



**Análisis multitemporal de la expansión urbana de los municipios de Fonseca y  
Barrancas del departamento de La Guajira, Colombia.**

**Natalia Marcela Ruiz Moreno**

**Ingrid Tatiana Barón Pertuz**

**Universidad Antonio Nariño**

Programa de Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá D.C., Colombia

2022



**Análisis multitemporal de la expansión urbana de los municipios de Fonseca y  
Barrancas del departamento de La Guajira, Colombia.**

**Natalia Marcela Ruiz Moreno**

Código 11792123070

**Ingrid Tatiana Barón Pertuz**

Código 1019109004

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

Director:

Andrés Felipe Carvajal Vanegas, Dr.

**Universidad Antonio Nariño**

Programa de Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá D.C., Colombia

2022



## Contenido

|   | Pág. |
|---|------|
| 1. Introducción.....  | 1    |
| 2. Objetivo .....   | 3    |
| 2.1    Objetivos específicos.....   | 3    |
| 3. Marco teórico y Estado del conocimiento.....                           | 4    |
| 3.1    Teledetección.....   | 4    |
| 3.2    Imágenes satelitales Landsat .....                                 | 5    |
| 3.3    Clasificación por teledetección .....                              | 6    |
| 3.4    Área de expansión urbana .....                                     | 6    |
| 3.5    Análisis multitemporal de coberturas y estudios relacionados ..... | 8    |
| 4. Metodología.....   | 10   |
| 4.1    Área de estudio.....   | 10   |
| 4.2    Insumos.....   | 11   |
| 4.2.1    Imágenes satelitales .....                                       | 11   |
| 4.2.2    Límites geográficos .....  | 12   |
| 4.2.3    Software.....  | 13   |
| 4.2.4    Información secundaria .....                                     | 13   |
| 4.3    Procedimiento .....  | 13   |
| 4.3.1    Verificación del área de estudio .....                           | 13   |
| 4.3.2    Pre-procesamiento digital de imágenes .....                      | 14   |
| 4.3.3    Procesamiento de las imágenes.....                               | 21   |
| 4.3.4    Análisis multitemporal.....                                      | 26   |
| 4.3.5    Cartografía temática .....                                       | 26   |
| 5. Resultados y discusión.....  | 28   |
| 6. Conclusiones.....  | 40   |
| Referencias bibliográficas .....  | 41   |



## Lista de Figuras

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Figura 1</b> Localización del área de estudio .....   | 10          |
| <b>Figura 2</b> Imagen con corrección de bandeado .....  | 15          |
| <b>Figura 3</b> Imágenes Landsat pre-procesadas .....  | 16          |
| <b>Figura 4</b> Localización de los polígonos que concentran área urbana de Barrancas y Fonseca..  | 18          |
| <b>Figura 5</b> Imágenes del municipio de Barrancas recortadas al área de estudio.....             | 19          |
| <b>Figura 6</b> Imágenes del municipio de Fonseca recortadas al área de estudio.....               | 20          |
| <b>Figura 7</b> Imágenes del municipio de Barrancas con la combinación del OIF .....               | 23          |
| <b>Figura 8</b> Imágenes del municipio de Fonseca con la combinación del OIF .....                 | 24          |
| <b>Figura 9</b> Esquema gráfico de la metodología de procesamiento de imágenes.....                | 27          |
| <b>Figura 10</b> Coberturas identificadas para Barrancas y Fonseca por clasificación supervisada.. | 28          |
| <b>Figura 11</b> Mapa del cambio de área urbana identificado para Barrancas .....                  | 30          |
| <b>Figura 12</b> Mapa del cambio de área urbana identificado para Fonseca .....                    | 30          |
| <b>Figura 13</b> Crecimiento multitemporal del área urbana de Barrancas y Fonseca. ....            | 32          |
| <b>Figura 14</b> Población de la cabecera municipal de Barrancas y Fonseca.....                    | 36          |

## Lista de tablas

Pág.

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <b>Tabla 1</b> | Características de las imágenes de trabajo.....                                     | 12 |
| <b>Tabla 2</b> | Medidas de tendencia central de las imágenes del municipio de Barrancas.....        | 21 |
| <b>Tabla 3</b> | Medidas de tendencia central de las imágenes del municipio de Fonseca .....         | 22 |
| <b>Tabla 4</b> | Área de la cobertura urbana identificada en los municipios de Barrancas y Fonseca . | 31 |
| <b>Tabla 5</b> | Tasa porcentual anual de cambio de la cobertura urbana de Barrancas y Fonseca.....  | 33 |

## Lista de Símbolos y Abreviaturas

| <b>Símbolo</b>        | <b>Término</b>         |
|-----------------------|------------------------|
| <i>%</i>              | Por ciento             |
| <i>°C</i>             | Grado Centígrado       |
| <i>ha</i>             | Hectárea               |
| <i>hab. / hab.</i>    | Habitante / habitantes |
| <i>km</i>             | Kilómetro              |
| <i>km<sup>2</sup></i> | Kilómetro cuadrado     |
| <i>m</i>              | Metro                  |

| <b>Abreviatura</b> | <b>Término</b>                                       |
|--------------------|--|
| <i>AOI</i>         | Área de interés                                      |
| <i>Aprox.</i>      | Aproximadamente                                      |
| <i>CCGUAJIRA</i>   | Cámara de comercio de La Guajira                     |
| <i>CNPV</i>        | Censo Nacional de Población y Vivienda               |
| <i>DANE</i>        | Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas |
| <i>DE</i>          | Desviación estándar                                  |
| <i>EOT</i>         | Esquema de Ordenamiento Territorial                  |
| <i>IGAC</i>        | Instituto Geográfico Agustín Codazzi                 |
| <i>MINCIT</i>      | Ministerio de Comercio, Industria y Turismo          |
| <i>MGN</i>         | Marco Geoestadístico Nacional                        |
| <i>NBI</i>         | Necesidades básicas insatisfechas                    |
| <i>ND</i>          | Nivel digital  |
| <i>ODS</i>         | Objetivos de Desarrollo Sostenible                   |
| <i>OIF</i>         | Factor del índice óptimo                             |
| <i>PIB</i>         | Producto Interno Bruto                               |
| <i>SIG</i>         | Sistema de Información Geográfica                    |
| <i>USGS</i>        | Servicio Geológico de Estados Unidos                 |

## **Resumen**

El presente trabajo presenta un análisis multitemporal, identificando el crecimiento de las zonas urbanas de los municipios de Fonseca y Barrancas del departamento de La Guajira, Colombia, a través del análisis de posibles factores y/o escenarios de transformación y desarrollo en el área de estudio. Lo anterior, por medio del uso de imágenes satelitales de épocas diferentes, procesadas con herramientas de análisis de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El análisis de estos cambios servirá como herramienta para la toma de decisiones futuras, debido al crecimiento urbano acelerado que se presenta en la Guajira, por lo cual se busca que esta expansión se realice de una manera más organizada. Para realizar el análisis, se utilizan imágenes del satélite Landsat de los años 1985, 2000, 2014 y 2021 con una clasificación supervisada con el software ERDAS Imagine.

