspondiente a parques verdes es de 0.8 m²/hab, espacio público efectivo duro en plazas y plazoletas de 0.1 m²/hab igualmente es muy bajo aportando en la medición final el 1.28% del suelo urbano lo cual representa únicamente un espacio público efectivo cualificado de 0.9 m²/hab. Estas cifras desplazan el concepto “cobertura vegetal” en ciudades, elemento que exige un análisis independiente de otros componentes del territorio urbano.

A continuación, se relacionan las áreas verdes contempladas por los dos últimos planes de ordenamiento de la ciudad, respecto a los valores obtenidos en esta investigación.

Tabla 10. Área de cobertura vegetal estimadas por fuente de datos.

Comuna	POT 2003 - 2012	POT 2014-2027 (m ²)	Esta investigación
1	12.256	7.539	54.570
2	22.236	16.613	110.690
3	37.279	25.955	320.645
4	55.899	44.797	257.244
5	45.125	34.690	1.201.733
6	186.256	139.176	732.734
7	12.524	8.077	396.995
8	68.262	52.242	430.478
9	14.263	11.004	2.091.386
10	65.066	62.972	561.680
11	18.622	12.614	487.205
12	35.556	15.853	1.370.300

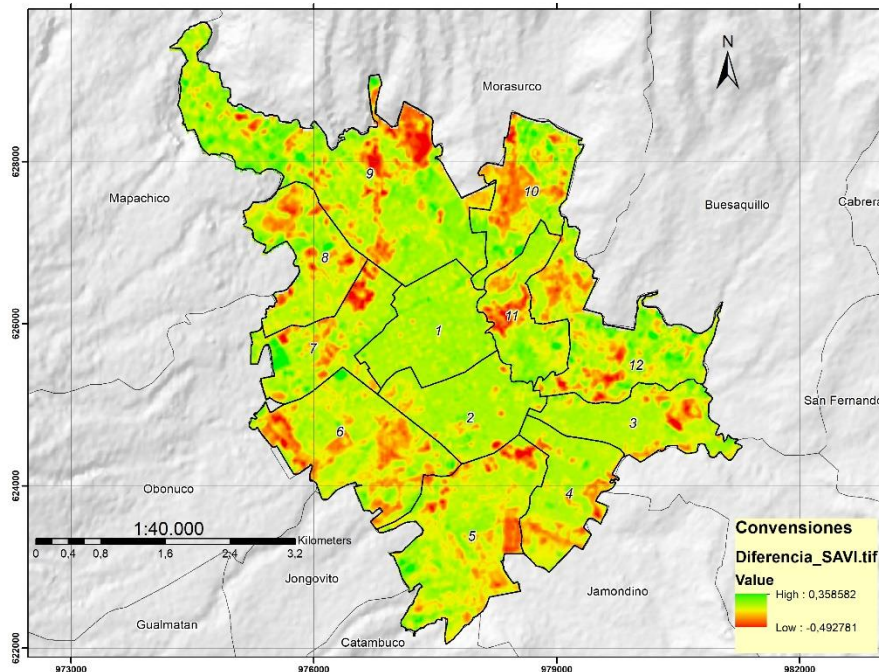
Fuente: Esta investigación, 2018.

Continuando con los valores registrados en el POT, la zona verde urbana aporta apenas el 2.30% del territorio urbano, representando 1.3 m²/hab de espacio público efectivo no cualificado. En el perímetro urbano el diagnóstico ha podido determinar un índice de 4.5 m²/ Hab de andenes, entendidos como espacio público pero que no se incluye en el cómputo final de espacio público efectivo ya que no representa espacios de permanencia. Los andenes sobre vía pública representan 6.7% del área urbana del municipio, en este análisis es importante diferenciar de forma positiva el dato cuantitativo el cual nos arroja una cobertura alta de andenes sobre vías públicas, sin embargo el análisis cualitativo de los andenes nos revela un estado de deterioro, abruptos cambios de niveles, diferencia en los materiales, irrespeto y ocupación de rampas vehiculares de acceso a predios desde la vía, anchos insuficientes en algunos sectores, invasión de espacio público por parte de los vendedores ambulantes, convirtiendo los andenes en espacios peatonales de muy baja calidad espacial y de seguridad.

Con la finalidad de realizar un análisis completo para la ciudad de Pasto, que conduzca a la identificación de los valores de sustracción de cobertura vegetal, se procedió a generar una intersección de cambio entre los productos SAVI 1989 y SAVI 2016, esto permitió obtener sectores en toda la ciudad en donde hubo o no cambios, además

brindó información medible con el fin de comparar las comunas y sus respectivos valores de cambio.

Figura 10. Mapa de diferencia de cambio SAVI.



Fuente: Este estudio, 2018.

La figura 10 indica en color rojo las zonas en las cuales sucedieron cambios significativos de cobertura vegetal, color amarillo donde los cambios fueron leves y color verde donde no hubo cambios, es decir sectores en donde se mantiene el área de cobertura vegetal. Haciendo una evaluación visual y numérica se determinó que la comuna 9 presenta una modificación de cobertura vegetal en el sector norte, en cercanías al barrio Morasurco. Este sector presentó una fuerte extracción del componente vegetal, específicamente de especies arbóreas como Pino (*Pinus radiata*), Sauce (*Salix humboldtiana*) y Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) las cuales han sido reemplazadas por coberturas impermeables para elaboración habitacional, bodegas y área industrial para extracción de materia prima orientada a la construcción (ver figura 11). Este cambio se evidencia teniendo en cuenta que el SAVI de 1989 presentó valores numéricos altos en vegetación 0,887, mientras que para el año 2016 los valores están por 0,217 (ver figura 10).

Figura 11. Sector de cambio sustractivo. Morasurco.

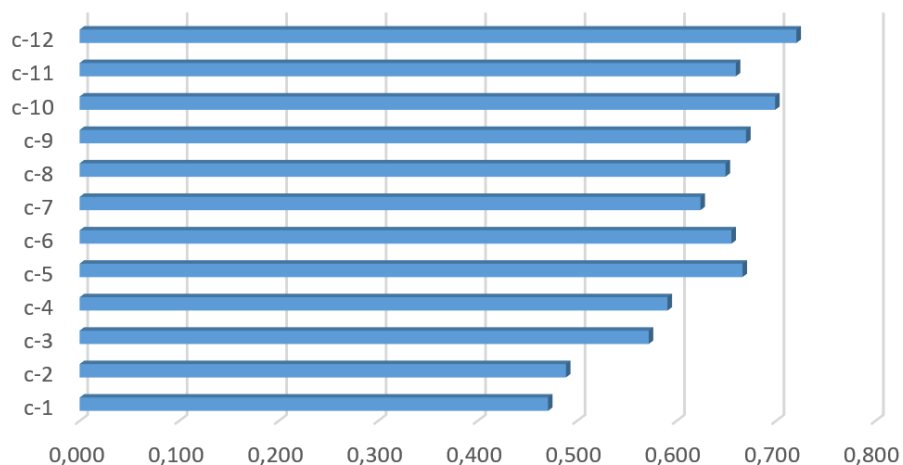




Fuente: ESRI, DigitalGlobe 2016; Aerofotografía DRON, 2018.

Las generaciones de nuevas superficies impermeables en la ciudad han desplazado en gran medida el componente vegetal a lo largo de los últimos 10 años (Revista Nariño, 2007). Estas áreas se incrementaron sobre la mayoría de sectores que presentaron pérdida de cobertura vegetal y reaccionaron como se esperaba con respecto a las comunas que poseían los indicadores de cambio de vegetación más bajos. En contraste se encuentran las comunas 1 y 2 en las cuales los valores de pixel no sufrieron cambios drásticos por lo tanto poseen valores de cambio SAVI por debajo del promedio, indicando un bajo nivel de cambio y así mismo un bajo nivel de cobertura vegetal, es decir la poca cobertura vegetal que se presenta en el sector centro e inmediaciones no ha sufrido modificaciones o cambio significativo durante el lapso de tiempo de la investigación. Lo anterior mencionado, se evidencia claramente en la siguiente figura.

Figura 12. Grafica de diferencia de cambio SAVI para cada comuna, periodo 1989-2016.



Fuente: Este estudio, 2018.

La gráfica de diferencia de cambio SAVI mostró valores más bajos en las comunas 1 y 2, comunas en las que gran parte de la población citadina transita y permanece durante el día. La vegetación presente para los dos años de evaluación 1989 y 2016 es mínima y el cambio también, es decir la vegetación ha aumentado o ha disminuido levemente, por esta razón los valores de diferencia se encuentran muy por debajo del promedio. La mayoría de la vegetación ubicada en las comunas 1 y 2 se encuentra distribuida en parques, zonas verdes y separadores viales arborizados en sectores como la plaza de Nariño, Plaza del carnaval, sector de los Dos Puentes y avenida Santander (ver figura 13).

Figura 13. Ortofotomosaico de identificación de cobertura vegetal. Sector Centro



Fuente: Este estudio, 2018.

La gráfica de diferencia de cambio SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo) muestra los valores de cambio por comuna observados inicialmente en la figura 5. Esta figura (figura 12) mostró que todas las comunas presentaron un cambio direccionado a la pérdida de vegetación, aunque existen valores aditivos que representaron mantenimiento y conservación de áreas vegetales en algunos sectores de la ciudad, los cuales deben ser foco de conservación con el fin de mejorar condiciones para el habitante urbano. Sin embargo, existen problemáticas planteadas desde la falta de un equilibrio territorial que a su vez generan un territorio no sostenible, las cuales tienen su origen en una ineficiente aplicación sistémica de los instrumentos de gestión urbana previstos en la ley 388 de 1997, anterior al primer POT del municipio de Pasto en el año 2000. En una construcción más colectiva del territorio instrumentos tales como la integración inmobiliaria, el reajuste de tierras, la cooperación entre partícipes, participación en plusvalía, pagare y bonos de reforma urbana y fondos de compensación garantizan el reparto equitativo de cargas y beneficios. La ley a su vez prevé instrumentos de planificación complementaria tales como la implementación de unidades de actuación urbanística, identificación de sectores de crecimiento y fortalecimiento de áreas de crecimiento urbano. En ese sentido, este estudio, a través del análisis multitemporal demuestra que la mayoría de cambios suceden hacia las comunas periféricas muy singular en pequeñas ciudades con morfología concéntrica en las que se muestran tendencias hacia una expansión urbana cuya población busca mantener una proximidad con el centro, que es en donde se aglutinan las principales actividades y servicios de la localidad.

