

# Análisis del cambio de la cobertura del suelo debido a la ampliación de la vía 3G Briceño – Tunja – Sogamoso

Daniel Fernando González Sánchez<sup>1</sup>

daniel.gonzalez04@usc.edu.co

Johannes Arias Molina<sup>2</sup>

johannes.arias00@usc.edu.co

Ana Bely Escalante Caicedo<sup>3</sup>

esp.sistemasinformaciongeo@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Especialización de Sistemas de Información Geográfico Estudiante (1)(2)

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Especialización de Sistemas de Información Geográfico Director (3)

## **Resumen**

Las estructuras viales juegan un papel fundamental ya que están encargadas de conectar distintas zonas del país. Por lo tanto, la demanda de las mismas ha aumentado en Colombia en los últimos años permitiendo a la población desplazarse de manera más eficaz y transportar materia prima a lugares que en el pasado era complicado. Una de las vías más importantes es el corredor vial Briceño – Tunja – Sogamoso (BTS) ya que se considera esencial para el progreso económico y social de la región, teniendo un impacto significativo en los ecosistemas locales, superficie y el uso del suelo. Este estudio buscó identificar y cuantificar los cambios en la cobertura del suelo antes y después de la ampliación de la vía BTS utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para lograr desarrollar este objetivo se llevó a cabo una serie de pasos como lo fueron extraer las imágenes satelitales de Landsat 5 y 8 mediante las cuales se logró calcular el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) además de clasificar las diversas coberturas del suelo en la zona de estudio. Los resultados obtenidos mediante la zonificación de coberturas, cuantificación de áreas de influencia y análisis de condiciones ambientales y antrópicas, indican que la expansión de la frontera agrícola ha tenido un impacto negativo en los bosques dentro del área de influencia en la región. De igual manera usando el Marco Geoestadístico Nacional, se observó un incremento en los centros poblados dentro de la zona circundante al corredor vial BTS y también en la población de los municipios en la zona de influencia del proyecto. Este desarrollo territorial se vio reflejado en el progreso económico de la región cundiboyacense donde los sectores agropecuarios, construcción y prestación de los servicios públicos tuvieron un aumento de su participación del PIB del departamento de Boyacá, mientras que, en Cundinamarca, los sectores de construcción, prestación de los servicios públicos y comercio, reparación, transporte y alojamiento tuvieron un aumento de su participación en el PIB de ese departamento.

*Palabras Clave:* *Palabras Clave: Cambio de la cobertura del suelo, corredor vial Briceño – Tunja – Sogamoso, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Índice de Vegetación Normalizada (NDVI), zonificación de coberturas, áreas de influencia, desarrollo urbano, impacto ambiental, imágenes satelitales, Landsat.*

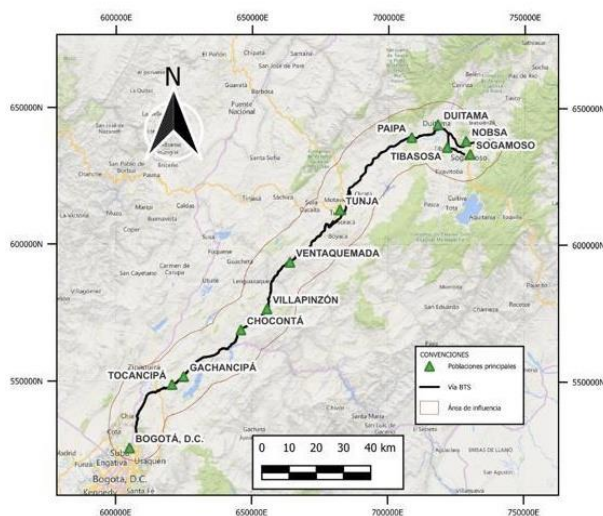
## **Abstract**

Road structures play a fundamental role since they are responsible for connecting different areas of the country. Therefore, their demand has increased in Colombia in recent years, allowing the population to move more efficiently and transport raw materials to places that were difficult in the past. One of the most important roads is the Briceño – Tunja – Sogamoso (BTS) road corridor as it is considered essential for the economic and social progress of the region, having a significant impact on local ecosystems, surface and land use. This study sought to identify and quantify changes in land use before and after the expansion of the BTS road using Geographic Information Systems (GIS) tools. To achieve this objective, a series of steps were carried out, such as extracting the Landsat 5 and 8 satellite images through which the Normalized Vegetation Index (NDVI) was calculated in addition to classifying the various land covers in the area. . study. The results obtained through coverage zoning, quantification of areas of influence and analysis of environmental and anthropic conditions indicate that the expansion of the agricultural frontier has had a negative impact on the forests within the area of influence in the region. Likewise, using the National Geostatistical Framework, an increase will be observed in the population centers within the area surrounding the BTS road corridor and also in the population of the municipalities in the area of influence of the project. This territorial development was reflected in the economic progress of the Cundiboyacense region where the agricultural, construction and provision of public services sectors had an increase in their share of the GDP of the department of Boyacá, while in Cundinamarca,

the sectors of construction, provision of public services and commerce, repair, transportation and accommodation had an increase in their participation in the GDP of that department.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de infraestructuras de transporte, como el corredor vial de Briceño – Tunja – Sogamoso (BTS), es fundamental para el progreso económico y social de una región. Sin embargo, estas construcciones pueden tener un impacto significativo en los ecosistemas locales y en la cobertura del suelo (Karlson et al., 2014). El corredor BTS se encuentra ubicado en el altiplano cundiboyacense, una región rica en ecosistemas sensibles como páramos, humedales, bosques andinos y el Orobioma azonal andino que constituye una zona de baja precipitación (Zambrano, 2012). Estos ecosistemas son vitales para la regulación del ciclo hidrológico y cualquier alteración puede afectar la cantidad y calidad del agua disponible (Crespo et al., 2014).



**Ilustración 1 Corredor vial Briceño-Tunja-Sogamoso (BTS)**

La construcción y ampliación de la ruta Briceño-Tunja-Sogamoso (BTS), vista en la Ilustración 1, hace parte de un corredor vial que busca conectar distintos focos industriales del interior del país con la República Bolivariana de Venezuela, que comenzó en el 2004, en el cual se asientan 14 municipios que componen esta región. Caballero & Muñoz (2019) determinaron que en el área comprendida los bordes de carretera entre las ciudades de Bogotá y Tunja, 46.6% corresponde a territorios artificializados (industrias, zonas mineras, infraestructura urbana) y un 38,87% a territorios agrícolas, pero basándose únicamente en la información desactualizada de los EOT de los municipios adyacentes, tomando solamente una franja de 60m a lo largo de los 119 km de esta sección de la vía y sin un enfoque temporal del cambio de la cobertura y uso del suelo. Debido a estos estudios se espera que la frontera agrícola y edificaciones se expandan hacia la cordillera como resultado de estos cambios en la infraestructura en la temporalidad desde el inicio de la ampliación hasta la actualidad. La necesidad de este se da por la importancia de las vías para el desarrollo económico y social de un país.