De acuerdo con el procesamiento digital de imágenes satelitales, se identificó el área urbana de Barrancas y Fonseca para los diferentes períodos evaluados, donde se evidenció un aumento del área de la cabecera municipal y su relación directamente proporcional con la población de los municipios, donde la mayor tasa anual de crecimiento de la zona urbana fue durante el período de 1985 y 2000. De igual forma, se destaca la influencia en el cambio de cobertura a partir de la presencia de la industria minera cerca a los municipios.

Palabras clave: Análisis multitemporal, imagen satelital, Landsat, cobertura urbana, expansión urbana, influencia, desarrollo, población.

## **Abstract**

The present work shows a multi-temporal analysis, identifying the growth of the urban areas of the municipalities of Fonseca and Barrancas in the department of La Guajira, Colombia, through the analysis of possible factors and/or scenarios of transformation and development in the study area. The foregoing, through the use of satellite images from different periods, processed with analysis tools of Geographic Information Systems (GIS).

The analysis of these changes will serve as a tool for future decision making, due to the accelerated urban growth that occurs in La Guajira, for which it is sought that this expansion be carried out in a more organized manner. To perform the analysis, Landsat satellite images from the years 1985, 2000, 2014 and 2021 are used with a supervised classification with the ERDAS Imagine software.

According to the digital processing of satellite images, the urban area of Barrancas and Fonseca was identified for the different periods evaluated, where there was evidence of an increase in the area of the municipal capital and its directly proportional relationship with the population of the municipalities, where the The highest annual growth rate of the urban area was between 1985 and 2000. Similarly, the influence on the change in coverage from the presence of the mining industry near the municipalities stands out.

**Keywords:** Multi-temporal analysis, satellite image, Landsat, urban coverage, urban sprawl, influence, development, population



## 1. Introducción

El departamento de La Guajira es una de las zonas más importantes del país por su riqueza cultural y étnica, sus suelos y ubicación geográfica de zona fronteriza. Este departamento contiene todos los pisos térmicos con su correspondiente biota, haciéndolo un epicentro de diversidad por sus ecosistemas. Igualmente, tiene presencia de afluentes hídricos y grandes extensiones de playas.

Debido a la aridez de la península de La Guajira, el desarrollo económico se concentra en el uso de los recursos naturales de carbón mineral, gas natural y sal marina, al igual que la generación de energía eólica, que representa el 70% aproximadamente de la economía, seguido por el sector del turismo y los cultivos agrícolas que alcanzan el 15% y 11% respectivamente (MINCIT, 2018).

De acuerdo con lo precedente se reconoce la mina del Cerrejón, yacimiento de carbón más grande de Latinoamérica y tercero del mundo, que permite la extracción de carbón térmico a cielo abierto en el departamento, el complejo carbonífero se localiza en la Baja Guajira entre los municipios de Albania, Hato Nuevo y Barrancas. Según el plan desarrollo de La Guajira 2020 - 2023 (Gobernación de la Guajira, 2020), las zonas de influencia aledañas a la mina aportan a la economía infraestructura y mano de obra con beneficios la población.

Sin embargo, en La Guajira se presentan los mayores índices de pobreza y sus habitantes en su mayoría viven en condiciones precarias, no obstante, el departamento presenta un índice de crecimiento poblacional superior en el país (CCGUAJIRA, 2016).

En los últimos 30 años, La Guajira ha experimentado un aumento acelerado de población de 180% aproximadamente entre el período 1985 a 2017 (CCGUAJIRA, 2016), lo precedente se

relaciona con la expansión urbana del territorio como consecuencia principal de la tasa de natalidad y/o los asentamientos humanos.

De otra parte, según la Cámara de comercio de la Guajira (2016) el crecimiento demográfico en el departamento puede estar influenciado por la zona fronteriza y el traslado de la materia mercantil entre Venezuela y Colombia, además de la llegada de ciudadanos extranjeros en el marco del flujo migratorio.

Por lo anterior, surge la necesidad de analizar la expansión de la cobertura urbana en el territorio, por lo cual se seleccionaron fechas relevantes para el departamento de La Guajira teniendo en cuenta los diversos factores socioeconómicos y las dinámicas de la población, y priorizando los municipios de Barrancas y Fonseca. De esta manera se realizó un análisis multitemporal para el período comprendido entre 1985 y 2021 a partir del procesamiento y análisis de imágenes satelitales.

En el presente trabajo se describe el cambio del área de las zonas de estudio definidas, en un rango de tiempo representativo, haciendo uso de la oferta de datos abiertos para imágenes del satélite Landsat y de software libre, a través de la aplicación de una metodología de procesamiento digital, interpretación y análisis de imágenes entorno al cambio de la cobertura, así como el uso de información secundaria que soportan el proceso.

## **2. Objetivo**

Realizar un análisis multitemporal de la expansión urbana de los municipios de Fonseca y Barrancas del departamento de La Guajira mediante el uso de imágenes satelitales.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Identificar la cobertura urbana de los municipios de Fonseca y Barrancas en los años 1985, 2000, 2014 y 2021 mediante imágenes satelitales.
- Analizar la dinámica de la expansión urbana de los municipios de Fonseca y Barrancas entre los años 1985 y 2021.

### **3. Marco teórico y Estado del conocimiento**

#### **3.1 Teledetección**

La teledetección o detección remota, es la técnica que permite obtener información espacial, temporal y espectral a distancia de los objetos situados en la superficie terrestre. Para obtener dicha información se utilizan sensores instalados en plataformas espaciales, cámaras métricas y convencionales, cámaras de video y espectro radiómetros de campo y laboratorio. De acuerdo con Chuvieco (1995), para este proceso es necesario que los objetos y los sensores tengan algún tipo de interacción, la interacción electromagnética, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable en el terreno.