De igual manera, se halló que los indicadores de vegetación a pesar de que tienen tendencias similares en pérdida vegetal, presentan otros sectores de los anteriormente mencionados, en los cuales se ha mantenido el área de cobertura vegetal. Las comunas: 1 (Dos puentes hacia las cuadras), 2 (Parque Bolívar y sector de las Lunas),

3 (El Popular, La Estrella), 4 (La Minga) 5 (parque Chapalito), 8 (Quintas de San Pedro 2), 9 (Torobajo) y 11 (Sector acueducto centenario), ver figura 14.

Figura 14. Fotografías aéreas cobertura vegetal en la ciudad de Pasto.

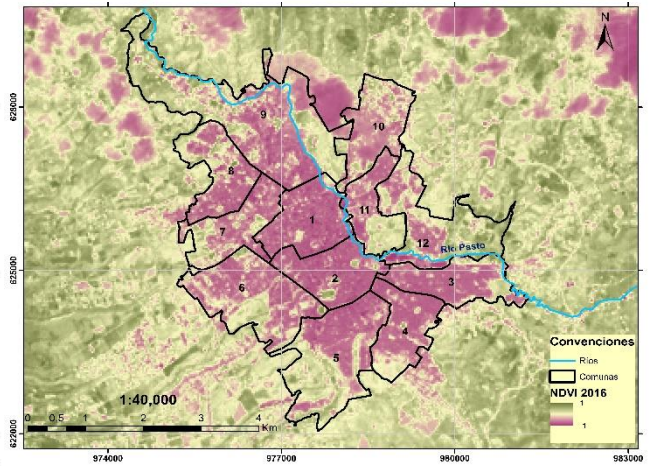
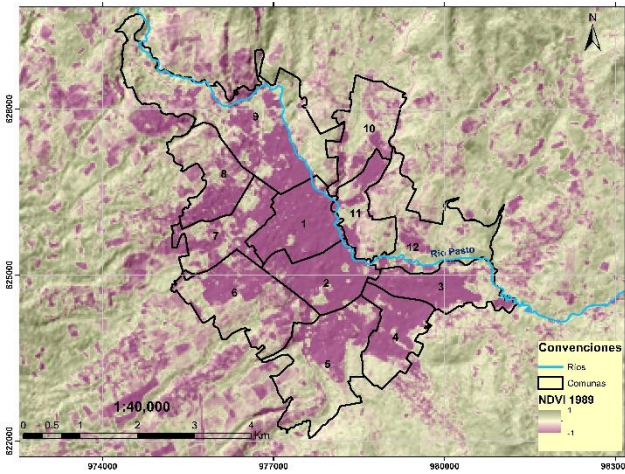


Fuente: Aerofotografía DRON, 2018.

Un complemento en el análisis de la vegetación nos conduce hacia la evaluación los indicadores biofísicos para la ciudad, priorizando comunas que presentan mayor cambio sustractivo. A continuación, se relacionan los indicadores biofísicos derivados del desarrollo del segundo objetivo.

Al calcular, a partir de las imágenes Landsat, los índices de sensores remotos indicados en la metodología, se obtuvieron sus correspondientes salidas gráficas, para los años 1989 y 2016, en las variables cobertura vegetal (Figura 15 y 16), contenido de humedad de las hojas (Figura 17), temperatura superficial terrestre (Figura 18) y cobertura impermeable (Figura 19), concentrándose en la información biofísica localizada en el interior del perímetro urbano.

Figura 15. Imágenes de NDVI para los años 1989 (izq) y 2016 (der.)



Fuente: Este estudio, 2018.

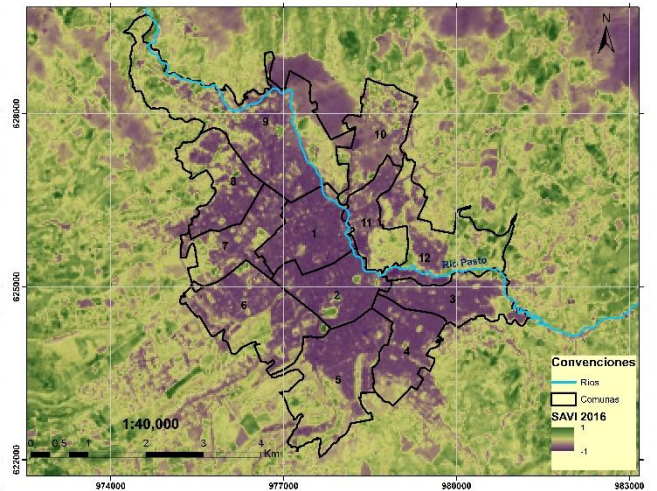
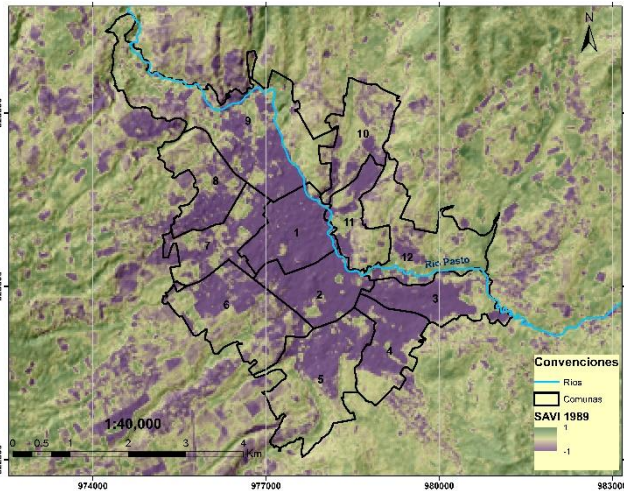
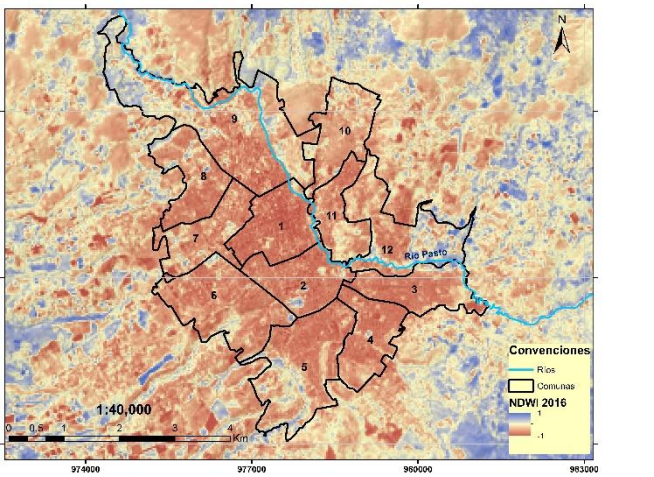
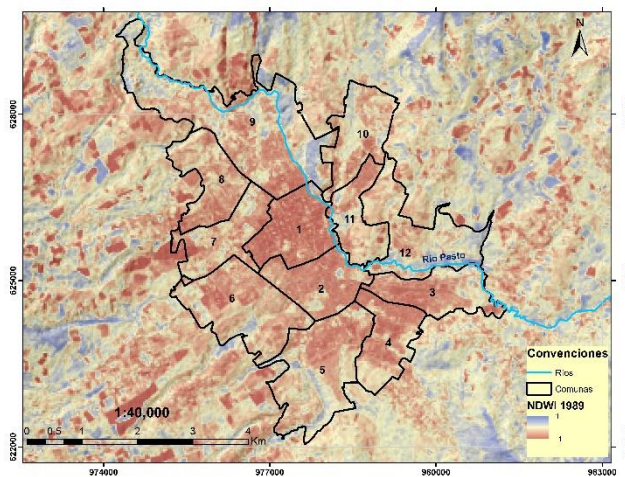


Figura 16. Imágenes SAVI para los años

1989 (izq.) y 2016 (der.)

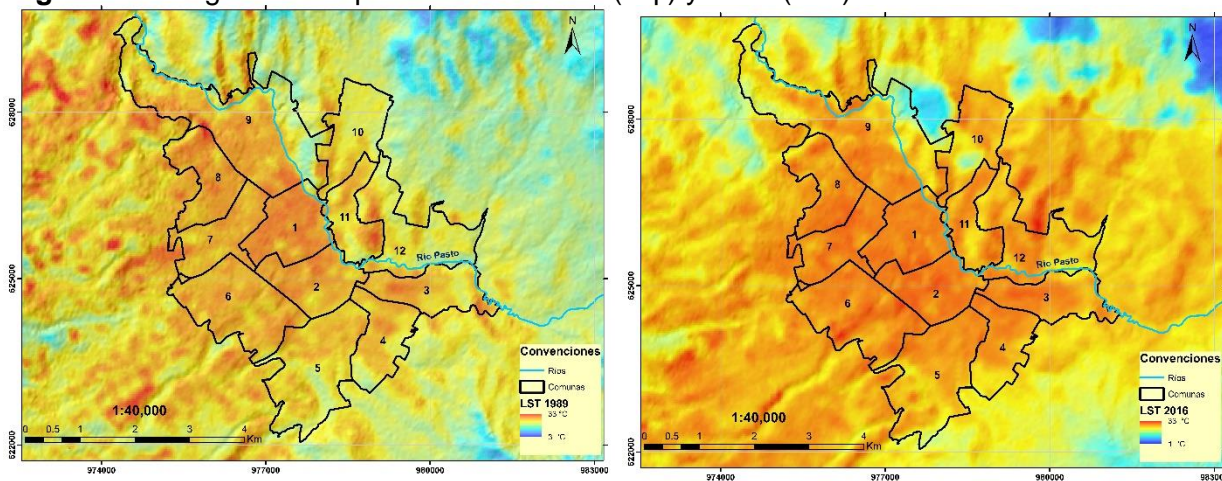
Fuente: Esta investigación, 2018.

Figura 17. Imágenes NDWI para los años 1989 (izq.) y 2016 (der.)



Fuente: Esta investigación, 2018.

Figura 18. Imágenes LST para los años 1989 (izq.) y 2016 (der.)



Fuente: Esta investigación, 2018.