En Colombia, se han realizado esfuerzos para mejorar las técnicas de construcción y reducir los impactos ambientales de estas obras desde 1999 (Consejo Nacional de Política Económica y Social., 1999). Sin embargo, estudios previos, como el de Navarro (2021), han identificado varios impactos ambientales asociados con la construcción y operación de carreteras, pero no han cuantificado estos cambios en el paisaje y el uso del suelo. Debido a esto, se busca llenar este vacío en la literatura existente mediante la identificación de los cambios en el uso y cobertura del suelo en esta zona antes y después, causados por la ampliación, construcción y operación de la vía BTS. Se utilizarán herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar imágenes satelitales y de sensores remotos, con el fin de documentar el proceso del cambio en el uso del suelo y la cobertura vegetal con su respectiva cuantificación de ello. Esto permitirá una comprensión más

completa del impacto ambiental generado en las futuras construcciones viales del país y a su vez facilitará el proceso de analizar el cambio de la cobertura del suelo debido a la ampliación de la vía 3G Briceño – Tunja – Sogamoso usando herramientas de Sistemas de información geográfica. Para darle cumplimiento, se realizaron diversas actividades permitiendo alcanzar siguientes objetivos: Establecer el área de influencia dada por el ensanchamiento de la vía BTS en las temporalidades previo al inicio de las actividades constructivas y posterior a la finalización de la obra, estimar los tipos de cobertura de suelo dentro del área de influencia del corredor vial BTS mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) e identificar los cambios antropogénicos en la región que pudieran verse influenciados por la ampliación de la vía.

## 2. METODOLOGÍA, MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente análisis se aplicó la metodología de investigación mixta conocida como Diseño Explicativo Secuencial o DEXPLIS (Hernández Sampieri et al., 2010). Ésta permitió abordar el objeto de estudio usando métodos cuantitativos como cualitativos, facilitando así la interpretación de los datos geospaciales generados a través de herramientas de teledetección aplicadas desde las buenas prácticas de los sistemas de información geográfica e integrando datos estadísticos, poblacionales y económicos del área de estudio. Permitiendo así dar cumplimiento al objetivo de identificar los tipos de coberturas por el mejoramiento y ampliación del corredor vial Briceño – Tunja- Sogamoso usando herramientas de Sistemas de información geográfica; este se alcanzó en las 3 fases de la metodología aplicada como son, la zonificación de los tipos de coberturas en la zona de estudio de la vía BTS, para posteriormente en la segunda fase cuantificar las áreas de influencia por coberturas de dicha zona y por ende poder relacionarlas con la tercera fase. Esta dio a conocer los impactos positivos y negativos generados en la zona con efecto colateral por el desarrollo de la región a través de la ampliación autopista de la vía del corredor vial de Briceño – Tunja – Sogamoso (BTS).

Para ello, se usaron herramientas tecnológicas del software QGIS versión 3.34.4. como lo fueron (máscara de nubes, combinar y cortar ráster por capa de máscara) para la realización de zonificación de los tipos de coberturas, también se ejecutaron (Calculadora de ráster, “Add ráster values to point”, Reclasificar por tabla e Informe de valores únicos capa ráster) para la cuantificación de las áreas de influencia por coberturas. Por último, se utilizaron las herramientas del citado software de manejo de información geográfica Estadística básica para campos, Estadística por categorías, Selección por localización y “Guardar objetos seleccionados como” Para obtener la información específica de las áreas de los centros poblados y municipios dentro de la zona de influencia, las cuales fueron descargas del Marco Geoestadístico Nacional de 2005 y 2023 y así contribuir al análisis poblacional y económico del proyecto. Todo esto para facilitar el proceso de extracción y análisis de la información del área de influencia en las siguientes fases.

### 2.1. FASE I: Establecimiento del área de influencia dada por el ensanchamiento de la vía BTS en las temporalidades previo al inicio de las actividades constructivas y posterior a la finalización de la obra

Para el desarrollo de esta etapa se propuso el flujo de trabajo observado en Gráfico 1 donde se implementó una serie de búsquedas de imágenes satelitales de la zona de estudio (corredor vial BTS), con diferentes tipos de sensores, entre los cuales se eligieron el sensor LANDSAT 5 y 8. Estas fuentes de insumos contaban con una resolución espacial de 30m dentro de las temporalidades propuestas y fueron descargadas desde el geovisor Earthexplorer donde se seleccionaron las versiones con corrección atmosférica. Se encontraron 3 diferentes imágenes para cada año a analizar, a las cuales se les hizo la eliminación de nubes con la herramienta “Máscara de nubes” debido al alto porcentaje de nubosidad de la zona de estudio al mismo tiempo se unieron todas las bandas para así obtener una imagen satelital con sus bandas en una sola capa. Posteriormente se generó un mosaico con la herramienta (combinar) para realizar la superposición de las imágenes satelitales, dando como producto, un solo ráster por cada temporalidad a evaluar. Finalmente, se generó un buffer como área de influencia de la vía BTS tomando como referencia los estudios de Kumar & Sharma (2022) y Li et al. (2022) los cuales coinciden con 10 km a cada margen de la carretera.

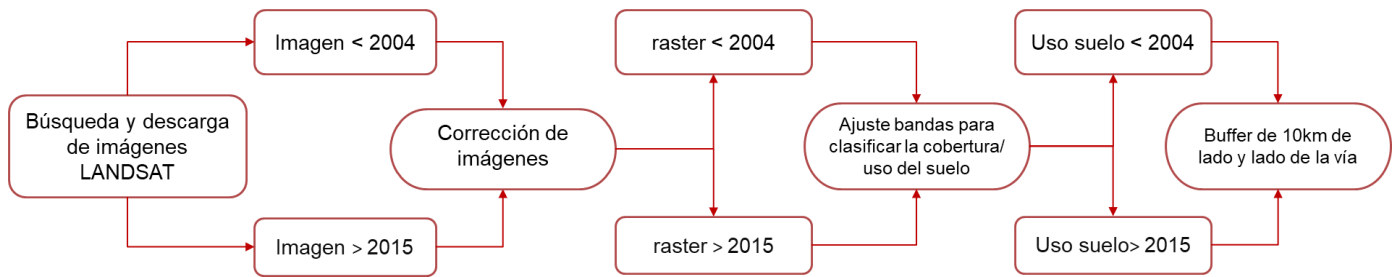


Gráfico 1 Flujo actividades de la primera fase

**2.2. FASE II: Estimación de los tipos de cobertura de suelo dentro del área de influencia del corredor vial BTS mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG).**

En la presente etapa se ajustó la metodología propuesta por Narayani et al. (2023) y Du et al. (2010) lo que llevó a la generación de los pasos del Gráfico 2 donde se hizo el cálculo de NDVI para cada uno de los mosaicos desarrollados en la FASE I mediante el uso de la herramienta de la calculadora de ráster. A continuación, se realizó un muestreo para determinar el valor de NDVI para cada una de las coberturas dentro de la zona de estudio tomando como inicio zonas de agua, suelos desnudos, cultivos, bosques y construcciones. Los puntos donde se capturaron el valor de NDVI se identificaron con conocimiento previo de la ubicación de diferentes lugares como lagos, ríos, cultivos, pastos, vegetación alta o centros poblados. Como resultado del muestreo, se establecieron 162 puntos distribuidos en 5 tipos de coberturas mencionadas anteriormente. Una vez encontrados estos puntos se transfirieron los valores del NDVI a cada uno de estos puntos usando la herramienta de “Add raster values to point”, para posteriormente se exportar esta información a una hoja de cálculo y se hizo un análisis estadístico para determinar la distribución de las muestras por cuartiles dentro de cada tipo de cobertura. Una vez determinado el rango de NDVI para cada tipo de cobertura, se procedió a realizar la reclasificación de los ráster usando la herramienta “Reclasificar por tabla” que permite agrupar los diferentes píxeles del ráster según una condición dada. Finalmente, se usó la herramienta de “Informe de valores únicos capa ráster” para generar un reporte por cada una de las capas ráster. Este dictamen reportó la cantidad de píxeles por tipo de cobertura y área de las mismas teniendo en cuenta la resolución espacial de la fuente es de 30m.