Los sensores remotos generan las imágenes satelitales que permiten reconocer áreas con experiencia en las zonas, representan un método de bajo costo y permiten evaluar y reconocer extensiones grandes de terrenos (Mata et al., 2014), además, sirve para identificar los cambios de coberturas y a simple vista identificara la expansión de área. De acuerdo con la (FAO, 2001) el análisis de imágenes satelitales permite contar con una fuente de información valiosa, para obtener datos confiables de los cambios a través del tiempo que se producen en ella.

La Teledetección es utilizada como complemento a estudios orientados al medio ambiente en las distintas áreas de la ciencia: oceanografía, recursos pesqueros, estudios costeros, contaminación, hidrogeología, geología, estimación de cosechas, control de plagas, producción agrícola, usos del suelo, planificación urbana, entre otros. (Fernández - Coppel & Herrero Llorente, 2001)

### 3.2 Imágenes satelitales Landsat

Las imágenes satelitales son la representación visual de la información capturada por un sensor remoto enlazado en un satélite artificial. Los sensores almacenan la información reflejada por la superficie de la Tierra que luego es enviada de regreso y que al procesarse entrega información sobre las características de la zona representada (Jaramillo, 2016).

En 1967, La NASA y el Departamento de Interior de los Estados Unidos desarrollaron el Programa de Observación ERTS (Earth Resources Technology Satellites), conocido comúnmente como Landsat (Murcia). El satélite Landsat (Land= Tierra y Sat= Satélite), siendo uno de los programas de imágenes satelitales más antiguos para el monitoreo de los recursos terrestres, registra datos de alta calidad que alcanzan diversos rangos de longitud de onda del espectro electromagnético y realzan entidades que podrían ser invisibles al ojo humano.

La evolución del satélite conlleva a captar información de la superficie terrestre con mayor precisión y detalle, a través de mejoras radiométricas, geométricas y espaciales que se incorporaron a los sensores; estas imágenes son clasificadas en diferentes tipos de acuerdo con el satélite con el que fue tomada.

El sensor OLI-TIRS (Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor) de Landsat 8 y Landsat 9 cuenta con nueve [9] bandas espectrales incluyendo una [1] banda pancromática y dos [2] bandas térmicas; captura datos con resolución radiométrica de 12 bits re-escalados a 16 bits en el producto de descarga (USGS, n.d.- b). El sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de Landsat 7 cuenta con siete [7] bandas espectrales, una [1] banda pancromática con una resolución espectral de 8 bits (USGS, n.d.-a). El sensor TM (Thematic Mapper) de Landsat 5 solo posee siete [7] bandas multiespectrales.

### **3.3 Clasificación por teledetección**

De acuerdo con Rey (2020), para la clasificación por teledetección se debe tener en cuenta diversos factores que determinan un proceso de clasificación apropiado, entre los que se resalta la selección de muestras de entrenamiento propicias para la zona y la imagen a trabajar, realización del pre-procesamiento de imágenes más preciso y óptimo, determinación de las características, el enfoque de clasificación, la clasificación posterior al procesamiento y la evaluación de precisión, de manera que se haga una validación de muestras determinadas por su nivel digital.

Conjuntamente se debe tener clara la necesidad del usuario o la finalidad de la investigación, la escala del área de estudio, la condición económica y las habilidades, y la experiencia de los analistas. El diseño del procedimiento de clasificación y la calidad de los resultados de la clasificación, están dados al éxito de acuerdo a la correcta determinación de los factores y/o aspectos mencionados (Lu & Weng, 2007, p. 824).

### **3.4 Área de expansión urbana**

De acuerdo con los conceptos básicos establecidos por el DANE (2000), el área urbana se conforma por conjuntos de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas, las cuales están delimitadas por calles, carreras o avenidas, principalmente. Cuenta por lo general, con una dotación de servicios esenciales tales como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, hospitales y colegios, entre otros; en esta categoría están incluidas las ciudades capitales y las cabeceras municipales restantes. En cuanto a la cabecera municipal, se puede describir como el área geográfica que está definida por un perímetro urbano, donde se ubica la sede administrativa de un municipio.

La expansión urbana refiere la expansión de las poblaciones humanas fuera de las áreas urbanas centrales hacia comunidades de baja densidad y mono funcionales, en un proceso llamado sub-urbanización. Además de describir una forma particular de urbanización. El crecimiento poblacional en las ciudades, es el aumento del área con infraestructura urbana hacia los bordes de las ciudades y la densificación (aumento de viviendas por área) de las áreas urbanas (Jiménez, 2002).

A medida que el crecimiento urbano continúa es necesario extender la infraestructura de la ciudad; vías de transporte, equipamiento, servicios públicos, entre otros; para satisfacer las necesidades de la población que llega a ocupar estas nuevas áreas (Giraldo, 1999). El crecimiento puede darse de dos formas, esto dependiendo de la naturaleza de los procesos de urbanización que se den; urbanización planeada y urbanización no controlada (Molina, 1982).

La expansión urbana conlleva consecuencias que alteran significativamente el paisaje natural, creando un gran impacto en el ambiente y en los ecosistemas a todas las escalas geográficas (Lambin y Geist, 2001). Entre los impactos se encuentra el cambio en el uso de la tierra, las zonas aledañas a la ciudad que antes eran rurales pasan a convertirse en urbanas, al ser transformadas con el establecimiento de la infraestructura (He et al 2008).

Según González-Espinosa (2021) existen varias herramientas para visualizar le expansión del área urbana teniendo en cuenta sus coberturas y expansión atreves del tiempo, mencionando que “Las técnicas de percepción remota han probado ser de utilidad para estudiar múltiples fenómenos que se relacionan con los cambios de las coberturas de la tierra y la gestión y monitorización de los patrones de urbanización de las ciudades”.

Chuvieco (2008) expone que los sensores remotos aplicados a estudios urbanos tienen la capacidad de registrar, la información en detalle, de lo que se puede visualizar con ayuda de los satélites tenemos Resolución Espacial, Resolución Espectral, Resolución Radiométrico, Resolución Temporal este tipo de datos permiten analizar y proceso a partir de los sensores como lo son generación y actualización del parcelario catastral ,Análisis de la expansión urbana y patrones de desarrollo Clasificación de coberturas del suelo y Mapeo, planificación y administración del suelo urbano.

Según Cardozo Da Silva (2013), no existe certeza absoluta respecto a cuáles son los efectos de la resolución de los sensores (espacial, espectral, radiométrica, temporal) en la detección de cubiertas urbanas, sin embargo, los sensores de tipo ópticos (Visible + IR) con alta resolución espacial son los más utilizados en aplicaciones urbanas. Cabe mencionar que recientemente, los sensores activos del tipo LIDAR son usados cada vez con mayor frecuencia en espacios urbanos, debido al alto nivel de detalle que permiten los pulsos láser.