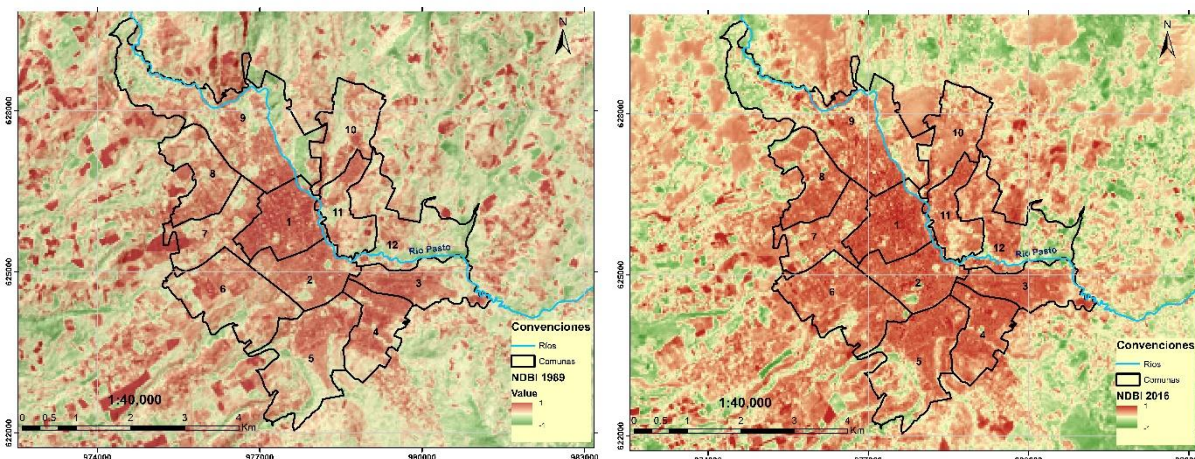


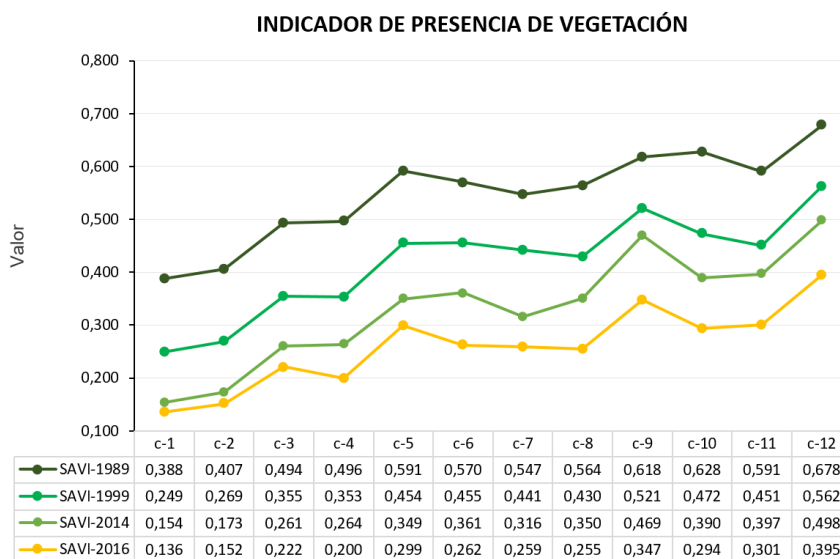
Figura 19. Imágenes NDBI para los años 1989 (izq.) y 2016 (der.)

Fuente: Esta investigación, 2018.

En la categoría de cobertura vegetal se utilizó el método del umbral del NDVI (Sobrinho et al., 2004) teniendo en cuenta que los valores son -1 a 1, aumentando la cantidad y calidad de vegetación respecto al incremento numérico. En la Figura 15 y la gráfica de tendencias con los valores promedios de los indicadores por comuna (Figura 20), pudo verse claramente que la mayor reducción de los valores de los indicadores de vegetación NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo) entre el año 1989 y 2016 se encontró en las comunas 6, 8 y 10 y en las comunas 9, 10 y 12 respectivamente. Durante el lapso de tiempo considerado, en la comuna 6 se presenta una expansión del área urbana hacia el

noroccidente con el barrio Altamira y al suroriente con los barrios Niza I Ciudad Jardín y Nueva Colombia, gran parte sustituyendo coberturas de potreros por nuevas edificaciones habitacionales de tipo vertical. El anterior fenómeno, también se presentó a grandes rasgos en otras 2 comunas: La comuna 8, hacia su parte noroccidental con los barrios Quintas de San Pedro y Altos de la Colina; y la comuna 10 hacia el norte, en vecindad con el corregimiento de Morasurco, en los barrios Nuevo Sol, Altos de Aranda y Tescual bajo.

Figura 20. Gráfico de tendencia para los indicadores de vegetación por comuna.



Fuente: Esta investigación, 2018.

El área norte adyacente de la comuna 9 en dirección hacia la salida al norte, localizada fuera del perímetro urbano en el corregimiento de La Caldera, es de vital atención por la alta vulnerabilidad de la población ante las amenazas por movimiento de masas de tipo medio a muy alto dado que presenta zonas con detrimento en su cubierta vegetal, debido al rápido reemplazo de área verde por zonas residenciales en sectores como Pinasaco y altos de Pinasaco. En ese mismo sentido, la comuna 12 es la comuna que más niveles de diferencia vegetal presentó, las nuevas construcciones de apartamentos de interés social desarrollada por el gobierno de la Alcaldía municipal entre los años 2014 y 2016 en sectores periféricos de la ciudad han desplazado significativamente espacios de cobertura vegetal. El sector de La Carolina con las nuevas infraestructuras

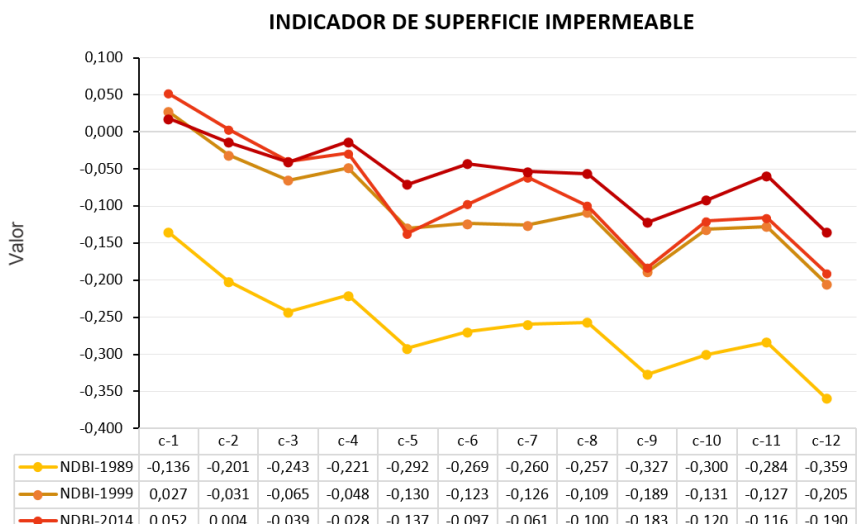
comunales como Balcones de La Carolina y Altos de Carolina han contribuido en gran medida a que esta sea la comuna con mayor valor de cambio.

De igual manera, se halló que los indicadores de vegetación a pesar de que tienen tendencias similares, sufren leves cambios en algunas comunas. Las comunas 3 (Santa Mónica), 4 (El Tejar) y 5 (El Chapal), presentan pérdidas en su vegetación. Al mismo tiempo, la Figura 20 muestra unos picos en el indicador SAVI de los años 1999 (mes de marzo) sobre los del año 2014 (agosto) en las comunas 9 y 11 representando un acercamiento entre valores, producto del estado fenológico de la vegetación en dos temporadas climáticas opuestas, y no por la implantación de políticas ambientales.

De la figura (20), también se logró inferir que las comunas con mayor vegetación para todos los años fueron la comuna 12, 10 y 9, y que pese a su pérdida siguen siendo las comunas que más área verde presentan.

En la segunda categoría referente a las superficies impermeables, se incrementaron las áreas donde hubo pérdida de cobertura vegetal (Figura 19) y reaccionaron como se esperaba con respecto a las comunas que poseían los indicadores de vegetación más bajos. El indicador de superficie artificial NDBI (Índice de Construcción de Diferencia Normalizada) revela que la comuna 1 (Figura 19) es la que presenta mayor cantidad de pixeles de área urbanizada sin zonas verdes debido a la baja planificación que tuvo desde su fundación por ser una de las comunas más antiguas y tradicionales de la ciudad donde actualmente, además de área residencial predominante (atributo que comparte con la comuna 2 hacia el oriente), se encuentran establecimientos comerciales, talleres e infraestructura de comercio por su cercanía al sur con la comuna 2 clasificada primariamente como área económicamente predominante.

Figura 21. Gráfico de tendencia para los indicadores de cubiertas impermeables.



Fuente: Esta investigación, 2018.

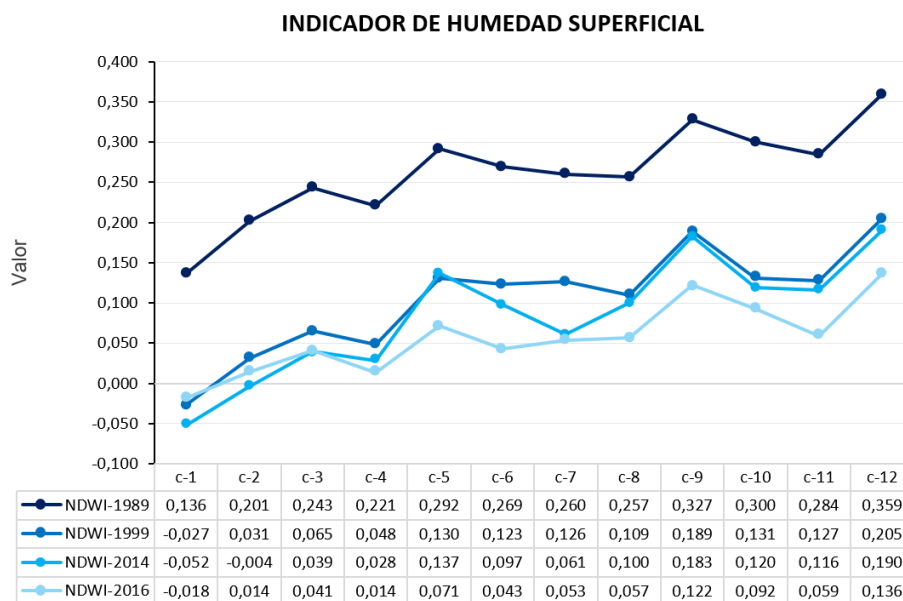
Al observar la Figura (21), el NDBI indica un incremento considerable en la comuna 7 para el año 2014 (sector de La Aurora, Unicentro y parte de los hexágonos) rectificando lo mostrado en el análisis multitemporal, con los valores de sustracción para cobertura vegetal. Cabe destacar que pese al pico presentado entre el año 1999 a 2014 (en gran medida por las construcciones mencionadas en el desarrollo del primer objetivo) el índice se ha mantenido para el año 2016.

En la tercera categoría se calculó el NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada) (Figura 22). Primero es necesario entender que se usó este índice debido a que tiene como propósito realzar la humedad o contenido de agua en la vegetación; este índice destacó con valores positivos en lugares donde hay fuentes hídricas (ríos, lagunas, estanques, etc), y vegetación con alto contenido de agua, mientras que, a suelos desnudos, urbanizados y vegetación con bajo contenido de agua asigna valores negativos.