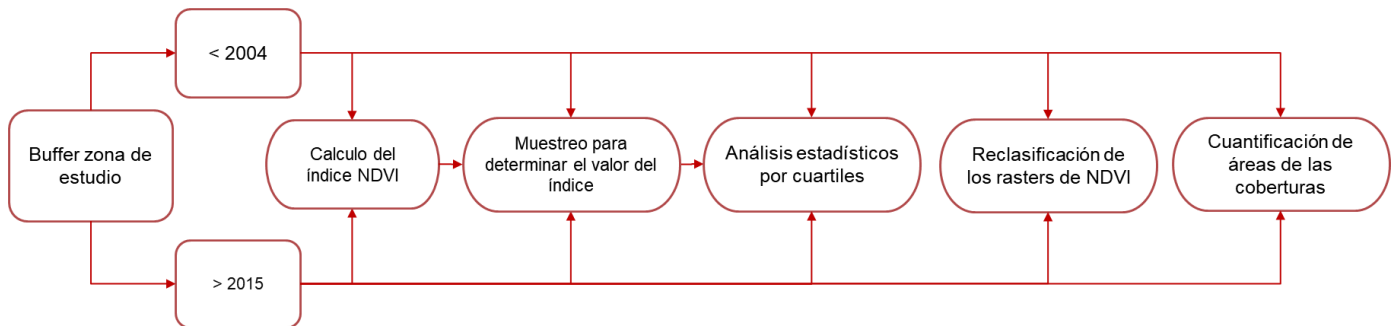


Gráfico 2 Flujo actividades de la segunda fase.

**2.3. FASE III: identificación de los cambios antropogénicos en la región que pudieran versen influenciados por la ampliación de la vía .**

En esta fase se llevaron los pasos descritos en el Gráfico 3 donde se inició descargando la información del Marco Geoestadístico Nacional 2005 y 2021 del geoportall del DANE. Posteriormente se extrajo la información de los centros poblados que se encontraban dentro de la zona de estudio o buffer mediante la herramienta “Clip” y así determinar las áreas de las urbes encontradas por cada municipio en las diferentes temporalidades. Posteriormente se cuantificaron los

terrenos para su comparación antes y después de la ampliación de la vía BTS usando las herramientas del software QGIS de estadística por categorías, Selección por localización y Guardar objetos seleccionados como. A continuación, se procedió a realizar la búsqueda de los resultados de los censos más cercanos a las dos épocas analizadas donde se identificaron los cambios poblacionales de los municipios donde se tiene injerencia la autopista BTS. Finalmente, se recopiló la información del Producto Interno Bruto de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca para cada temporalidad y así se determinó los sectores productivos con mayor cambio.

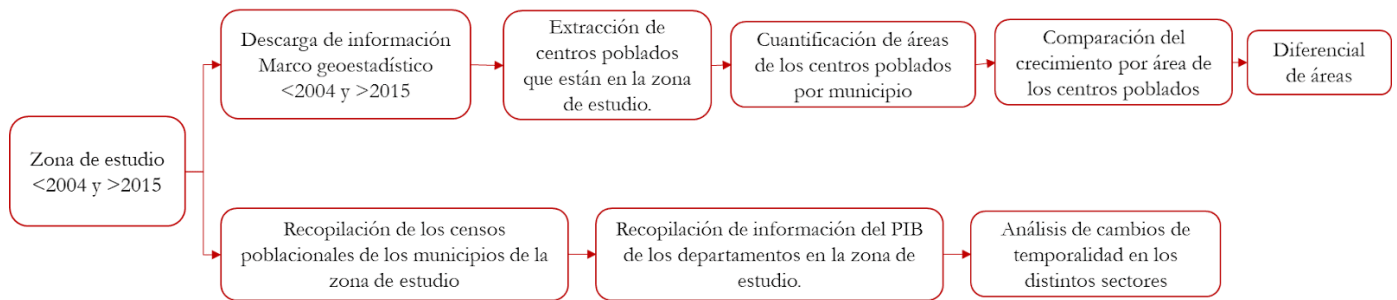


Gráfico 3 Flujo actividades de la tercera fase.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. FASE I: Establecimiento del área de influencia dada por el ensanchamiento de la vía BTS en las temporalidades previo al inicio de las actividades constructivas y posterior a la finalización de la obra

Las imágenes utilizadas para la composición de los mosaicos fueron descargadas del explorador del Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey -USGS) enfocándose en 3 regiones (Path & Row) y en los tiempos antes y después del proyecto de ampliación de la vía. En la Tabla 1 se puede observar algunas de las características de las imágenes que fueron seleccionadas de Landsat 5 y Landsat 8 para la generación de los dos mosaicos como base fundamental del análisis posterior. Se priorizó la utilización de los productos del sensor Landsat 5 sobre Landsat 7 gracias a las graves inconsistencias presentadas en las imágenes debido al daño de las mismas (U.S. Geological Survey, s. f.). Finalmente, a ambos sets de imágenes se les aisló el área de influencia de la vía, es decir 10km a ambas márgenes de la carretera y que suman un área aproximada de 40,7926.2 Ha. Posteriormente, se aplicó una corrección por nubosidad la cual persiste en la gran mayoría de imágenes dando como resultado la Ilustración 2 para las imágenes antes de la obra y la Ilustración 3 para después del proyecto.

Tabla 1 Composición de las imágenes satelitales usadas

| Path & Row | Landsat 5  | Landsat 8  |
|------------|------------|------------|
| 0756       | 06/01/2001 | 13/11/2021 |
| 0856       | 29/01/2001 | 13/12/2023 |
| 0857       | 29/01/2001 | 13/12/2023 |

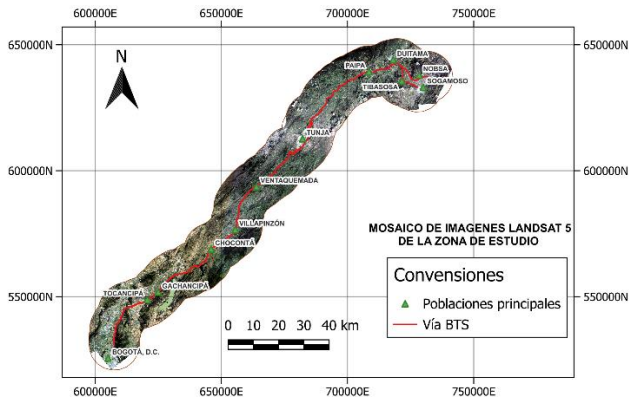


Ilustración 2. Mosaico de imágenes del área de estudio previo a la ampliación de la vía BTS

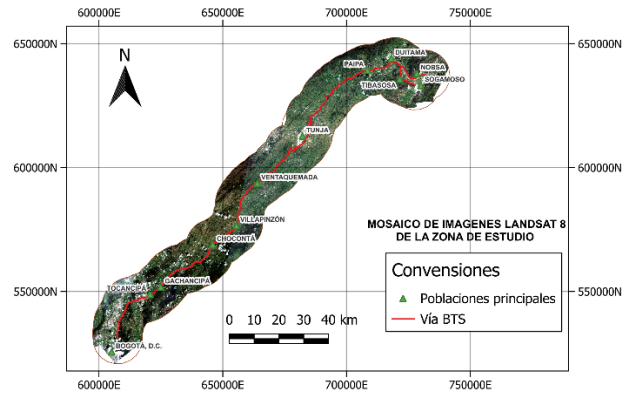


Ilustración 3. Mosaico de imágenes del área de estudio posterior a la ampliación de la vía BTS

**3.2. FASE II: Estimar y cuantificar los tipos de cobertura de suelo dentro del área de influencia del corredor vial BTS mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG).**

Una vez obtenida la combinación de bandas deseadas para el cálculo del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI), se encontró que el rango de valores para la composición de imágenes previa a la ampliación de la vía (Ilustración 4) está entre -0.155717 y 0.538666 y para el mosaico de imágenes correspondiente a tiempo después de la ampliación del corredor vial corresponde desde -0.110145 hasta 0.648531 como se puede observar en la Ilustración 5. Los valores mencionados anteriormente concuerdan con los valores estimados dentro del rango de NDVI entre -1 y 1(ESRI, s. f.).