### **3.5 Análisis multitemporal de coberturas y estudios relacionados**

El análisis multitemporal de coberturas tiene como objetivo detectar y evaluar las variaciones que se han venido presentando durante el tiempo, tanto en ganancias, pérdidas, cambios al interior de las coberturas y nuevos registros, lo que permite deducir la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvieco (1995), para lo cual se utiliza una metodología de fotointerpretación.

En las últimas décadas se han realizado diferentes estudios encaminados a determinar los cambios de uso del suelo y coberturas, que utilizan sensores remotos para el diagnóstico y

administración de recursos naturales, por lo cual se mencionan algunos estudios relacionados con el procesamiento de imágenes satelitales en relación con el cambio de cobertura de la tierra por la expansión urbana.

El estudio realizado por Londoño y Cifuentes (2010), analizó a partir de sensores remotos el crecimiento urbano la población de Manizales menciona “la asociación del componente espacial al análisis. Se utilizan mapas en SIG con información asociada, lo que permite la generación de datos que pueden aprovecharse con métodos de cálculo adecuados, para obtener respuestas numéricas (Londoño, Cifuentes 2010)

Según Mauricio & Maturana-Miranda (2019), las dinámicas que presentan las ciudades y las cuales podrían suceder para expansión el área urbana a que es relevante para la planificación urbana y la sustentabilidad el autor simula dos escenarios de crecimiento para la ciudad intermedia de San Fernando en donde toma como referencia estos años 2025, 2030, 2040 y 2050, y se determina algunos patrones espaciales para crecimiento del área urbana y al final se deduce que los cambios en la superficie a futuro surge por la necesidades de generar planificación de la ciudades, Es un análisis de patrones espaciales en la expansión urbana de ciudades intermedias realizado por (Mauricio & Maturana-Miranda, 2019)

Perdomo (2017) realizó superposiciones de imágenes en diferentes períodos y traslapó ortofotos mediante el uso de ArcGIS, logrando identificar las zonas donde se eliminaron coberturas del suelo. De otra parte, se efectuó un análisis de la relación de la forma de ocupación del suelo con el modelo de ciudad definida en el POT de la ciudad (Perdomo, 2017). El trabajo de posgrado titulado “Estudio multitemporal de la dinámica de transformación de la cobertura por crecimiento urbano, de la localidad de Suba, Bogotá, D.C. periodo 1998 – 2014.

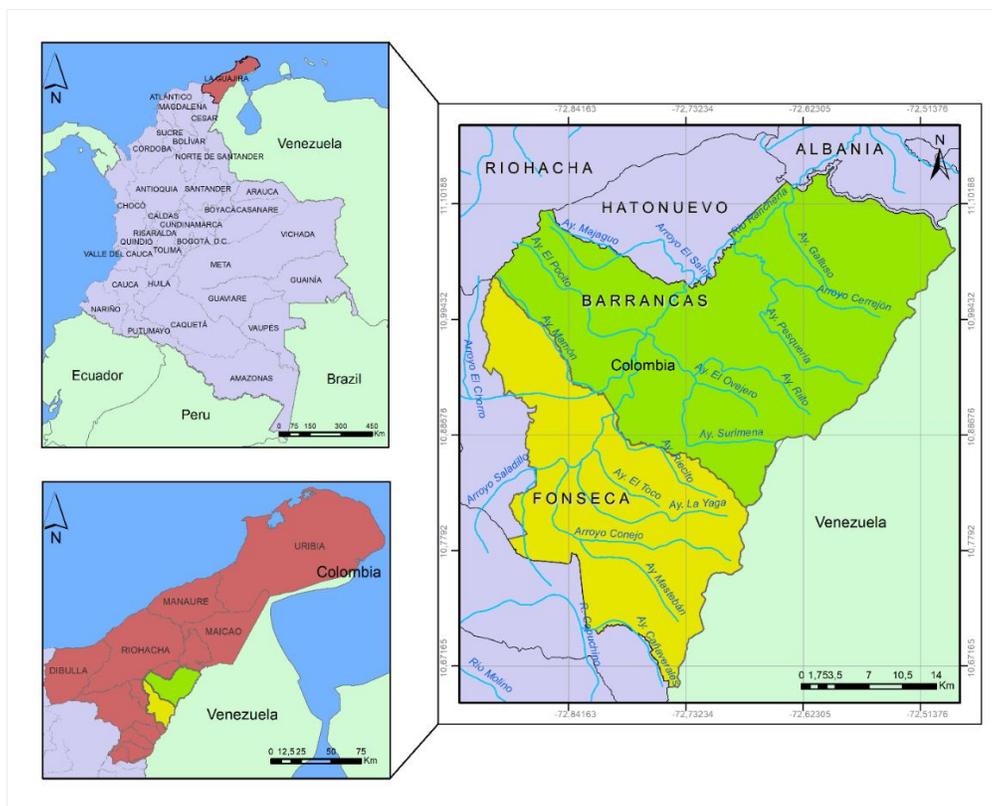
## 4. Metodología

### 4.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en los municipios de Barrancas y Fonseca en el departamento de La Guajira, Colombia (ver Figura 1). La Guajira se sitúa al extremo norte del país y pertenece a la región del caribe colombiano, limitando al norte y al oeste con el mar Caribe, al este con Venezuela; al sur con el departamento del Cesar y al suroeste con el departamento del Magdalena, entre los 10°23' y 12°28' de latitud norte y los 71°06' y 73°39' de longitud oeste. El departamento tiene una extensión territorial de 20.848 km<sup>2</sup> (1.8% del territorio colombiano) y una población total de acuerdo con las proyecciones del DANE de 2017 de 1'012.926. (DNP, 2017)”

**Figura 1**

*Localización del área de estudio*



*Nota.* Elaboración propia, 2022.

Barrancas con una superficie de 80094,18 ha y Fonseca con una superficie de 47352,24 ha, hacen parte de los 15 municipios del departamento y conforman la subregión de la Baja Guajira (conocida también como *La Provincia*), caracterizada por ser la región húmeda de La Guajira, donde se encuentran suelos para cultivo y gran diversidad de climas; la Baja Guajira presenta temperaturas entre los 27 °C a 35 °C, vientos alisios del nordeste que soplan durante la mayor parte del año y lluvias escasas generalmente en los meses de septiembre, octubre y noviembre. (Gobernación de La Guajira, 2022).