De manera general este índice permitió identificar fuentes hídricas y contenido de agua en la vegetación dentro del perímetro urbano. De acuerdo a los resultados (Figura 17) las comunas con mayores contenidos de humedad en 1989 y 2016 fueron la 12 y la 9, sin embargo, en el 2016 la comuna 12 presenta disminuciones significativas de humedad, al igual que la comuna 7 la cual presenta un cambio de humedad drástico en el 2014 muy de la mano con los valores de superficie impermeable, entonces el aumento de la impermeabilidad causó decremento de humedad para la comuna 7. El año 2014 presentó valores diferenciados a la tendencia, una baja significativa de humedad en la comuna 3 que se mantiene hasta el año 2016, causada por los cambios de superficie en la zona sur oriental de la comuna, cambios mencionados anteriormente, un alza en la comuna 5 sobrepasando los valores de 1999 y un mantenimiento de humedad en la comuna 9 con respecto al año 1999. Este indicador presentó una elevada correlación con el de vegetación, evidenciada en que las

comunas con mayores contenidos de humedad son las mismas que poseen mayor cantidad de vegetación.

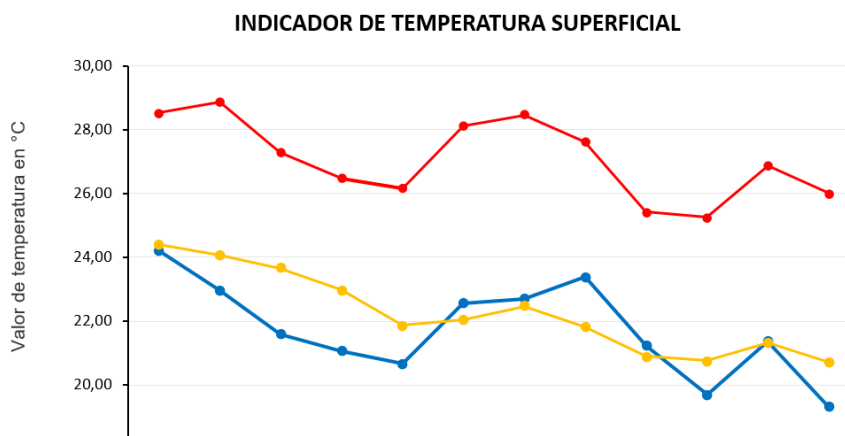
Figura 22. Gráfico de tendencia para los indicadores de humedad.



Fuente: Esta investigación, 2018.

La temperatura superficial terrestre (LST) pertenece a la cuarta categoría de los indicadores biofísicos obtenidos. En la Figura (18) se aprecia que a pesar del aumento en el rango de temperatura para el año 2016 en comparación con el del 1989, por condiciones atmosféricas diferentes (se encontró una diferencia en el perímetro urbano de $-1.257\text{ }^{\circ}\text{C}$), se conserva un patrón térmico similar en los vértices adyacentes de las comunas 1, 7, y 9, el cual se desplaza en dirección noroccidente hacia la comuna 8. De igual forma, en la Figura 16, se identificó cómo la transición de la cobertura vegetal a superficies impermeables de la comuna 7 y comunas 10 y 12, incrementa los valores de la temperatura en dichas unidades espaciales.

Figura 23. Gráfico de tendencia para los indicadores de temperatura.



Fuente: Esta investigación, 2018.

La comuna 2 presenta una situación particular, para el año 2016 es la comuna con mayor temperatura superficial la cual ha crecido gradualmente a partir del año 1989; para el año 1999 se evidencia el crecimiento de los valores en grados centígrados. Pese a que la comuna no sufrió una transformación de cobertura vegetal, (como se menciona en las categorías que relaciona los índices SAVI y NDBI) el aumento de valores de temperatura superficial es evidente, es decir que la comuna no ha contado con una cobertura vegetal considerable, tampoco ha crecido significativamente en cobertura impermeable, sin embargo su temperatura si, esto puede deberse en gran medida a la cantidad de actividades comerciales que dicha comuna presenta, además su ubicación geográfica respecto a las demás comunas han hecho que sea un espacio cerrado, limitado por espacio público eficiente y con bastante movilidad vehicular (Alcaldía municipal de Pasto, 2014), automotores de servicio público y particular circulan a diario por las calles que hacen parte de la comuna, esto puede influir significativamente en la generación de un foco de aumento de temperatura ambiente que es representa 10 grados centígrados menos de la temperatura superficial, aproximadamente. Es recomendable tener en cuenta la implementación del componente vegetal varios sectores de la comuna 2, ya que claramente se puede observar que las comunas que cuentan con mayor espacio vegetal presentan los índices más bajos de temperatura, es el caso de la comuna 12 para el año de 1989 y la comuna 10 para el año de 2016 (ver figura 23).

Por otro lado, es evidente la baja temperatura presentada en el año 1999, para comunas 6,7,8 y 9 toda la periferia noroccidental. Pudo deberse en gran medida a las condiciones climáticas de la fecha de adquisición de la imagen, teniendo en cuenta que, en el primer trimestre del año de evaluación, se presentaron bajas temperaturas en el país, y fenómenos climáticos que incidieron fuertemente sobre la región alto andina del

departamento de Nariño (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 1998).

Sin embargo, la tendencia de la temperatura superficial para el año 2016 (Figura 23) muestra algunos cambios considerables en contraste al año 1989 destacados en los siguientes hechos: es evidente el cambio significativo con respecto al aumento en todas las comunas, básicamente hay un incremento de 6,6 °C para toda la ciudad pasando de 21,7 °C a 27,1 °C. La comuna 1 dejó de ser la comuna con temperaturas más altas entre las 12 comunas, debido al incremento sucedido en la comuna 2 para el año 2016, esto hace que sea la segunda comuna con mayor valor de cambio después de la comuna 12 la cual presentó un cambio de 6,69 °C de incremento en los últimos 27 años. Las comunas 8 y 9, mostraron un ligero incremento en la temperatura de 4,24°C y 4,20°C, respectivamente, lo cual es muy significativo teniendo en cuenta la diferencia registrada en la temperatura media del perímetro urbano entre las fechas evaluadas. Estas dos unidades espaciales son las que menos han sufrido el incremento de temperatura, en contraste a las comunas mencionadas anteriormente.

Por último, se debe tener en cuenta la fecha de adquisición de las imágenes, los cambios en temperaturas debido a las temporadas adquiridas pueden generar ruido en los datos, no obstante, los resultados se asocian perfectamente a los indicadores biofísicos soportando y confirmando los resultados obtenidos.

Los anteriores indicadores nos dan una condición biofísica sobre un espacio geográfico dinámico denominado ciudad, en el que es necesario analizar factores de crecimiento, mediante revisión de documentación histórica, para posteriormente relacionar comunas que presentaron los valores más altos de sustracción vegetal (identificados en el objetivo 1) con la estimación paisajística como efecto del crecimiento urbano.

A partir de la década de 1970 se genera un período de consolidación y modernización de la ciudad de San Juan de Pasto, como ciudad capital del Departamento de Nariño, centro urbano donde se aglomera población allegada de otros sectores del departamento de Nariño con el fin de buscar mejores oportunidades laborales, hecho que generó la expansión de su área física, con la aparición de nuevos barrios en lo que

hoy bajo la normatividad del Plan de Ordenamiento Territorial 2014-2027 se conoce como área de expansión territorial. A continuación, se muestran los factores tanto de tipo objetivo como subjetivo que han ayudado al desarrollo y expansión urbana de la ciudad de San Juan de Pasto.

El crecimiento poblacional es el principal factor que generó el crecimiento de las ciudades en todo el Mundo, este incremento en la población, aceleró la expansión física de las ciudades y se alimenta del crecimiento natural de la población y de las masivas migraciones *rural – urbana*, que experimentó la ciudad de San Juan de Pasto desde mediados de la década del setenta del siglo pasado (Piarpusan, 2012).

A partir de esta importante década para la ciudad, la población urbana creció rápidamente, demandando espacio para vivienda, ocasionando una inmediata urbanización por parte de entidades gubernamentales y el sector privado, quienes en el afán de construir soluciones de vivienda llevaron al crecimiento urbano sin procesos de planificación, marcando una clara relación entre la expansión física y el crecimiento demográfico.

A mitad del Siglo XX, la ciudad era pequeña, con escasos 48.853 habitantes, pero en los últimos treinta años se ha multiplicado en cuatro veces al pasar a 341.569 habitantes (Piarpusan, 2012), durante esta época, la población urbana era naciente, pues es durante la década de los años setenta cuando se empieza a generar una expansión urbana hacia el sector suroriental de la Ciudad, iniciando la conformación de comunas 4, 5 y 6 con la construcción de diferentes urbanizaciones que fueron remplazando la cobertura vegetal periférica, sectores conocidos como Chapal, Canchala y el Popular dejan de ser un espacio totalmente rural y se empieza a incorporar a la urbe creciente; este fenómeno conurbatorio empieza a agregar estos espacios a la ciudad generando expansión de los límites físicos, ocasionando crecimiento urbano. Según registros históricos encontrados en la biblioteca Leopoldo López Álvarez, del Banco de la República, la administración del

alcalde de turno realizó un censo urbano para determinar cuántas familias poseían vivienda propia y de esta forma poder concretar con el ICT (Instituto de Crédito Territorial) la adjudicación de nuevas viviendas a las familias que las requerían.

Figura 24. Planes de vivienda en comunas Surorientales



Fuente: Diario “El derecho”, 1976.

En San Juan de Pasto el crecimiento de la población disminuyó considerablemente en los últimos años, después de registrar una tasa de 4.2% en los censos de 1964, 1973 y 1985, y para el año de 1993 bajó a un 3.5%, además el censo del 2005 registró un 1.5%, La tasa de crecimiento de una población fluctúa constantemente; su descenso no significa que necesariamente este disminuyendo la población de una región; puede indicar que está creciendo más lentamente (Departamento Nacional De Estadística, 2002).

Figura 25. Planes de vivienda en comunas Surorientales

Fuente:	Año	Población Urbana	Departamento
Administrativo DANE, 2000.	1.964	82.546	Nacional de Estadística.
	1.973	128.298	
	1.985	203.407	
	1.993	261.368	
	2.000	294.563	
Las tasas de crecimiento de las comunas			

comparadas con la de la ciudad han ido aumentando significativamente desde la década del setenta. Para el periodo 1973 – 1985 con un valor de 5,2%, para el período 1985 – 1993 de 6,5%, mientras que para el último período intercensal fue de 7,4%,

tasas relativamente altas teniendo en cuenta que los urbanistas consideran una tasa elevada valores que superen el 4%; éste hecho se deriva de la conglomeración de la población por causa de los diferentes planes de vivienda que ofreció el sector público, por medio de la adjudicación de vivienda de interés social, a partir del año 1973.