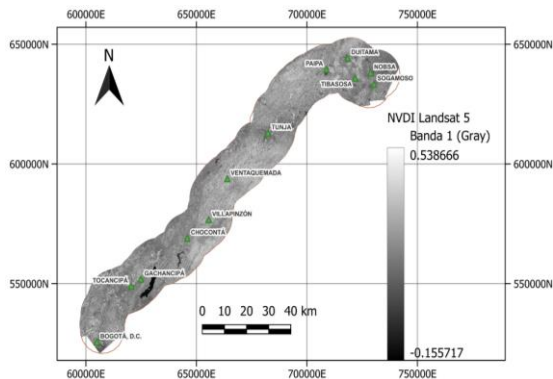


Ilustración 4. Valores de NDVI para el área de influencia del proyecto para el periodo antes del mejoramiento de la vía (Landsat 5)

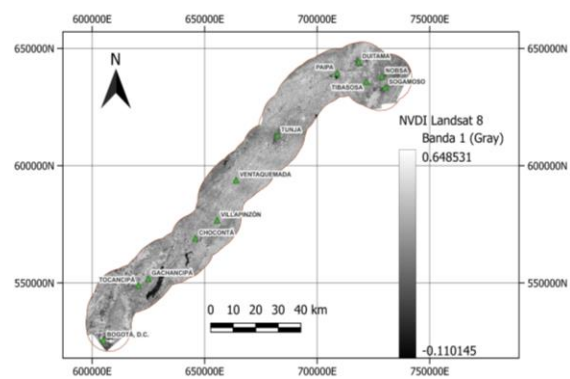
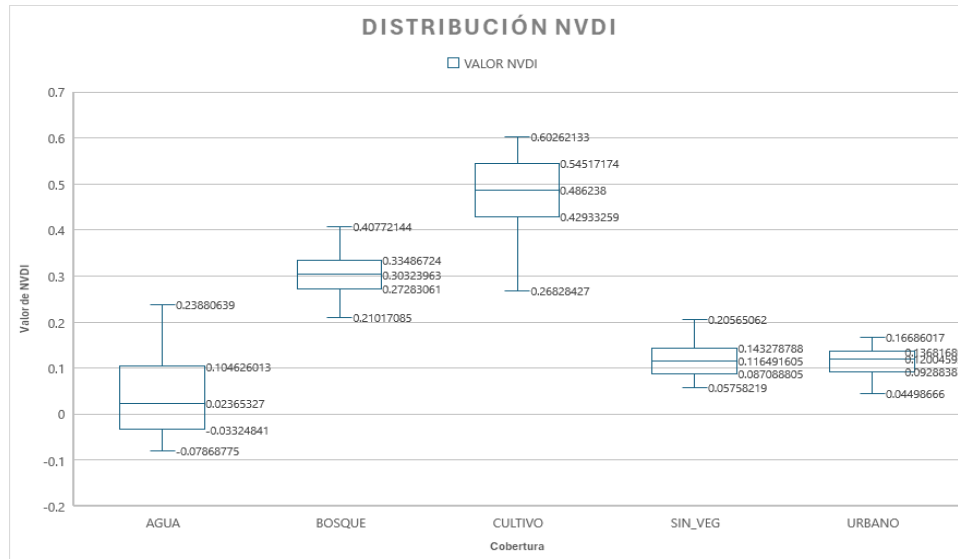


Ilustración 5. Valores de NDVI para el área de influencia del proyecto para el periodo después del mejoramiento de la vía (Landsat 8)

Para la categorización y análisis de los tipos de cobertura en distintos rangos, se extrajo el dato correspondiente a NDVI en un muestreo de 162 puntos donde se verificó que coincidieran los 5 tipos de cobertura. Una vez extraída la información de los puntos, se agruparon los datos por tipo de cobertura y se determinó el valor en los cuartiles para cada conjunto de datos. Adicionalmente, se prescindieron de aquellos valores que se alejaron significativamente del tercer cuartil (Q3) obteniendo las cifras evidenciadas en el Gráfico 4. Se encontró que el rango de valor de NDVI para la cobertura identificada como suelos desnudos y urbano son similares. Lo anterior puede deberse a que en ambos tipos de cobertura son carentes de vegetación y agua distinguibles dentro de la resolución espacial, dando como resultado valores de NDVI muy similares. También, otros elementos urbanos como el concreto y asfalto tienden a absorber una parte de la sección térmica del espectro electromagnético (Hernández & Montaner, 2009) lo que alteraría los valores esperados. Adicionalmente, la composición de la infraestructura urbana puede contener algunos elementos presentes en los suelos como el caso de algunas tejas y ladrillos fabricados con arcilla que es integrada principalmente por cuarzo, caolinita e illita (SANTOS AMADO et al., 2011), lo que conllevaría a resultados similares en su valor de NDVI.



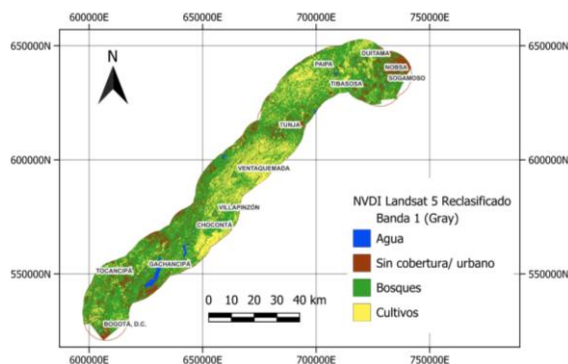
**Gráfico 4 Distribución del NDVI por cada tipo de cobertura**

Por lo anterior, se consideró incluir las áreas de suelos desnudos y urbano como una sola categoría como se observa en la Tabla 2 que recoge el valor de NDVI de cada tipo de superficie identificada.

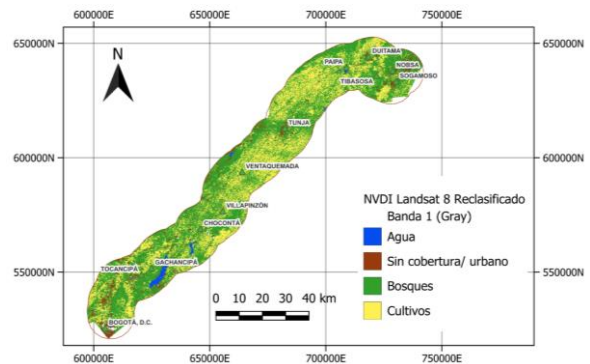
**Tabla 2 Rangos de NDVI por cobertura vegetal**

| Tipo superficie                | Valor de NDVI |            |
|--------------------------------|---------------|------------|
|                                | Mínimo        | Máximo     |
| <i>Agua</i>                    | -0.110145     | 0.04498666 |
| <i>Urbano / sin vegetación</i> | 0.04498666    | 0.21017085 |
| <i>Bosque</i>                  | 0.21017085    | 0.40772144 |
| <i>Cultivo</i>                 | 0.40772144    | 0.648531   |

Con los valores de la Tabla 2, se realizó la reclasificación de la Ilustración 5, dando como resultado las salidas gráficas de la Ilustración 7 donde se observa una predominancia de las superficies de bosques y cultivos para cada una de las temporalidades. Sin embargo, fue necesario generar un reporte para cuantificar estos resultados los cuales se encuentran resumidos en la Tabla 3.