## **4.2 Insumos**

### **4.2.1 Imágenes satelitales**

Se consultaron y seleccionaron imágenes del satélite de observación de la Tierra Landsat en el portal web del Servicio Geológico de Estados Unidos - USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) que ofrece la descarga libre de imágenes satelitales con la corrección orto métrica ajustada. Para la búsqueda se tuvieron en cuenta imágenes que cubrieran la totalidad de la zona de estudio y su proximidad a la fecha de interés, además, se procuró una nubosidad inferior al 20% en los casos posibles, las imágenes obtenidas con Datum del Sistema Geodésico Mundial (WGS84) (Tabla 1).

**Tabla 1**

Características de las imágenes de trabajo

| Sensor         | Imagen                                   | Resolución |      |         | Fecha      |
|----------------|--|------------|------|---------|------------|
|                |  | Espe       | Espa | Rad     |            |
| Landsat 5 TM   | LT05_L1TP_008052_19850322_20200918_02_T1 | 7 bandas   | 30 m | 8 bits  | 1985/03/22 |
| Landsat 7 ETM+ | LE07_L1TP_008052_20000220_20200918_02_T1 | 7 bandas   | 30 m | 8 bits  | 2000/02/20 |
| Landsat 7 ETM+ | LE07_L1TP_008053_20000220_20200918_02_T1 | 7 bandas   | 30 m | 8 bits  | 2000/02/20 |
| Landsat 8 OLI  | LE08_L1TP_008052_20140525_20200911_02_T1 | 7 bandas   | 30 m | 8 bits  | 2014/05/25 |
| Landsat 9 OLI  | LC09_L1TP_008052_20211230_20220121_02_T1 | 7 bandas   | 30 m | 16 bits | 2021/12/30 |

*Nota.* Espe: Espectral (ms); Espa: Espacial; Rad: Radiométrica. Formato de fecha: año/mes/día. Elaboración propia, 2022.

#### 4.2.2 Límites geográficos

Para la delimitación de la zona de estudio se utilizaron capas geográficas de la división político-administrativa de Colombia del Marco Geoestadístico Nacional (MGN) regulado por la Resolución No. 2222 de 2018, que incluye límites departamentales, municipales, entre otros (con Datum WGS84), estos se obtuvieron a través de descarga libre en el geo portal del DANE (<https://geoportal.dane.gov.co>). Así mismo, se hizo uso de los datos vectoriales de las hojas cartográficas 21ID\_AC\_2012; 21IIIA\_AC\_2011 y 21IIIB\_AC\_2012 de escala 1:25.000 disponibles en el geo portal del IGAC (<https://www.colombiaenmapas.gov.co/>), para establecer el área urbana de referencia.

### **4.2.3 Software**

Para el procesamiento de imágenes y análisis de datos se utilizaron los siguientes programas:

- ERDAS Imagine 2014: software utilizado para procesar imágenes de satélite.
- ArcMap 10.5 de ArcGIS Desktop: software SIG de escritorio que permite crear mapas, realizar análisis espaciales y administrar datos.
- Quantum GIS [QGIS] 3.21.0: software SIG libre para visualizar, gestionar, editar y analizar datos, y diseñar mapas.
- Microsoft Excel: hoja de cálculo que permite manipular datos numéricos y de texto, y analizar estadísticamente información.

### **4.2.4 Información secundaria**

Se realizó la búsqueda de documentos, artículos científicos, revistas y cartografía relacionada con el tema y área de estudio, incluyendo las imágenes históricas disponibles en el sistema de información Google Earth, datos históricos de los censos, estimaciones y proyecciones del DANE, así como información socioeconómica de la población, a fin de enriquecer los conocimientos y establecer análisis con la información disponible.

## **4.3 Procedimiento**

### **4.3.1 Verificación del área de estudio**

Teniendo en cuenta que los municipios de Barrancas y Fonseca son contiguos entre sí, en ArcGIS se realizó un [1] polígono global de tipo vectorial con forma rectangular, que ocupó las dos [2] superficies totales, considerando la extensión establecida en el EOT 2002 - 2010 de Barrancas concertado mediante Resolución No. 01585 de 2002 y el EOT 2004 - 2017 de Fonseca

concertado por Resolución No. 03728 de 2005, esto con el fin de verificar que cada imagen contuviera el municipio de estudio.

#### **4.3.2 Pre-procesamiento digital de imágenes**

Con el fin de mejorar los datos y las características de las imágenes, se realizó un preprocesamiento digital y alistamiento de las imágenes satélites de los años 1985, 2000, 2014 y 2021 para reducir o eliminar los posibles errores antes de realizar el procesamiento (Sonka et al., 1993, p. 56) (ver Figura 2).

Es importante mencionar que las imágenes descargadas ya vienen con una corrección geométrica, por lo cual se asegura que las comparaciones de un [1] píxel entre fechas distintas involucran la misma porción del territorio, siguiendo lo sugerido por Hernández (2011).

- **Corrección atmosférica**

Se generó una corrección atmosférica de cada banda para las imágenes de cada año por medio del complemento o Plugin SCP de QGIS, para reducir el efecto de la dispersión sobre la radiación captada por los sensores satelitales y mejorar el contraste de las imágenes.

Para el procedimiento se realizó el cálculo de la temperatura en grados Celsius y se aplicó la corrección atmosférica DOS1, cuyas siglas refieren DOS –Dark Object Subtraction– o SPO –Método de Substracción de Píxeles Oscuros, conocido también como el Método de Chávez–, según Gómez, D. & Arteaga, A. (2014) esta técnica de tipo absoluto, corrige el efecto de dispersión de energía electromagnética en las partículas de agua suspendidas en la atmósfera, permitiendo restar los valores que éstas agregan a los datos de la imagen.