Figura 26. Déficit de Vivienda en Pasto.



Fuente: Diario "El derecho" 1970.

La densidad de vivienda es un factor de crecimiento importante muy relacionado con la densidad poblacional, la inversión del gobierno local sobre viviendas de interés social ha disparado el desplazamiento de gente del sector rural hacia el urbano, buscando nuevas oportunidades de desarrollo en un territorio que cada vez aumenta su expansión. De acuerdo a la evaluación histórica-hermenéutica se pudo identificar que las comunas con mayor incremento en la densidad de viviendas han sido las comunas 3, 4 y 5 pertenecientes a las periferias además de las comunas 12 y 10, indicando claramente que en las dos últimas comunas citadas hay un auge bastante notable en la construcción de urbanizaciones comunales de orden social que coincide con tasas de crecimiento de densidad poblacional. Asimismo, se determinó que para la comuna 9 en sectores ubicados en zonas de ladera del perímetro urbano, existe un alto fenómeno de densificación, el cual no es apropiado debido a que esta zona posee una gran amenaza a movimientos de masas, barrios como El Polvorín, y asentamientos no oficiales ubicados en el sector de la salida al norte, en colindancia con el corregimiento de

Morasurco. De acuerdo a las entrevistas y charlas abiertas realizadas con habitantes de las comunas se puede identificar claramente la ampliación del perímetro urbano. Según José Botina, líder comunal del sector, quien menciona:

“Este espacio siempre ha ido creciendo con el tiempo, lo malo que por falta de recursos económicos la mayoría de nosotros nos acomodamos como podemos, aquí hasta ahora no contamos con servicios básicos por lo que uno esta digamos de forma ilegal, pero de todas maneras ya llevamos más de 20 años y aquí hemos criado a nuestros hijos y ya prácticamente estos espacios son de uno. Yo me acuerdo antes hasta acá no llegaban los buses urbanos y uno tenía más o menos la vida del campo, era siempre alejadito de la ciudad, pero ahora estamos ya casi en pleno centro.” Entrevista realizada al señor José Botina Líder comunitario, habitante del Barrio el Polvorín Comuna 9, 27 de noviembre 2018.

El crecimiento urbanístico que experimentó la ciudad condujo a la absorción de sectores rurales, presentándose el fenómeno de conurbación, convirtiéndolos en nuevos barrios, como sucedió con el sector de Chapal, caracterizado por ser un espacio rural, el crecimiento de la ciudad aglomeró este espacio geográfico, integrándolo a la creciente urbe, tal y como se puede evidenciar en los relatos obtenidos en la entrevista con el líder comunal de este sector:

“Chapal era corregimiento porque había comisarios. Anteriormente este barrio se componía de cuadritas, casi fincas, desde Santa Clara, San Martin eso era fincas pero acá, eran familias, la familia Rojas, Pinchao, también llegaron después Don Maigual, Inés Ayala, la familia Villota, eran casitas lo que había, entonces se podría decir que nuestra niñez era de familia muy integrada con los demás, los de Canchála, Sagrada Familia, todo eso era un callejón, todo era sembrado, había maíz, papa, olluco, cebada, los que más cultivaban y eran dueños eran la familia Rojas, entonces me doy cuenta cómo eran nuestros amigos, muy unidos, yo estude en la escuela de San Juan Bosco hasta segundo año, luego por las circunstancias ya no estude más, además acá nos fuimos acostumbrando y escuchando las costumbres de los mayores”. Entrevista realizada al señor Benjamín Cuchála Líder comunitario, habitante del Barrio el Pilar Comuna 5, 23 de noviembre 2018.

Durante el año 1987 el INSCREDIAL (Instituto de Crédito Territorial) benefició a miles de familias con la construcción de la urbanización Chambú, Miraflores y La Paz, esto hizo que los sectores sur orientales de la ciudad se extiendan hacia los corregimientos aledaños; en la revisión de los planes de ordenamiento del territorio elaborados para aquella época, se puede observar que muestra un patrón de crecimiento tentacular,

pues se construyen una serie de vías peatonales que conectan todos los sectores del barrio, permitiendo la conexión y fluidez vial.

Según datos encontrados en los registros de INVIPASTO, el total de viviendas construidas para los años ochenta, en la Comuna 3, 4, 5 y 6, es de un total de 9.500 viviendas, aproximadamente. Si comparamos esta cifra con el dato de las viviendas construidas en las décadas pasadas, se puede observar un incremento brusco, pues para la década del 70 el total de viviendas en los barrios de las comunas sur orientales es de 1.500 viviendas, generando una baja planificación territorial que no contempla el buen uso del suelo, la mitigación y medición del impacto al generar un cambio brusco de vegetación nativa hacia superficies impermeables. Este crecimiento violento que experimentó la ciudad San Juan de Pasto en dicha época llevó a que dentro del proceso de descentralización se genere la división político administrativa según lo establecía la reforma urbana, agrupando los barrios en distintas entidades territoriales denominadas comunas; es así que para finales de la década de 1980 la ciudad se divide en 10 comunas. El número de barrios aumentó drásticamente y a partir de la segunda mitad de la década de 1990 se realizó una nueva división administrativa dividiendo el área urbana del Municipio en 12 comunas las que actualmente se mantienen.

Los equipamientos de educación se consideran un elemento importante de avance urbano. Para la ciudad de Pasto, las instituciones educativas como el INEM, El John F Kennedy, hoy Herardo Romero, el CASD, hoy Luis Eduardo Mora Osejo, El Colegio Libertad, El Colegio Ciudad de Pasto, La Ciudadela Educativa de la Paz, además de cumplir con la cobertura educativa de la población creciente, sirven como dinamizadores del crecimiento urbano de la Ciudad, según la investigación realizada por Martínez, 2009, quien deduce que los centros educativos propician un crecimiento urbano sobre sus áreas de influencia.

El crecimiento demográfico, no sólo demandó soluciones de vivienda sino equipamientos de todo tipo, el actual Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pasto, define los equipamientos como “construcciones de uso público o privado que sostienen el desarrollo de actividades multisectoriales distintas a la vivienda, constituyen elementos principales y ordenadores de la estructura urbana, en cuya

localización interviene el Municipio con el fin de asegurar un impacto social óptimo de los servicios existentes y futuros". (Alcaldía municipal de Pasto, 2014).

Esta investigación definió como factor de crecimiento urbano de importancia al componente económico; el crecimiento demográfico alimentado por la migración, principalmente del interior del departamento de Nariño, del departamento del Putumayo y de otras regiones del país, se incrementó a partir de la década del setenta del siglo pasado. Las expectativas creadas al incentivar los programas de vivienda donde se ofreció trabajo a mano de obra no calificada, la cual efectivamente incorporó nuevos empleos, pero no los suficientes para responder a las expectativas que se crearon, razón por la cual muchas familias optaron por generar sus propios empleos, creando microempresas de subsistencia, en las áreas de comercio y servicio que no exigen altas inversiones en infraestructura y otras optaron por el empleo informal.

La apertura de la vía Panamericana en 1976 y la interconexión que se efectúa a través de las diferentes carreteras troncales y secundarias, generó que el departamento de Nariño quedara integrado al sistema vial regional y de hecho el área de influencia de Pasto (Mora, 2010), esto le permitió a la ciudad incorporarse con los mercados nacionales, por ende adquiere un protagonismo en la escena económica nacional, consolidándose como un punto de intercambio comercial; en estos años se consolidan empresas construidas años atrás que generaron crecimiento urbano, sobre su área de influencia, como lo es el caso de La industria Licorera de Nariño, La Cervecería Bavaria y El IDEMA, factorías ubicadas en el suroriente de la Ciudad.

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial actual, el sector comercio y servicios reportan los valores más altos con 56% y 28.9% respectivamente, seguido por la industria con un 11.1% y otras actividades con el 4.1%⁷³. La rama de actividad que concentró el mayor número de ocupados fue comercio, restaurantes y talleres de mecánica con el 36,5%. En orden de importancia le siguen: servicios, comunales, sociales y personales, con el 26,3%; industria manufacturera, con el 11.6%; transporte, almacenamiento y comunicaciones. El empleo por ramas de la actividad refleja las características de la estructura económica local, en tal sentido el principal mercado laboral proviene de las actividades del sector terciario en la ciudad de Pasto.

Por otro lado, el crecimiento de las ciudades está influenciado o limitado por factores naturales como la morfología del terreno, las pendientes y el sistema hídrico, entre otros. A partir de estos se puede identificar cómo inciden o limitan el crecimiento de las comunas. Las problemáticas del crecimiento desorganizado de la ciudad y sus comunas, y de las poblaciones del sector rural, que en algunos casos y a pesar de la existencia del POT, tienden hacia la ocupación de terrenos no aptos para la construcción y sin cumplir con las normas establecidas, (Alcaldía municipal de Pasto, 2014) éstos factores de tipo natural llevaron a que el proceso de ocupación esté íntimamente relacionado con la evolución urbana de la ciudad.

De acuerdo a resultados observados en el desarrollo de los objetivos 1 y 2, las comunas periféricas son foco de estudio, inicialmente por sus altos valores de cambios sustractivos, por albergar más de la mitad de la población de la ciudad y por poseer los valores más altos de cobertura vegetal dentro del perímetro urbano; es así como en la revisión de literatura y archivos históricos propios de la ciudad se pudo identificar que la mayoría de los terrenos de las comunas mencionadas anteriormente, no siempre han sido aptos para desarrollar proyectos habitacionales. Según el PLEC de Pasto, en el área urbana del Municipio se localizan alrededor de 85 explotaciones de arcilla para la actividad ladrillera, establecidas en los Barrios: Chapalito, Canchala, La estrella, Nuevo Sol, Aranda, San Martín, La Minga, entre otros barrios periféricos, son propensos a presentar fenómenos de colapso y subsidencia, según lo estipula en el documento evaluación de los efectos actuales de subsidencia y colapsos por actividades de aprovechamiento subterráneo de recursos minerales. Estos barrios representan riesgo para la población ubicada en estas zonas, fueron construidos durante estos últimos treinta años. El afán por parte del gobierno local de entregar soluciones de vivienda a la población creciente, demuestra que la planificación urbana no representó ninguna base en el crecimiento de la ciudad, razón por la cual diferentes autores lleguen a la conclusión de que la ciudad creció desorganizadamente y sin planificación alguna.