**Ilustración 6 Clasificación de la cobertura para el área de influencia del proyecto para el periodo antes del mejoramiento de la vía (Landsat 5)**



**Ilustración 7 Clasificación de la cobertura para el área de influencia del proyecto para el periodo después del mejoramiento (Landsat 8)**

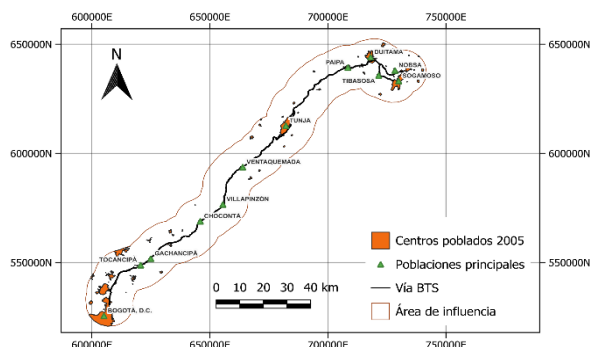
**Tabla 3 Cuantificación de las coberturas encontradas para antes y después de la construcción de la vía**

| Cobertura                 | Previa a la ampliación BTS |                        |          | Después de a la ampliación BTS |                        |          | Diferencia |
|---------------------------|----------------------------|------------------------|----------|--------------------------------|------------------------|----------|------------|
|                           | Número de píxeles          | Área (m <sup>2</sup> ) | Área (%) | Número de píxeles              | Área (m <sup>2</sup> ) | Área (%) |            |
| Agua                      | 41,191                     | 37,071,900             | 0.93%    | 47,029                         | 42,326,100             | 1.07%    | 0.14%      |
| Sin vegetación/<br>urbano | 590,850                    | 531,765,000            | 13.36%   | 267,407                        | 240,666,300            | 6.08%    | -7.28%     |
| Bosques                   | 2,760,530                  | 2,484,477,000          | 62.42%   | 2,594,323                      | 2,334,890,700          | 58.98%   | -3.44%     |
| Cultivos                  | 1,030,090                  | 927,081,000            | 23.29%   | 1,489,891                      | 1,340,901,900          | 33.87%   | 10.58%     |

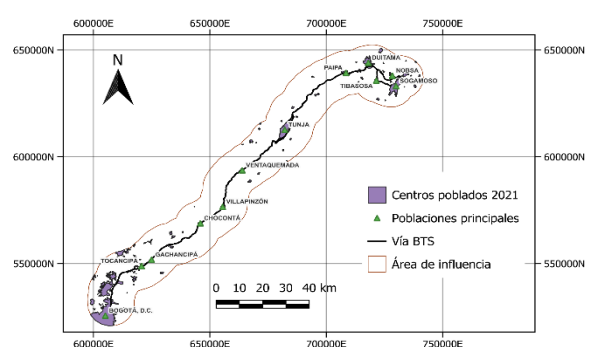
Según la Tabla 3, la cobertura que presentó más variabilidad corresponde a la superficie de Cultivos con un 10.58%. Este resultado está relacionado a la vocación agropecuaria de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. Dentro de esta categoría se encuentran los diferentes cultivos agrícolas de la zona como son la papa, la cebolla, maíz y pastos para el ganado(Osorio et al., 2015). Por otro lado, las áreas identificadas por Bosques obtuvieron una disminución previa a la ampliación de la vía, objeto de estudio derivado de la expansión en la frontera agrícola, poblacional y de explotación minera. Además, la cobertura de agua se mantuvo casi en la misma proporción en ambas temporalidades es decir en 2001 fue de 0.93% y por otro el otro lado fue de 1,07% en el periodo después de finalizado el proyecto. Finalmente, para cobertura asociada a la zonas urbanas y suelos desnudos se encontró una disminución significativa del 7.28%, lo cual está en contravía con el desarrollo de la región. Dentro de las posibles causas de este fenómeno se puede hallar sus raíces en los insumos de las imágenes Landsat. Los insumos usados para el mosaico de imágenes de antes de la ampliación de la vía corresponden al año 2001 el cual fue un periodo caracterizado por una sequía anómala en la región. Según Hurtado Moreno & González (s. f) del Grupo de Climatología y Agrometeorología del IDEAM, ese año se esperaban fuertes lluvias relacionadas al fenómeno de La Niña en especial en el mes de enero de 2001 donde, por lo contrario, se presentó una precipitación total mensual por debajo de 200 mm en la gran mayoría de la zona de estudio(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s. f.).

**3.3. FASE III: Identificación de los cambios antropogénicos en la región que pudieran versen influenciados por la ampliación de la vía**

Para la cuantificación de los asentamientos humanos en el área de estudio, se utilizó la información del Marco geostadístico nacional del año 2005 y 2021 los cuales se pueden apreciar en la Ilustración 8 e Ilustración 9.



**Ilustración 8 Centros urbanos identificados por el DANE en 2005 dentro del área de estudio**



**Ilustración 9 Centros urbanos identificados por el DANE en 2021 dentro del área de estudio**

**Tabla 4 Variación de las áreas de los centros poblados**

|  | <b>MGN 2005</b> | <b>MGN 2021</b> | <b>Diferencia</b> |
|--|-----------------|-----------------|-------------------|
| <i>Municipios con centros poblados en el área de estudio</i> | 44              | 46              | 4.55%             |
| <i>Total centros poblados</i>                                | 107             | 174             | 62.62%            |
| <i>Área Total (m2)</i>                                       | 176,596,244.01  | 220,744,045.89  | 25.00%            |
| <i>Área Total (Ha)</i>                                       | 17,659.62       | 22,074.40       | 25.00%            |

Adicionalmente, en la Tabla 5 se comparan los resultados encontrados de la población en los municipios aledaños a la zona de estudio. Los datos fueron extraídos de los Censos Nacionales de Población y Vivienda del 2005(DANE, 2005) y 2018 (DANE, 2018) con el fin de ilustrar la influencia de la ampliación de la vía en el aumento poblacional y el porcentaje de incremento en los últimos 13 años. Se selecciona el censo de 2005 debido a que es más cercano a la fecha en la cual se comenzó a ampliar la vía y se toma el censo del 2018 como referente único preciso según el DANE de una aproximación de la población actual.

Como se puede observar en la

Tabla 4Tabla 5, dentro de la zona de estudio aumentaron la cantidad de centros poblados identificados por el DANE en un 62.62% en 2021 con respecto a el 2005 lo cual representa una diferencia en área del 25%. Este aumento en la urbanización de los territorios se corresponde con el aumento de la población que suelen tener en el desarrollo natural de las regiones. Sin embargo, existen territorios que contaron un aumento destacable de su área urbana como se observa en Tabla 5, Ventaquemada tuvo el mayor desarrollo urbano con un incremento del 157.5%. Según la Agencia Nacional de Tierras (2023) el desarrollo de las actividades económicas de este municipio se da gracias a la cercanía con la vía BTS los cuales se ven reflejados en los asentamientos comerciales sobre esta carretera.