- **Composición multispectral**

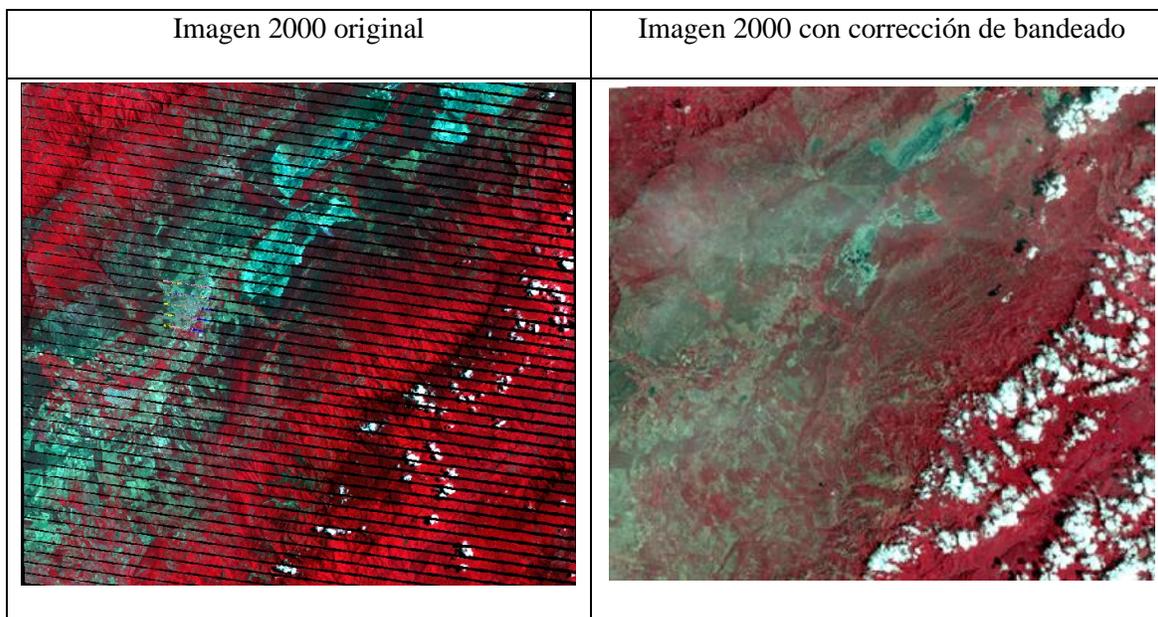
En ArcGIS se realizó el apilado multispectral de las siete [7] bandas de cada imagen por año, seguido por la creación de un mosaico con las imágenes ráster del mismo año (cuando aplica).

- **Corrección de bandeo**

Se realizó una corrección de bandeo a las imágenes del satélite Landsat 7 del año 2000 (ver Figura 2), a través de la herramienta de procesamiento *rellenar sin datos* del software QGIS, esta interpolación de los niveles digitales permitió visualizar la imagen sin líneas de ausencia de información (Galindo, 2021).

### Figura 2

Imagen con corrección de bandeo



Nota. Elaboración propia, 2022.

- **Re-proyección**

Para el mejoramiento de la resolución espacial se efectuó la re-proyección de las imágenes multispectrales mediante el uso de la herramienta *Reproject images* de ERDAS Imagine, con una resolución de 30 m a 15 m y verificando que la salida contenga una proyección UTM WGS 84 Norte, Zona 18.

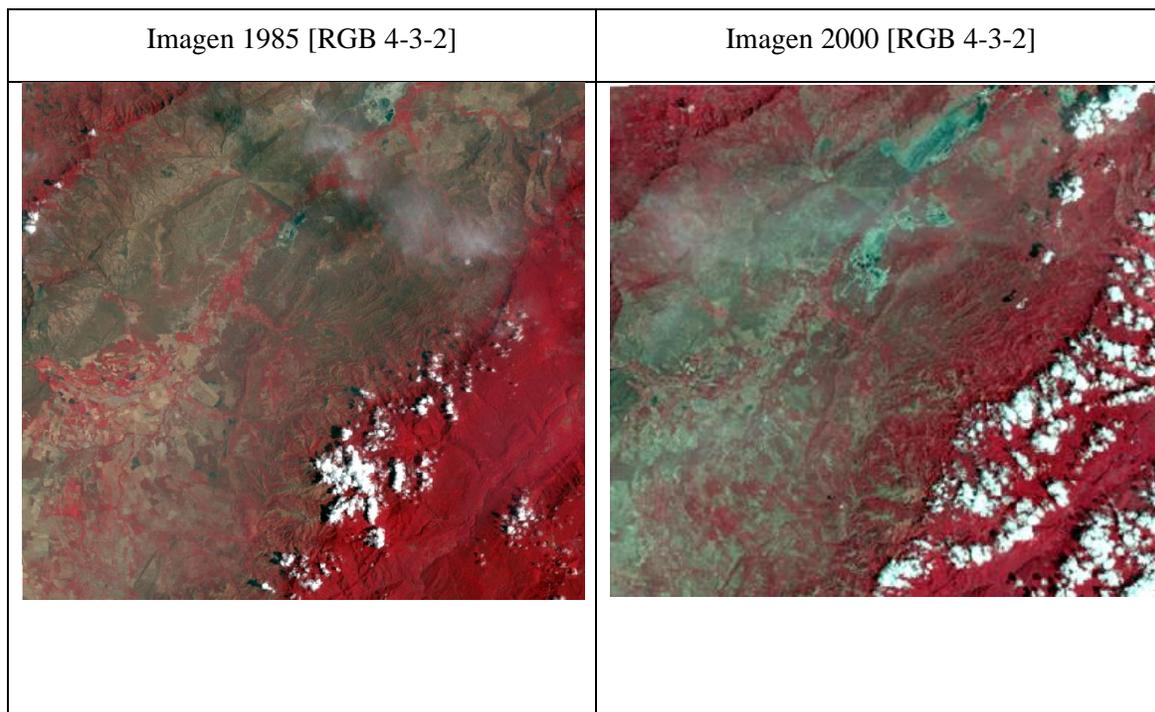
- **Re-escalamiento**

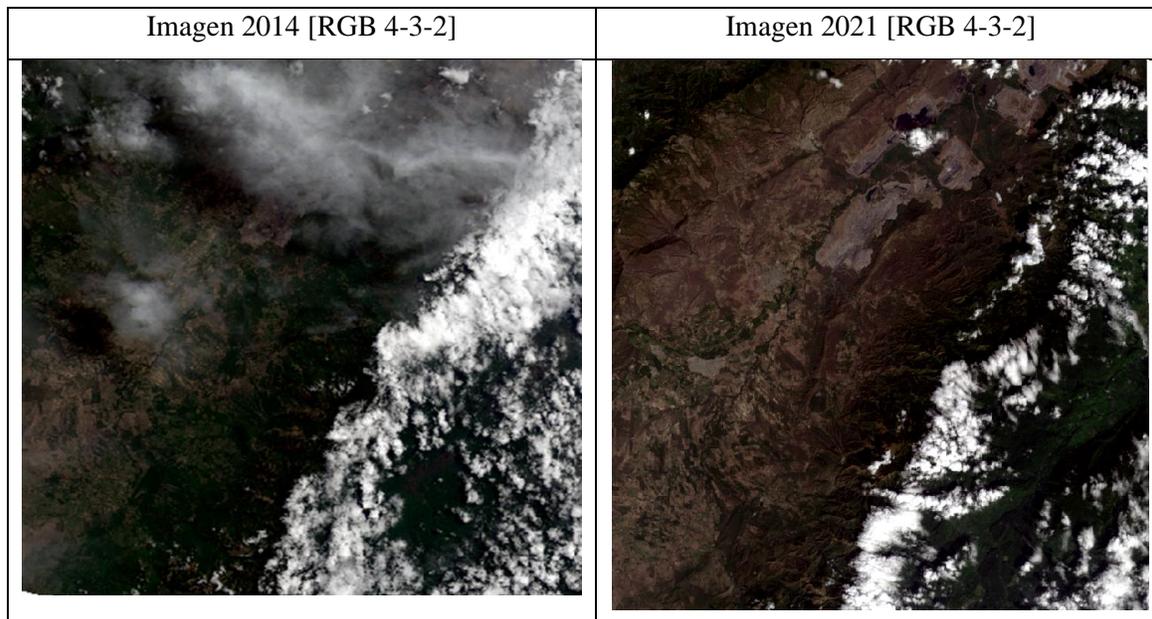
Se efectuó el re-escalamiento de las imágenes Landsat a una resolución radiométrica de 8 bits con la herramienta *Rescale* de ERDAS Imagine en los casos que aplique, a fin de manejar una misma escala del nivel digital (ND) en todas las imágenes de estudio.