El problema de la incompatibilidad entre la actividad minera y el desarrollo urbano de la ciudad es el resultado típico de la falta de Planificación que hoy existe en muchas de nuestras cabeceras Municipales, las explotaciones de arena en sus inicios se ubicaban en la periferia de la ciudad de una manera intensa y desordenada y a medida que

transcurrió el tiempo y la ciudad demandó espacio para urbanizar, se amplía haciéndose necesario utilizar aquellas zonas utilizadas pero sin evaluar las restricciones que para su uso imponen esos socavones.

Varias de las canteras y minas de arena se encuentran dentro del perímetro urbano generando conflictos en el uso del suelo por el alto impacto ambiental y deterioro paisajístico, debido al proceso de extracción que se hace de manera artesanal; por otro lado, el abandono de canteras y minas sin un adecuado plan de cierre provocan que posteriormente debido al desconocimiento e indiferencia de este tipo de prácticas realizadas den paso a construcciones urbanísticas las cuales se ven afectadas por los agrietamientos y la inestabilidad de los suelos haciendo que las construcciones se vengán abajo. Es evidente que el crecimiento urbano sin planificación genera grandes efectos negativos sobre la cobertura vegetal. Esta investigación no identificó estudios técnicos que valoren la magnitud real de la amenaza como la localización precisa de los sectores susceptibles, por comunas. INGEOMINAS en convenio con el municipio de Pasto ha elaborado un mapa de “Unidades Geológicas superficiales de la ciudad de San Juan de Pasto y sus alrededores” como parte de la primera fase del proyecto de microzonificación sísmica, donde se viene evaluando los sitios más vulnerables, y con base en el estudio, las entidades puedan planificar, reglamentar y autorizar los usos del suelo urbano, y las correspondientes licencias ambientales.

La falta de una adecuada planificación urbana y la continua llegada de población desplazada, además de las tasas de crecimiento poblacional, viene provocando una fuerte presión hacia los ecosistemas de zonas de protección, especialmente las cuencas y micro cuencas, generando pérdida de humedales, quemas frecuentes y la praderización de zonas recolectoras de agua (Alcaldía municipal de Pasto, 2012).

Durante el desarrollo de esta investigación se evidenciaron legislaciones vigentes en el proceso de urbanización y crecimiento de la ciudad de Pasto. En el transcurso de los años ochenta, se inicia una campaña urbanizadora por parte del Estado en todas las ciudades del país incluyendo las intermedias; este fenómeno urbanizador en San Juan de Pasto fue dirigido hacia los sectores periféricos, es así que se construyen la mayoría de barrios al suroriente, la revolución urbana apoyada en el modernismo arquitectónico, dejando como resultado nuevas urbanizaciones que indican un modernismo casual en

sus construcciones de vivienda. El suroriente de la ciudad se convierte en el sector de mayor expansión durante la década de 1990 y 2000. Es evidente que la dinámica urbanizadora que se generó en este sector lo consolidó como uno de los más poblados de la ciudad, es importante resaltar que estas urbanizaciones se construyeron sobre el área de influencia de los ejes viales antiguos y nuevos, mostrando así un patrón de crecimiento vial.

El acelerado crecimiento de la ciudad aumenta durante el transcurso de la década del noventa, los barrios se expanden hacia el sur llegando a los límites corregimientos vecinos, Catambuco, Buesaquillo y Jamondino. Al finalizar los años noventa las comunas están fragmentadas en el plano urbano, las problemáticas siguen creciendo al igual que lo hace el área física, la falta de planificación urbana condujo al crecimiento desordenado que actualmente es evidente, la falta de espacio urbano es el mayor problema que afrontan las comunas, repercutiendo en toda el área urbana del Municipio. La evolución de las comunas sobrepasaron los límites hidrográficos de varios ríos y quebradas, red de drenajes que se canalizaron y adecuaron según las necesidades de la expansión urbana, sin embargo existen aún problemas en cuanto a la canalización de algunas quebradas pues en épocas de invierno se presentan inundaciones sobre el área de influencia, como es el caso de la quebrada Guachucal ubicada en la comuna 5; este proceso ha generado una problemática en la plaza de mercado del Potrerillo, pues los comerciantes se han visto afectados en la pérdida de sus productos y labores cotidianas.

Todos estos factores soportan lo observado en los objetivos 1 y 2, evidenciando una pérdida de vegetación ocasionada por mal direccionamiento del crecimiento urbano. Dicha pérdida ha ocasionado que parte de la población de las principales comunas (con valores altos de cambio) se limite frente al beneficio otorgado por la presencia de cobertura vegetal a nivel paisajístico. Esta investigación orientará (como última actividad) la valoración directa de tipo subjetiva evaluando el beneficio en percepción del paisaje para las comunas 12, 10 y 9, siguiendo la metodología propuesta por Aramburu et al., (2006).

A continuación, se muestran las fotografías capturadas para llevar a cabo el proceso de valoración del paisaje en las comunas con mayor cambio de cobertura vegetal.

Figura 27. Paisaje zonas verdes urbanas Comuna 12. Sector La Carolina (izq.) Nuevo Sol (der.)



Fuente: Esta Investigación, 2018.

Figura 28. Paisaje zonas verdes urbanas Comuna 10. Sector La Floresta (izq.) Aranda (der.)



Fuente: Esta Investigación, 2018.

Figura 29. Paisaje zonas verdes urbanas Comuna 9. Sector Torobajo (izq.) Morasurco (der.)



Fuente: Esta Investigación, 2018.

Los sectores que poseen paisajes con coberturas vegetales urbanas fueron evaluados mediante imágenes que evidenciaron respuestas sobre las preguntas y asignación de valores. Se estableció que estos sectores poseen una riqueza significativa, debido a la importancia en aspectos de orden y armonía que brinda a la ciudadanía, el principal valor de uso identificado en los sectores es la belleza paisajística.

Tabla 11. Resultados de valoración del paisaje en comunas priorizadas.

COMUNA	SECTOR	VALORES	CATEGORÍA
9	Torobajo	8,5	Fantástico
	Morasurco	7,8	Distinguido
10	La Floresta	0,8	Feo
	Aranda	1,3	Sin Interés
12	La Carolina	4,5	Distinguido
	Nuevo Sol	1,8	Sin Interés

Fuente: Esta Investigación, 2018.

La tabla 11 muestra el promedio general del área de paisaje de la comuna 12, en el sector de La Carolina fue de 4,5 en la escala de Fines, ubicándolo en la categoría *Distinguido*. En la misma comuna el sector de Nuevo Sol recibió un valor promedio de 1,8 en la escala de Fines, lo que traduce a la categoría *Sin interés*. El promedio obtenido de las preguntas realizadas a los habitantes del sector de la Floresta en la comuna 10 fue de 0,8 identificándolo como *Feo*, por otro lado, en la misma comuna el sector de Aranda presentó un valor promedio en la escala de Fines de 1,3 es decir *Sin Interés*. Para los sectores de la comuna 9, los habitantes valorizaron la imagen del sector Torobajo con un promedio de 8,5 en la escala de Fines asignando la categoría de *Fantástico*, caso similar presenta la imagen para el sector de Morasurco mostrando un valor de 7,8 asignando la categoría de *Distinguido*.

Los valores asignados permitieron identificar la percepción de los habitantes de los sectores pertenecientes a las comunas con mayor pérdida de vegetación durante los 27 años de evaluación; mostrando una inconformidad marcada frente al mantenimiento de los espacios verdes, espacios que no aportan, según sus habitantes, en la generación de belleza paisajística, gran parte de esto debido a que estas zonas se han consolidado más que espacios de mejoramiento visual, en espacios para asignación de residuos y

escombros derivados de construcciones civiles aledañas a la comuna, muy visible en la comuna 10. Mientras que para la comuna 9 los resultados nos dan a conocer que las especies arbóreas y los espacios verdes generaron buenos valores, los habitantes mencionan (mediante conversaciones abiertas) que es un componente fundamental en sus sectores residenciales. El mantenimiento de esta cobertura vegetal ha generado una valorización incluso a nivel monetario de los predios aledaños, enriqueciendo el contexto urbano, haciendo que la capacidad de mantenimiento por los propios habitantes se mantenga en el tiempo. La mayoría de escenarios presentan un componente arbóreo, importante en la evaluación, la presencia de este componente mejoró significativamente el valor del paisaje, muy marcado en los valores de evaluación de las imágenes del sector de La Floresta y Morasurco.

Para el sector del barrio La Carolina en la comuna 12 se presentaron mostró buenos resultados de paisaje, aunque mediante conversaciones abiertas con los encuestados, se logró identificar un inconformismo por el mantenimiento de las riberas del afluente que atraviesa la comuna. El sector presenta gran cantidad de especies arbóreas incidiendo en los valores arrojados por las encuestas. El barrio Nuevo Sol de la misma comuna presentó un valor inferior, estas zonas verdes ubicadas en localidades remotas y con poca población no se mantienen en el tiempo y los usos generalmente se marcan como una zona para depositar residuos no orgánicos.

Cabe destacar que el público dirigido fue seleccionado al azar, sin tener en cuenta la diversidad con respecto a edades, género y ocupación, siguiendo lo concluido por Gomez-Zotano y Muñoz, (2016). Para el sector de Morasurco, la población encuestada mostró preferencia por conservar y mantener el paisaje conformado por cobertura vegetal urbana. Las comunas 9 y 10 exigen la intervención inmediata del gobierno local, debido a que el ausente espacio de vegetación presente en sus localidades no satisfacen las expectativas a nivel de paisaje y se requiere un mejoramiento y restauración de forma urgente. Finalmente, esta actividad permitió conocer que los sectores que presentaron cambios en la cobertura vegetal, albergan habitantes que prefieren el mantenimiento y mejoras de este importante componente, buscando a largo plazo todos los beneficios otorgados por la cobertura vegetal urbana.