Así mismo, como se evidencia en la Tabla 5 el porcentaje de aumento poblacional mayor del 60% se presentó en los municipios de Tocancipá, Cajicá y Cota. Por otro lado, nueve de los territorios ilustrados en la misma tabla presentan porcentajes negativos indicando una disminución en la cantidad de habitantes, cabe resaltar que las dos regiones con valores más altos de disminución fueron Cucaita con -26,12% y Floresta con -34,77%. Del mismo modo, hubo áreas en las cuales el porcentaje de aumento no fue tan significativo esto quiere decir que los habitantes de Chocontá con un 1,6% y Busbanza con 2,03% fueron similares en el 2005 al 2018.

Por otro lado, municipios como Chía y Tocancipá, con aumento del 62.14% y 127.65% respectivamente, puede deberse a la influencia del norte de Bogotá sobre la sabana debido a la presión que se ejerce sobre los territorios en la búsqueda de nuevas zonas de crecimiento urbano y precios accesibles (Ruíz Salgero et al., 2007). En los últimos años, la Alcaldía Mayor a buscado mejorar el desarrollo urbanístico de esta zona de la ciudad con la adopción del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte - “Ciudad Lagos de Torca” (DECRETO 088 DE 2017, 2017) que busca la responder a la demanda de vivienda, movilidad y de equipamientos de esta zona de la capital y que adicionalmente se verían beneficiados los municipios aledaños que se encuentran dentro de la Región Metropolitana de Bogotá-Cundinamarca (Consejo Nacional de Política Económica y Social., 2003; LEY 2199 DE 2022, 2022)

Tabla 5 Cambio del área de los centros poblados y población de los de los municipios dentro del área de estudio

| Municipio    | MGN<br>2005  | MGN<br>2021  | Diferencia | POBLACIÓN   |             | %       |
|--------------|--------------|--------------|------------|-------------|-------------|---------|
|              | Área<br>(Ha) | Área<br>(Ha) |            | (DANE,2005) | (DANE,2018) |         |
| VENTAQUEMADA | 70,69        | 182,01       | 157,46%    | 14404       | 13984       | -2,92%  |
| TOCANCIPÁ    | 169,92       | 386,82       | 127,65%    | 24154       | 39416       | 63,19%  |
| CAJICÁ       | 465,43       | 1.045,08     | 124,54%    | 45391       | 81111       | 78,69%  |
| OICATÁ       | 16,36        | 34,98        | 113,77%    | 2822        | 2821        | -0,04%  |
| COTA         | 160,38       | 320,67       | 99,94%     | 19909       | 31868       | 60,07%  |
| SOTAQUIRÁ    | 30,71        | 55,35        | 80,20%     | 8966        | 7953        | -11,3%  |
| VILLAPINZÓN  | 111,48       | 183,80       | 64,88%     | 16573       | 15834       | -4,46%  |
| FLORESTA     | 5,69         | 9,37         | 64,61%     | 4884        | 3186        | -34,77% |
| CHÍA         | 1.479,91     | 2.399,57     | 62,14%     | 97896       | 129613      | 32,4%   |
| SUESCA       | 144,69       | 225,99       | 56,19%     | 14242       | 15401       | 8,14%   |
| TABIO        | 81,90        | 127,84       | 56,09%     | 20850       | 20602       | -1,19%  |
| SESQUILÉ     | 94,08        | 142,26       | 51,20%     | 9817        | 11067       | 12,73%  |
| CÓMBITA      | 55,70        | 84,21        | 51,18%     | 12981       | 12636       | -2,66%  |
| BUSBANZÁ     | 10,98        | 10,87        | -1,00%     | 885         | 903         | 2,03%   |
| CHOCONTÁ     | 160,22       | 157,65       | -1,61%     | 19512       | 19825       | 1,6%    |
| ZIPAQUIRÁ    | 911,07       | 798,23       | -12,39%    | 101551      | 129652      | 27,67%  |
| CUCAITA      | 52,04        | 34,20        | -34,28%    | 4568        | 3375        | -26,12% |
| TÓPAGA       | 87,91        | 49,14        | -44,11%    | 3683        | 3531        | -4,13%  |

También se puede observar en la Tabla 5 el porcentaje de aumento poblacional en la mayoría de los municipios es mayor al 100%, duplicando la cantidad de personas que viven en la zona. Del mismo modo se hace énfasis en los municipios con mayor porcentaje de casi 10 veces más habitantes como lo son: Oicatá, Sotaquirá y Cómbita. Siendo estos lugares excelentes indicadores de influencia de la ampliación de la vía para dichas zonas. Por otro lado, se encuentran tres municipios con menor aumento poblacional con porcentajes inferiores al 100% estos municipios fueron: Chía, Zipaquirá y Cucaita, cabe resaltar que la población inicial era mayor en estos tres municipios a comparación con la población inicial del resto.

Por otro lado, en el área económica se crearon dos diagramas de barras que evidencian la participación de cada sector económico dentro del Producto Interno Bruto (PIB) de los departamentos en los que se encuentra el área de influencia del proyecto, es decir de Boyacá y Cundinamarca (Gráfico 5 y Gráfico 6 respectivamente). Dichos datos se obtuvieron de la plataforma del (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2024) para el periodo desde el 2001 y el 2023.

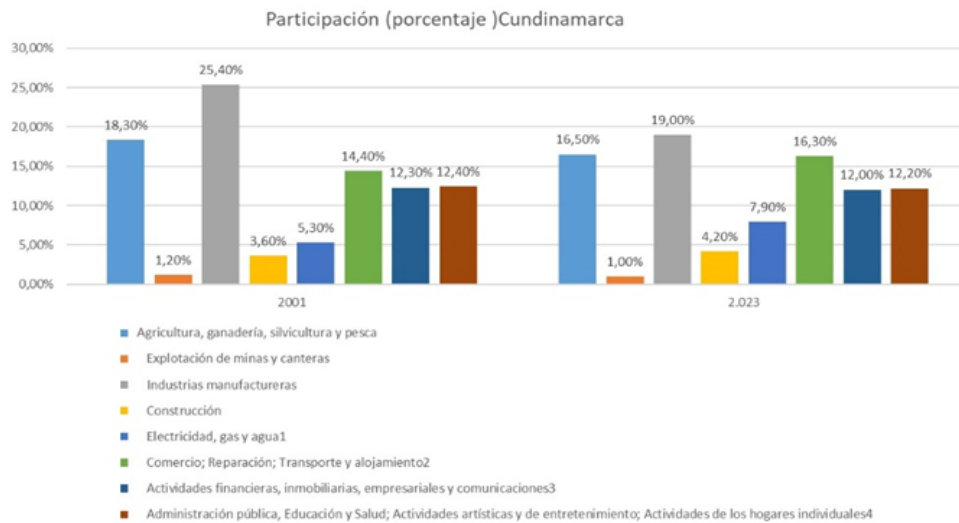


Gráfico 5 Participación por sector productivo dentro del PIB Cundinamarca para los periodos de 2001 y 2023

Fuente: Adaptado DANE, 2023

Al analizar el comportamiento de los sectores económicos en Cundinamarca para el periodo de tiempo anteriormente mencionado, se refleja un incremento en tres de las áreas económicas que son la construcción; la generación, tratamiento y distribución de servicios públicos y, finalmente, el comercio y servicios relacionados al transporte y alojamiento. Estos se ven relacionados con el tipo de actividad que el proyecto de ampliación de la vía BTS como es las actividades constructivas propias y del mismo modo de la ampliación de centros poblados y los servicios necesarios para los trabajadores y nuevos residentes. Adicionalmente, al presentarse un aumento de los centros poblados (Tabla 5) y en la población también se necesario ampliar la producción y cobertura de los servicios públicos básicos (corriente eléctrica, gas, acueducto y alcantarillado). Por el contrario, el sector la industria manufacturera presentó una disminución significativa en el 2023, pasando de tener un porcentaje de participación de 25,40% a 19% que pudo deberse a otros factores económicos y de mercado ajenos al proyecto vial. A pesar de eso, el resto de los sectores económicos mantuvieron porcentajes de participación similares en el 2023 a comparación de los valores del 2001.