Las imágenes obtenidas en el pre-procesamiento digital se presentan en la Figura 3.

### Figura 3

Imágenes Landsat pre-procesadas





*Nota.* Elaboración propia, 2022.

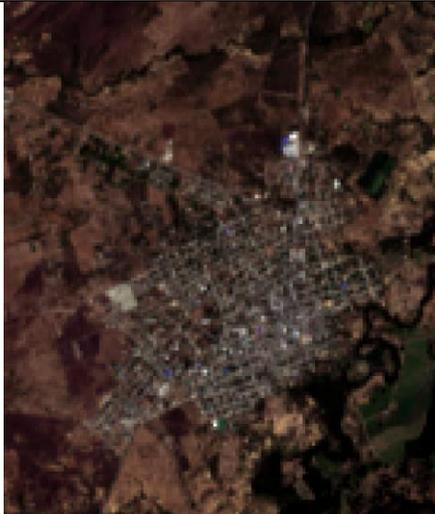
- **Recorte del área de interés**

Para definir el área de interés (AOI), se utilizó el área urbana establecida en las planchas cartográficas del IGAC para el municipio de Barrancas y Fonseca, delimitando 500 m adicionales en el perímetro de cada una de las dos [2] zonas por medio de la herramienta de geoprocesamiento *Buffer* de ArcGIS, posteriormente, se realizó dos [2] polígonos rectangulares que cubrieran el área urbana obtenida (ver Figura 4), estableciendo así la misma área en todos los períodos estudiados por municipio.



**Figura 5**

Imágenes del municipio de Barrancas recortadas al área de estudio

|               |   |  |
|---------------|---|--|
| <i>Imagen</i> |    |    |
| <i>Año</i>    | 1985 [RGB 4-3-2]  | 2000 [RGB 4-3-2]   |
| <i>Imagen</i> |  |  |
| <i>Año</i>    | 2014 [RGB 4-3-2]  | 2021 [RGB 4-3-2]   |

*Nota.* Elaboración propia, 2022.

En la Figura 6 se presenta cada imagen pre-procesada limitada al área urbana del municipio de Fonseca.

### Figura 6

Imágenes del municipio de Fonseca recortadas al área de estudio

|               |   |  |
|---------------|---|--|
| <i>Imagen</i> |    |    |
| <i>Año</i>    | 1985 [RGB 4-3-2]  | 2000 [RGB 4-3-2]   |
| <i>Imagen</i> |  |  |
| <i>Año</i>    | 2014 [RGB 4-3-2]  | 2021 [RGB 4-3-2]   |

*Nota.* Elaboración propia, 2022

### 4.3.3 Procesamiento de las imágenes

- **Estadísticas unibanda**

En ERDAS Imagine se generó y ejecutó un modelo con la herramienta de programación gráfica *Model marker* para obtener la matriz de varianzas y covarianzas y la matriz de correlación de cada una de las imágenes, el producto se organizó en Excel con el fin de obtener las medidas de dispersión de los niveles digitales para cada una de las bandas por año para cada imagen.

Los valores de la desviación estándar y varianza de las bandas de cada imagen (ver Tabla 2 y Tabla 3) se analizaron para identificar los niveles digitales con mayor variabilidad en los datos.

**Tabla 2**

Medidas de tendencia central de las imágenes del municipio de Barrancas

| Año  | Medida | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 | Banda 4 | Banda 5 | Banda 6 | Banda 7 |
|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1985 | DE     | 36,70   | 35,96   | 36,18   | 34,99   | 40,08   | 40,56   | 39,49   |
|      | Var    | 1347,02 | 1292,81 | 1309,30 | 1224,64 | 1606,08 | 1644,98 | 1559,61 |
| 2000 | DE     | 34,60   | 37,67   | 38,15   | 32,46   | 34,48   | 35,60   | 15,30   |
|      | Var    | 1197,48 | 1419,04 | 1455,09 | 1053,92 | 1188,83 | 1267,26 | 233,99  |
| 2014 | DE     | 32,47   | 32,62   | 32,08   | 32,60   | 26,75   | 28,31   | 31,65   |
|      | Var    | 1054,16 | 1063,87 | 1029,38 | 1062,49 | 715,38  | 801,27  | 1001,61 |
| 2021 | DE     | 33,14   | 32,81   | 33,31   | 36,50   | 27,68   | 31,54   | 28,45   |
|      | Var    | 1098,53 | 1076,25 | 1109,32 | 1332,30 | 766,33  | 994,97  | 809,31  |

*Nota.* DE: Desviación estándar; Var: Varianza. Elaboración propia, 2022

**Tabla 3**

Medidas de tendencia central de las imágenes del municipio de Fonseca

| Año  | Medida | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 | Banda 4 | Banda 5 | Banda 6 | Banda 7 |
|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1985 | DE     | 45,66   | 47,69   | 53,91   | 30,84   | 50,33   | 45,85   | 53,04   |
|      | Var    | 2084,46 | 2274,11 | 2906,49 | 950,90  | 2533,29 | 2102,23 | 2813,33 |
| 2000 | DE     | 36,02   | 37,67   | 38,15   | 32,46   | 34,48   | 35,60   | 15,30   |
|      | Var    | 1297,48 | 1419,04 | 1455,09 | 1053,92 | 1188,83 | 1267,26 | 233,99  |
| 2014 | DE     | 23,07   | 37,67   | 38,15   | 32,46   | 34,48   | 35,60   | 15,30   |
|      | Var    | 532,40  | 1419,04 | 1455,09 | 1053,92 | 1188,83 | 1267,26 | 233,99  |
| 2021 | DE     | 35,64   | 34,84   | 33,45   | 39,66   | 34,69   | 37,49   | 38,74   |
|      | Var    | 1270,34 | 1213,56 | 1119,06 | 1572,75 | 1203,37 | 1405,47 | 1500,93 |