Como observaciones finales para los resultados se puede mencionar:

- a) Se ha obtenido un índice sintético que posibilitó evaluar el comportamiento temporal y los cambios de en la vegetación urbana de San Juan de Pasto entre los años 1989 y 2016. Esto fue posible usando tecnologías de la información y herramientas informáticas asociadas a investigaciones desarrolladas por autores como Lo (1997), Li & Weng (2007), Liang & Weng (2011), Rao et al. (2012) y de Deus et al. (2013). En este trabajo de grado se representó a nivel de comuna y con distintos niveles de evaluación los valores de los índices factoriales extraídas de imágenes satelitales para cada periodo apoyándose también en estudios como Escobar Jaramillo (2010) quien representó la calidad ambiental con variables netamente censales en la parte II de su publicación, o el trabajo de Santana et al, (2010) usando indicadores obtenidos de imágenes Landsat. Sumado a los resultados anteriores se exploraron las políticas o medidas expuestas en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad, para atender el mantenimiento y generación de nuevas áreas de cobertura vegetal urbana, logrando evidenciar la poca importancia que esta última cobra en el planeamiento de políticas y acciones concretas en el territorio, que redunden en el bienestar de la población.
- b) La búsqueda bibliográfica fue un apoyo efectivo, debido a que proporciono una base científica para la elección de los indicadores biofísicos que conformaron los indicadores biofísicos, que fueron extraídos de las imágenes satelitales Landsat por las ventajas tecnológicas ofrecidas en la resolución espacial, temporal y espectral para el estudio y caracterización de los fenómenos que ocurren sobre las superficies urbanas, tal como lo exponen Lo (1997), Wilson et al. (2003), Santana et al. (2010), Rahman et al. (2011) y Stathopoulou et al. (2012). No obstante, es necesario mencionar que si se desea relacionar las variables biofísicas extraídas con otros sensores – en este caso diferente al Landsat TM – se debe hacer un análisis de comparación cruzada tal como lo propone Li et al., (2013) con el propósito de minimizar las discrepancias causadas por las diferencias espectrales en las longitudes de onda.
- c) En la extracción de variables biofísicas, la etapa de pre-procesamiento de las imágenes de satélites es un paso metodológico trascendental en la consecución de

resultados precisos, por proporcionar las condiciones para realizar mediciones certeras que representan adecuadamente el comportamiento de las variables. De los autores consultados en la temática de la calidad ambiental, la gran mayoría no realizaron corrección atmosférica por poseer imágenes que presentaban buenas condiciones atmosféricas, libres de nubes, determinando solamente la reflectancia aparente TOA (G. Li & Weng, 2007; Rao et al., 2012; Santana Rodriguez et al., 2010; Wilson et al., 2003), a excepción de de Deus et al., (2013), quien utilizó el modelo, basado en la imagen, de Sustracción del Objeto Oscuro (DOS). Sin embargo, en este trabajo de investigación, por ser multitemporal y presentar cocientes entre bandas, se emplearon los productos de reflectancia superficial procesados bajo el modelo físico de corrección atmosférica 6S, el cual es destacado por Lu, et al., (2002) como una técnica que ofrece altas exactitudes en los valores de reflectancia pero que requiere de datos atmosféricos in situ.

- d) La vegetación plena, puede ser identificada en los elementos naturales del espacio público o lotes no construidos. En los píxeles mixtos, se reconocen los principales corredores viales de la ciudad y las áreas de actividad residencial neta (artículo 257) caracterizadas por la baja densificación de construcciones. En los píxeles de suelo desnudo se destacan áreas erosionadas y áreas de actividades altamente densificadas como las industriales, las residenciales y económicamente predominantes, las mixtas y las centralidades. La utilización del método de umbralización del NDVI para hallar la emisividad y por consiguiente la temperatura superficial, pese a su simple uso y su versatilidad en múltiples sensores (longitudes onda de 10 – 12µm, principalmente), tiene limitaciones en las incertidumbre de las emisividades y umbrales del suelo, la vegetación, la fracción vegetal y los efectos de cavidad que pueden reducir la exactitud, así como es inapropiada en superficies rocosas, agua, hielo y nieve (Z.-L. Li et al., 2013). Sin embargo, estas incertidumbres al calcular la temperatura superficial en una modelación urbana pueden ser despreciadas dado que lo que realmente interesa es mapear las variaciones espaciales de temperatura Weng (2009).
- e) En esta investigación no se usaron los indicadores del factor de amenazas naturales propuestos por Joseph, et al. (2014), su estudio se efectuó en Haití, país donde

sucedan con gran frecuencia catástrofes naturales con consecuencias devastadoras para la población altamente vulnerable, por ende los investigadores atribuyen mayor importancia a estos indicadores. Aunque en San Juan de Pasto, según el último Plan de Ordenamiento Territorial los conflictos ambientales a resolver son los riesgos por amenaza de inundación, movimientos en masa y actividad sísmica, en el área urbana, este mismo da prioridad al establecimiento de políticas para atender el crecimiento informal en los límites del perímetro de la ciudad, regular el área de expansión no planificada integralmente, controlar el aumento del déficit de vivienda y déficit de espacio público (zonas verdes). Por lo anterior, es que en este estudio se emplearon indicadores biofísicos y factores de crecimiento urbano (indicadores de cubiertas impermeables, vegetación, densidad de población) y de los cuales permiten monitorear indirectamente estas problemáticas.

- f) Es de gran importancia la preservación del testimonio de tradición oral y la relevancia que tiene para el conocimiento de la historia de las comunidades, su visión y su forma de habitar los territorios, como lo es el caso de los habitantes de las comunas y sus líderes comunitarios.
- g) Para el desarrollo integral de la ciudad es necesario realizar proyectos que integren todas las dimensiones establecidas en el Ordenamiento Territorial, la consulta previa a las comunidades debe ser el eje fundamental del ordenamiento espacial, de esta forma establecer programas que beneficien a la sociedad y al espacio urbano; teniendo en cuenta este valioso componente que es la cobertura vegetal.
- h) Es importante que las Administraciones Municipales y entes encargados del Ordenamiento Territorial en el municipio de San Juan de Pasto, se involucren más en el desarrollo de espacios públicos, zonas verdes y parques como zonas potenciales para la implementación de áreas verdes aptas y sostenibles en el tiempo.

9. CONCLUSIONES

La temperatura y la baja valoración del paisaje fueron los efectos identificados en consecuencia al crecimiento urbano y deterioro sobre la vegetación. Las comunas incrementan su temperatura frente a la ausencia de vegetación, de la misma manera la vegetación ausente en sectores de las comunas presenta una valoración de paisaje con indicadores bajos.

La evolución espacial de la ciudad de San Juan de Pasto, obedece al proceso de crecimiento del área urbana del municipio, donde el principal factor dinamizador de esta evolución es el crecimiento demográfico en todas sus características.

El componente arbóreo fue fundamental en la asignación de valor de paisaje, las imágenes que representan sectores con mayor arborización obtuvieron un buen resultado afianzando los beneficios otorgados no solo desde el componente biofísico sino de percepción favoreciendo finalmente a los habitantes del territorio denominado ciudad.

Las comunas 1 y 2, son las de más bajo valor de cambio, pero son las de menos cobertura vegetal y por eso requieren mayor atención, por el aumento de la temperatura superficial.

Los indicadores biofísicos de relevancia para este tipo de estudio son: vegetación normalizada, humedad en la vegetación, superficie impermeable y temperatura superficial, porque indican la presencia o no de cobertura las cuales son fundamentales para la planificación urbana territorial.

Con base a esta información es importante replantear el Plan de Ordenamiento territorial (POT) de la Ciudad San Juan de Pasto 2014-2027, debido al desconocimiento

de las políticas y acciones de tipo ambiental que busque fortalecer el componente vegetal urbano.

BIBLIOGRAFÍA

- Akbari, H. S.; Konopacki, S. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies; 2005. *Energy Policy*, v. 33, n. 6, p.721-756.
- Alcaldía Municipal de Pasto. Plan de Ordenamiento Territorial “Pasto consentido” 2014-2027, Documento técnico de Soporte; 2014. p.934-43.
- Alcaldía Municipal de Pasto. Plan de desarrollo Municipal 2012 - 2015, Transformación Productiva; 2012. p. 108
- Alcaldía Municipal De Piendamó. Cobertura y uso actual de la tierra. Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Piendamó – Cauca; 2002. URL: <http://goo.gl/0zygcl>
- Amaguaña C., Salazar D., Solarte J. Determinación de la cobertura vegetal urbana en algunas comunas del municipio de Pasto, Nariño. Trabajo de grado, Universidad de Nariño; 2014. p. 26.
- Amestoy, A. El planeta Tierra en peligro (calentamiento global, cambio climático, soluciones); 2010. España: Editorial Club Universitario.
- Aramburu, M. P., et al. Guía para la elaboración de estudios del medio físico (3a. Edición). 2016. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Contrato No. 151 de 2005. Consorcio Concol - AIM (Consultoría Colombiana S.A. - Arredondo Madrid Ingenieros Civiles Ltda.); 2007.
- Artis, D. A., & Carnahan, W. H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas; 1982. *Remote Sensing of Environment*, 12, 313–329.
- Ascher, Francois Metápole. Ou L’avenir des villes. Editions Odile Jacob. París. 1992 p. 48

- BIRF. Datos Población urbana (% del total) 2015; 2018. URL: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- Blanco, J. "Área Metropolitana de Buenos Aires: Transformaciones en el marco de la globalización". Revista EURE, Instituto de estudios Urbanos. PUC número 67. Santiago de Chile, 1996. P. 35
- Carlson, T. N., & Ripley, D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index; 1997. *Remote Sensing of Environment*, 62, 241 – 252.
- Castells, M. "Reestructuración Económica, Revolución tecnológica y Nueva Organización del Territorio". ILPES-CEPAL, Documento CPRD-/96 Santiago de Chile. 1997. P. 65
- Cerón, B; & Ramos, M. Pasto: espacio, economía y cultura. Pasto, Colombia; Nariño, Bibliografía regional; 2010.
- Chen, X., Jabbar, M., Cai, X., Wu, Z., & Liang, Y. Detection and evaluation of vegetation change and urbanization in the central China; 2005. *Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05.*, 1, 230–233. doi:10.1109/IGARSS.2005.1526149
- Chicas Molina, J. C. Morfología urbana y clima urbano estudio de microclimas urbanos en Santiago de Chile, mediante la aplicación del concepto de cañón urbano e índices de confort térmico. Pontificia Universidad Católica de Chile; 2012.
- Chudnovsky, A., Ben-Dor, E., & Saaroni, H. Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements. *Energy and Buildings*, 36(11) ;2004. 1063–1074. doi:10.1016/j.enbuild.2004.01.052
- Chuvieco, E. Fundamentos de teledetección espacial; 2003. p 255-260. Madrid: Rialp.
- Chuvieco, E. Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio. (1ra ed., p. 586); 2002. Madrid: Ariel Ciencia.
- Chuvieco, E. Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio. (2nd ed., p. 590); 2006. Madrid: Ariel Ciencia.