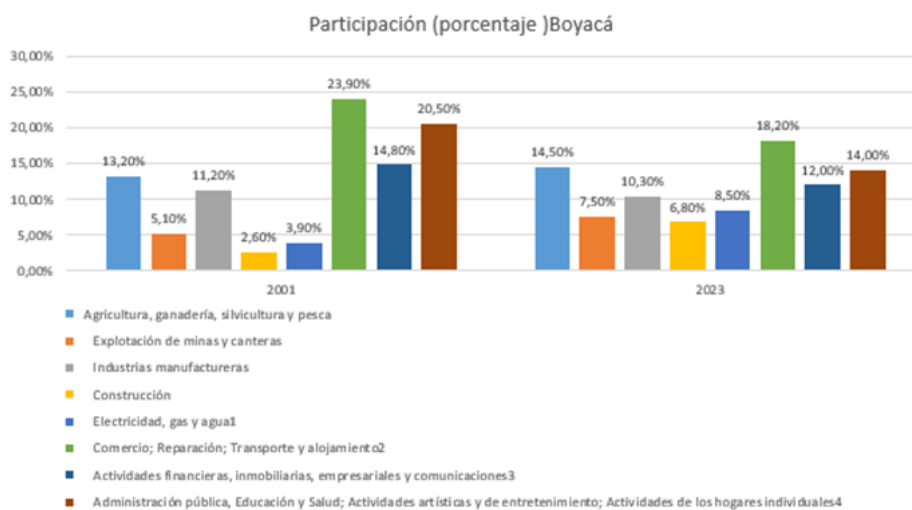


Gráfico 6 Participación por sector productivo dentro del PIB Boyacá para los periodos de 2001 y 2023

Fuente: Adaptado DANE, 2023

Por otro lado, en el departamento de Boyacá los sectores económicos con mayor crecimiento fueron los relacionados a las actividades agropecuarias, explotación de minas y canteras, construcción y, finalmente, la generación, tratamiento y distribución de servicios públicos. El sector relacionado a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca creció un 1,3% lo cual reafirma lo evidenciado en la Tabla 3 donde se reflejó un aumento de la cobertura relacionada a cultivos (10,58%) y una breve disminución de las áreas boscosas (3,44%). De igual manera a lo reportado en Cundinamarca, el crecimiento del sector de construcción con un 4,2% puede deberse a la ampliación de la vía que es objeto de estudio y a la aparición y crecimiento de los centros urbanos como se observó en la

Tabla 4. De la misma forma la producción y cobertura de los servicios públicos como lo son la corriente eléctrica, gas, acueducto y alcantarilla aumentaron 4,6% debido a la necesidad de brindar estas comodidades a la población creciente dentro área de los centros poblados observados en la Tabla 5.

## CONCLUSIONES

Se determinó que la zona de influencia de la vía BTS comprendió un área total de 40,7926.1819 Ha que corresponden a la franja del territorio formado a 10 km de cada margen de la vía BTS. Esta zona se encuentra incluida dentro de dos departamentos (Boyacá y Cundinamarca) conformados por 46 municipios con centros poblados dentro de este. De igual forma la comparación de la temporalidad de la zona de estudio dentro los años 2001 y 2023 permitió clasificar y evidenciar un cambio significativo en las coberturas del suelo. Al mismo tiempo, se observó un aumento en la superficie dedicada a cultivos, mientras que las áreas de bosque disminuyeron, indicando una expansión de la frontera agrícola y la urbanización a lo largo del corredor vial BTS.

Las condiciones climáticas de la zona de influencia de la vía BTS influenciaron directamente con la formulación del índice de vegetación normalizado (NVDI). Las imágenes satelitales del periodo 2001 fueron captadas en un periodo de tiempo donde se contaba con un déficit de precipitaciones que, sumado a la tendencia de las condiciones semisecas inherentes del territorio, marcaron una posible alteración en la toma de datos. Lo anterior se vio en el tipo de cobertura “Sin cobertura/urbano” en el que los valores previos a la ampliación de la vía fueron superiores a los encontrados después de la finalización del proyecto constructivo.

El presente estudio reveló un aumento en la urbanización y el crecimiento de centros poblados en la zona de estudio. El desarrollo de la infraestructura vial ha contribuido al crecimiento poblacional y económico. Se pudo estimar que el municipio de Ventaquemada fue el que tuvo un mayor desarrollo urbanístico entre el 2005 y 2023, ya que el aumento del área de sus centros urbanos dentro de la zona de influencia de la vía BTS ascendió a un 157%. Por otro lado, los municipios de Tocancipá y Cota fueron los que más aumentaron su población con una diferencia de 63.19% y 60% respectivamente entre el 2005 y 2018. Para el caso de los municipios que vieron una reducción de su población en este mismo periodo de tiempo, se deberá realizar un estudio complementario que determine las causas de esta dinámica. Finalmente, se sugiere la realización de un estudio similar desde una perspectiva catastral para detallar los cambios dentro en el uso del suelo en especial dentro de las zonas urbanas.

Sobre el desarrollo económico de este territorio, se evidenció que en los dos departamentos en los que se encuentra la carretera objeto del presente estudio, que las principales actividades que vieron un aumento de su participación en el PIB departamental fueron la construcción y la prestación de servicios públicos con un incremento entre el 2.2% y 0.6% para el primero y el otro entre 4,6% y 2,6%. En el caso del departamento de Boyacá, aumentó la producción agrícola 1,3% y en la explotación de yacimientos mineros incrementó un 2,4%. Por otro lado, con respecto a Cundinamarca, la prestación de servicios reparación, alojamiento, transporte y comercio amplió en un 1.90%. Como estudio complementario, se sugiere realizar una investigación más profundo del movimiento de mercancías con un aforo de vehicular en la vía BTS para determinar el destino de estos productos y así gestionar políticas que lleven a la construcción de carreteras que comuniquen la vía BTS con nuevos centros de producción o mejorar las vías ya existentes.

## REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Tierras. (2023, octubre). *VENTAQUEMADA: Resultados del cálculo de la Unidad Agrícola Familiar por Unidades Físicas Homogéneas*. <https://www.ant.gov.co/wp-content/uploads/2023/11/AF-DTS-VENTAQUEMADA-V2-SB.pdf>
- Caballero, A., & Muñoz, D. (2019). *ANÁLISIS DE GESTIÓN AMBIENTAL EN ZONA DE DERECHO DE VÍA EN CARRETERAS DE DOBLE CALZADA COLOMBIANAS - CASO RUTA 550*.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (1999). *Documento CONPES 3045: Programa de Concesiones Viales 1998-2000 Tercera generación de Concesiones* (p. 32). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3045.pdf>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2003, diciembre 15). *Documento CONPES 3256: POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN CONCERTADA DEL DESARROLLO DE LA REGIÓN DE BOGOTÁ - CUNDINAMARCA*. [https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/conpes\\_3256.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/conpes_3256.pdf)
- Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Ochoa, B., Cárdenas, I., Iñiguez, V., & Borja, P. (2014). *Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos*. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/46470852/Impactos\\_del\\_cambio\\_de\\_uso\\_de\\_la\\_tierra\\_20160614-5327-1a1fgx4-libre.pdf?1465905800=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DImpactos\\_del\\_cambio\\_de\\_uso\\_de\\_la\\_tierra.pdf&Expires=1694190237&Signature=AiVF32nrfiF-qEIfqRD3aO0tCiapg74PgYa6SvuSKRom7yCvrIbY~gEtmi8kAV3cF9DjLhT~nCL0ZptvWJlftgg9rlKlj8NTK3RiW6Jt4BR0tVUG2a0r1PGyMvV4XGRJ0RnH3l27E6IP3Jj~Q5RAM6jERU-x2yvBZvym8bTyvVm8hR0sM0e1D0c2FQ~IyaAHXFo9TsPfq-8OzSvmJaD2xUUacBfGIpyLH9eh7FbNh4aVAXofgOcQ8HnbHJOrNM8HXqqdADI5RE75KTCDv3DGtQ4OZjwisthYd2SDBpDP1wgttSJHHD6ThNp0feMDEYcPZZjkzodW6iX6R8lfxd203Q\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/46470852/Impactos_del_cambio_de_uso_de_la_tierra_20160614-5327-1a1fgx4-libre.pdf?1465905800=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DImpactos_del_cambio_de_uso_de_la_tierra.pdf&Expires=1694190237&Signature=AiVF32nrfiF-qEIfqRD3aO0tCiapg74PgYa6SvuSKRom7yCvrIbY~gEtmi8kAV3cF9DjLhT~nCL0ZptvWJlftgg9rlKlj8NTK3RiW6Jt4BR0tVUG2a0r1PGyMvV4XGRJ0RnH3l27E6IP3Jj~Q5RAM6jERU-x2yvBZvym8bTyvVm8hR0sM0e1D0c2FQ~IyaAHXFo9TsPfq-8OzSvmJaD2xUUacBfGIpyLH9eh7FbNh4aVAXofgOcQ8HnbHJOrNM8HXqqdADI5RE75KTCDv3DGtQ4OZjwisthYd2SDBpDP1wgttSJHHD6ThNp0feMDEYcPZZjkzodW6iX6R8lfxd203Q__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- DANE Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018* [Geoportal del DANE - Geovisor CNPV 2018]. <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/?lt=4.456007353293281&lg=-73.2781601239999&z=6>

- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DANE. (2005). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2005*. Geportal del DANE - Geovisor CNPV 2005. <https://www.dane.gov.co/INDEX.PHP/ESTADISTICAS-POR-TEMA/DEMOGRAFIA-Y-POBLACION/CENSO-GENERAL-2005-1>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2024, mayo 30). *Cuentas nacionales departamentales: PIB por departamento*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>
- Du, P., Li, X., Cao, W., Luo, Y., & Zhang, H. (2010). Monitoring urban land cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information. *Mining Science and Technology (China)*, 20(6), 922-932. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60308-2](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60308-2)
- ESRI. (s. f.). *Función NDVI—ArcGIS Pro | Documentación*. Recuperado 20 de junio de 2024, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/ndvi-function.htm>
- Hernández, J., & Montaner, D. (2009). *PATRONES DE RESPUESTA ESPECTRAL*. <https://gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20&%20Montaner%202009%20SAF.pdf>
- Hernández Sampieri, R., Collado Fernández, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). *Metodología de la investigación (QUINTA)*. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Hurtado Moreno, G., & González, O. C. (s. f.). *EVALUACIÓN DE LA AFECTACIÓN TERRITORIAL DE LOS FENÓMENOS EL NIÑO/LA NIÑA Y ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD DE LA PREDICCIÓN CLIMÁTICA BASADA EN LA PRESENCIA DE UN EVENTO* (p. 38). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Evaluaci%C3%B3n+de+la+Afectaci%C3%B3n+Territorial.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s. f.). *Geportal de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. Recuperado 27 de junio de 2024, de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Karlson, M., Mörtberg, U., & Balfors, B. (2014). Road ecology in environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 48, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.04.002>
- Kumar, J., & Sharma, R. (2022). Highway peripheral urbanization, industrialization and land use change: A case study of

NH-48 in National Capital Region, Delhi, India. *GeoJournal*, 88(3), 2969-2981. <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10783-5>

Li, C., Zhang, J., Philbin, S. P., Yang, X., Dong, Z., Hong, J., & Ballesteros-Pérez, P. (2022). Evaluating the impact of highway construction projects on landscape ecological risks in high altitude plateaus. *Scientific Reports*, 12(1), 5170. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08788-8>

Narayani, A. R., Nagalakshmi, R., & Pakrasi, D. (2023). Application of geoinformatics to classify the landcover from satellite imagery using NDVI – A case of peri-urban regions of Southern Chennai. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1210(1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1210/1/012034>

Navarro, S. P. M. (2021). *Impactos ambientales de la infraestructura vial en el caribe colombiano, un análisis desde*.

Osorio, A., Cifuentes, O., Celis, R., Barrera, S., Ceron, A., Ortiz, C., Riaño, C., Albarrán, L., & Romero, G. (2015). *ESTUDIOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES COMPLEJO DE PÁRAMOS ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE* (p. 119). Instituto Humboldt, Corredor de Ecosistemas Estratégicos de la Región Central de la Cordillera Oriental – CEERCCO. [\[http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9484/13-13-014-188%20CE.pdf?sequence=1&isAllowed=y\]](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9484/13-13-014-188%20CE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)(<http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9484/13-13-014-188%20CE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

POR MEDIO DE LA CUAL SE DESARROLLA EL ARTÍCULO 325 DE LA CONSTITUCIÓN POLÍTICA Y SE EXPIDE EL RÉGIMEN ESPECIAL DE LA REGIÓN METROPOLITANA BOGOTÁ - CUNDINAMARCA (2022). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=179486>

Por medio del cual se establecen las normas para el ámbito de aplicación del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte - “Ciudad Lagos de Torca” y se dictan otras disposiciones (2017). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?dt=S&i=68421#225>

Ruíz Salgero, M., Rubiano, N., González Pulido, A., Centro de Investigaciones sobre Dinámica Social, & Vereinte Nationen (Eds.). (2007). *Ciudad, espacio y población: El proceso de urbanización en Colombia*. Fondo de Población de las Naciones Unidas.

SANTOS AMADO, J. D., MALAGÓN VILAFRADES, P. Y., & CÓRDOBA TUTA, E. M. (2011). CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS Y PREPARACIÓN DE PASTAS CERÁMICAS PARA LA

FABRICACIÓN DE TEJAS Y LADRILLOS EN LA REGIÓN DE BARICHARA, SANTANDER. *DYNÁ*, 78(167), 50-58.

U.S. Geological Survey. (s. f.). *Landsat 7*. U.S. Geological Survey. Recuperado 26 de junio de 2024, de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7>

Zambrano, B. C. (2012). Los ecosistemas semisecos del altiplano cundiboyacense, bioma azonal singular de Colombia, en gran riesgo de desaparición. *Revista Mutis*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.21789/22561498.364>