- Concejo de Bogotá D.C. Proyecto de Acuerdo No. 375 de 2005. "Por el cual se dictan normas para la preservación y conservación del medio ambiente en Bogotá D.C.". Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; 2005.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño. Actualización plan de ordenamiento cuenca alta del rio Pasto. San Juan de Pasto, Nariño; 2014. 74 p.
- Craik, K. Individual Variations in Landscapes Description. In E. Zube, R. Brush and J. Fabos. (Eds.), Landscape Assessment, Values Perceptions and Resources (pp. 130-150). Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson & Ross Inc. 1975
- Dji Página Oficial. Características Dji Phantom 4; 2018. URL: <https://www.dji.com/phantom-4/info>
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Censos poblacionales históricos. 2002. Bogotá. P 48
- Essa, W., Verbeiren, B., van der Kwast, J., Van de Voorde, T., & Batelaan, O. Evaluation of the DisTrad thermal sharpening methodology for urban areas; 2012. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 19, 163–172. doi:10.1016/j.jag.2012.05.010
- Fatiha, B., Abdelkader, A., Latifa, H., & Mohamed, E. Spatio Temporal Analysis of Vegetation by Vegetation Indices from Multi-dates Satellite Images: Application to a Semi Arid Area in ALGERIA; 2013. Energy Procedia, 36, 667–675. doi:10.1016/j.egypro.2013.07.077
- Figueroa, J., Ordoñez, W. Caracterización de la evolución urbana en los barrios de la comuna cinco de la ciudad de San Juan de Pasto periodo 1970 -2000. Informe final del Trabajo de Grado, Modalidad Tesis, para optar el título de Geógrafo con Énfasis en Planificación Regional. 2014. Universidad de Nariño.
- Fines, K. Landscape Evaluation: A research Project in East Sussex. Regional Studies, (2), 41-55. 1968
- Gao, B. C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space; 1996. Remote Sensing of Environment, 58(3), 257–266.

- Glasser, D. and Strauss, A. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. New York: Aldine Publishing Company. 1967.
- Gómez, M. *Política Fiscal para la Gestión Ambiental en Colombia*. En: XV Seminario Regional de Política Fiscal, Comisión Económica para América latina y el Caribe-CEPAL; 2003.
- Gomes-Zotano, J., Muñoz, D. *Propuesta metodológica para la gestión de los paisajes de páramo en el marco de la Iniciativa Latinoamericana del Paisaje (LALI)*. *Perspectiva Geográfica* ISSN 0123-3769 (Impreso) - 2500-8684 (En línea) Vol. 21 N.º 2 de 2016 Julio – Diciembre pp. 225-250
- Gooch, J. W. *Ecosystem*. In *Encyclopedic Dictionary of Polymers*; 2011. doi:10.1007/978-1-4419-6247-8_4196
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 1998. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/nina/capitulo1.pdf>
- Jackson, T. *Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans*; 2004. *Remote Sensing of Environment*, 92(4), 475–482. doi:10.1016/j.rse.2003.10.021
- Jiang, Z., Huete, A. R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G., & Zhang, X. *Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction*; 2006. *Remote Sensing of Environment*, 101(3), 366–378. doi:10.1016/j.rse.2006.01.003
- Kaplan, R. y Kaplan, S. *The experience of Nature*. Cambridge: Cambridge University Press. 340p; 1989.
- Kato, S., & Yamaguchi, Y. *Estimation of storage heat flux in an urban area using ASTER data*. *Remote Sensing of Environment*; 2007. 110(1), 1–17. doi:10.1016/j.rse.2007.02.011
- Lacaux, J. P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. a., & Lafaye, M. *Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal*; 2007. *Remote Sensing of Environment*, 106(1), 66–74. doi:10.1016/j.rse.2006.07.012
- Lakes, T. & Kim, H.-O. *The urban environmental indicator “Biotope Area Ratio”—An enhanced approach to assess and manage the urban ecosystem services*

using high resolution remote-sensing. *Ecological Indicators*, 13(1); 2012. 93–103. doi:10.1016/j.ecolind.2011.05.016.

- Liang, B., & Weng, Q. Assessing Urban Environmental Quality Change of Indianapolis, United States, by the Remote Sensing and GIS Integration. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*; 2011. 4(1), 43–55. doi:10.1109/JSTARS.2010.2060316
- Makoto, N. Methodology of Urban Ecosystem Studie. In Pergamon (Ed.), *Science for Better Environment*; 1977. pp. 221–228. doi:10.1016/B978-0-08-021948-6.50037-6
- McPherson, E. G. Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture*, v. 24, n. 4, p. 215-223, July 1996.
- McPherson, E. G.; Simpson, J. R. Air pollutant uptake by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture*, v. 24, n. 4, p. 224-234, July 1998.
- Martínez, I. La Dinámica Espacial Urbana en el Área de Confluencia de los Centros Educativos del Sector Occidental de la Ciudad de San Juan de Pasto, Periodo 1970-2007. Tesis de Grado para optar el título de Geógrafo. Universidad de Nariño. Pasto, 2009. p.35.
- Mena, C. Ormazábal, Y. Morales, Y. Santelices, R. y Gajardo, J. Índices de área verde y cobertura vegetal para la ciudad de Parral (Chile), mediante Fotointerpretación Y SIG; 2011. 11 p.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (Colombia) (2008). *Política de Gestión Ambiental Urbana*, Bogotá; 2008. (p. 52).
- MORA, F. *San Juan de Pasto crecimiento y evolución urbana. 1537 – 1990*. Pasto, 2010.
- Musse, M. Modelo para valorar la calidad ambiental en Santiago de Cali, involucrando indicadores obtenidos de imágenes de satélite y datos censales. 2014.
- NASA. *Landsat 7 Handbook*. Retrieved October 01, 2011. URL: https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf

- Nichol, J., & Wong, M. S. Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 73(1), 49–58; 2005. doi:10.1016/j.landurbplan.2004.08.004
- Nichol, J., & Wong, MS. Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*; 2005. 73(1):49-85 doi:10.1016/j.landurbplan.2004.08.004
- Nowak, D.; Crane, D.; Stevens, J. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 4, n. 4, p.115-123, Apr. 2006.
- OMS. Urbanización y salud. Artículo del boletín de la OMS; 2010.
- Piarpusan, E. Dinámica Espacial del Crecimiento Urbano en la ciudad de San Juan de Pasto...1960 – 2011. Trabajo de grado para optar el título de Geógrafo, San Juan de Pasto 2012.
- Revista Nariño. Problemas ambientales en el municipio de Ipiales. 2007; [2018] URL: <http://www.ipitimes.com/problemasambientalesb.htm>
- Richardson, H. Monocentric vs. Policentric models. *Annals of regional science*. 22, 2. Illinois.24 1989
- Ridd, M. K. Exploring a V-I-S (vegetation-impervious Surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. *International Journal of Remote Sensing*; 1995. 16, 2165 – 2185.
- Roibon, M. y Scornik, C. Los espacios verdes públicos en el Área Metropolitana del Gran Resistencia a partir de cambios sociales. Aprovechamiento pleno de lugares inutilizados o subutilizados. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Argentina; 2004.
- Roncayolo, M. La ciudad. Ediciones Paidós. Barcelona 1988. p 9
- Sabino, C. El proceso de la investigación. Bogotá: Panamericana, 1992. p.70
- Sánchez, F., & España, I. Documentos CEDE - Urbanización, Desarrollo Económico y Pobreza en el Sistema de Ciudades Colombianas 1951-2005. (E. Uniandes, Ed.). 2012 (p. 65). Bogotá D.C. Disponible en: https://economia.uniandes.edu.co/components/com_booklibrary/ebooks/dcede2012-13.pdf

- Santana Rodriguez, L. M., Escobar Jaramillo, L. A., & Cae, P. A. Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes; 2010. *Revista de Geografía Norte Grande*, 45, 77–95.
- Santana, L. M., Escobar, L. A., & Capote, P. A. Influencia de los cambios de ocupación del suelo de Cali (Colombia), entre 1984 y 2003 , en la temperatura de superficie. *Ingeniería Y Competitividad*; 2011. 13(1), 41–59.
- Segnestam, L. Indicators of Environment and Sustainable Development. Theories and Practical Experience. The World Bank; 2002. (89), 66.
- Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., & Nadeeka, P. M. Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, 5, 19–35; 2013. doi:10.1016/j.uclim.2013.07.004
- Sharpe, D. Stearns, B. Leitner, L. Dorney, J. Fate of natural vegetation during urban development of rural landscapes in Southeastern Wisconsin, Department of Biological Sciences, University of Wisconsin-Milwaukee, P.O. Box 413, Milwaukee, WI 53201 U.S.A; 1986.
- Smardon, R. Perception and aesthetics of the urban environment: Review of the role of vegetation. Institute for Environmental Policy and Planning, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, U.S.A; 1988.
- Sobrino, J. A., Caselles, V., Becker, F. Significance of the remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard; 1990. *ISPRS Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44, 343–354.
- Sobrino, J. a., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5; 2004. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434–440. doi:10.1016/j.rse.2004.02.003
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. y Williams, J. Good Practices for Urban Greening. División de Medio Ambiente del Departamento de Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C. Mayo, No. ENV – 109; 1997.
- UNAD. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 2013. Lección 21: Cobertura Vegetal y definición. Disponible en: <http://goo.gl/82iOW0>

- Van Bellen, H. Indicadores de Sustentabilidad: Un análisis comparativo. Tesis (Doctorado en Ingeniería de producción) – Curso de Postgrados en Ingeniería de Producción, Universidad Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil; 2002.
- Voogt, J. & Oke, T. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*; 2003. 86(3), 370–384. doi:10.1016/S0034-4257(03)00079-8
- Wang, C., Lu, Z., & Haithcoat, T. L. Using Landsat images to detect oak decline in the Mark Twain National Forest, Ozark Highlands; 2007. *Forest Ecology and Management*, 240(1-3), 70–78. doi:10.1016/j.foreco.2006.12.007
- World Commission on Environment and Development. *Nuestro futuro común*. Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Oxford University Press; 1987.
- Xu, H. Analysis of Impervious Surface and its Impact on Urban Heat Environment using the Normalized Difference Impervious Surface Index (NDISI); 2010. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(5), 557–565. doi:10.14358/PERS.76.5.557
- Xu, H., Huang, S., & Zhang, T. Built-up land mapping capabilities of the ASTER and Landsat ETM+ sensors in coastal areas of southeastern China; 2013. *Advances in Space Research*, 52(8), 1437–1449. doi:10.1016/j.asr.2013.07.026
- Yang, Z., Su, M., & Chen, B. Change of urban ecosystem development—A case study of Beijing, China; 2010. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 681–688. doi:10.1016/j.proenv.2010.10.077
- Zha, Y., Gao, J., & NI, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 583–594.
- Zhang, Y., Yang, Z., & Yu, X. Measurement and evaluation of interactions in complex urban ecosystem. *Ecological Modelling*, 196(1-2), 77–89.; 2006. doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.02.001
- Zulauf, W. Estructura legal, institucional y operacional de los sistemas de áreas verdes urbanas. En: Krishnamurthy L. y Nascimento, J. *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*; 1997. p 179 -196.