Nota. DE: Desviación estándar; Var: Varianza. Elaboración propia, 2022

- **Estadísticas multibanda**

A partir de los datos unibanda, en Excel se efectuó un análisis estadístico multibanda por medio del cálculo del factor del índice óptimo (OIF) con las 35 posibles combinaciones de tres [3] bandas, empleando la siguiente formula:

$$OIF = Máx \left[ \frac{\sum_{i=1}^3 \sigma(i)}{\sum_{k=1}^3 Abs r(j)} \right]$$

Donde:

$\sigma(i)$  = Desviación estándar de la banda k;

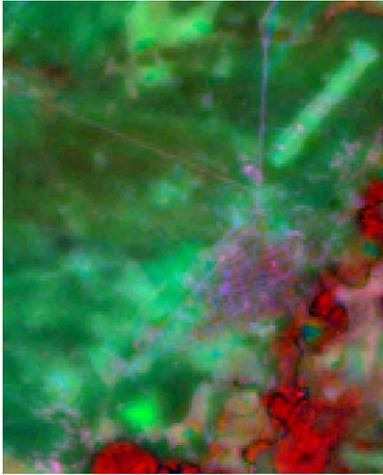
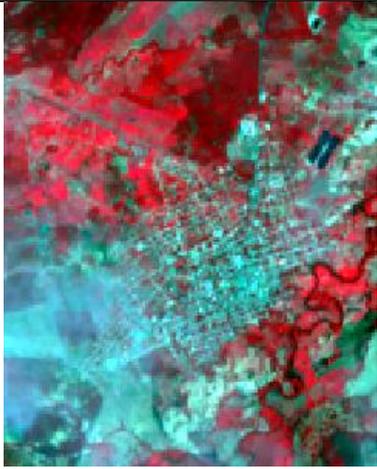
$r(j)$  = Valor de la matriz de correlación;

Abs = Valor absoluto.

El cálculo determinó las combinaciones espectrales que retienen alta variabilidad en los datos para la diferenciación de coberturas (ver Figura 7 y Figura 8), debido a que el mayor valor refiere una alta desviación estándar con baja correlación entre bandas (Qaid & Basavarajappa, 2008).

### Figura 7

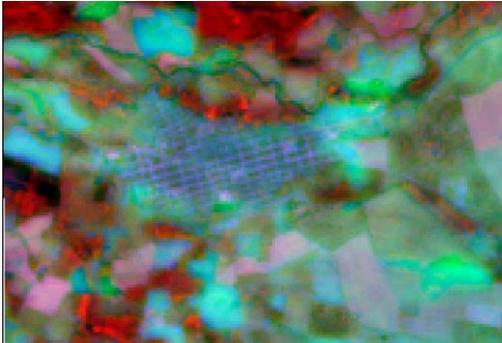
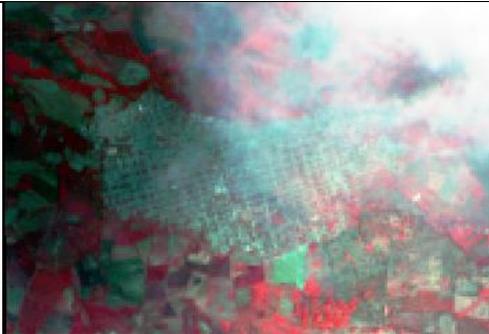
Imágenes del municipio de Barrancas con la combinación del OIF

|               |   |  |
|---------------|---|--|
| <i>Imagen</i> |   |   |
| <i>Año</i>    | 1985  | 2000   |
| <i>OIF</i>    | 113,5 [RGB 4-6-7]   | 37,1 [RGB 2-3-6]   |
| <i>Imagen</i> |  |  |
| <i>Año</i>    | 2014  | 2021   |
| <i>OIF</i>    | 34,6 [RGB 1-5-7]  | 65,2 [RGB 1-5-6]   |

Nota. Elaboración propia, 2022.

**Figura 8**

Imágenes del municipio de Fonseca con la combinación del OIF

|               |  |   |
|---------------|--|---|
| <i>Imagen</i> |   |   |
| <i>Año</i>    | 1985   | 2000  |
| <i>OIF</i>    | 166 [RGB 4-6-7]  | 38,2 [RGB 2-3-7]  |
| <i>Imagen</i> |  |  |
| <i>Año</i>    | 2014   | 2021  |
| <i>OIF</i>    | 50,8 [RGB 2-3-6]   | 106,1 [RGB 4-5-7]   |

*Nota.* Elaboración propia, 2022.

- **Mejoramiento de contraste**

Además de la combinación del índice óptimo, en ERDAS se procedió a aplicar realces espectrales de transformación de color por medio de la herramienta *RGB a IHS*, para discrepar en los colores a partir de sus propiedades de intensidad, tono y saturación, que propician la identificación de coberturas.

- **Clasificación supervisada**

El proceso de clasificación supervisada, comprendió la supervisión y control de los procesos de categorización de píxeles por medio de la especificación de muestras de entrenamiento (Franco, 2004), efectuando un análisis visual de las imágenes a través de la delimitación y selección de las áreas de muestra, donde se evalúan los resultados y se genera la salida gráfica representativa.

La clasificación supervisada de las imágenes de trabajo se hizo en ERDAS Imagine, a través de la opción de *Signature Editor* del menú Supervised, asignando por delimitación de figuras o polígonos áreas piloto a cada una de las coberturas o clases reconocidas en las imágenes, se tuvo en cuenta la definición de distintos polígonos para la misma cobertura y posteriormente se realizó la unión de estos, de modo que los rangos de niveles digitales se unificaran.

Teniendo en cuenta que el área de estudio es relativamente pequeña, para cada imagen se asignaron cinco [5] clases de coberturas (1: Cuerpos Agua, 2: Vías, 3: Zona urbana, 4: Vegetación y 5: Zona agrícola), apoyándose por la combinación RGB 7-6-4 [Falso color] para identificar de manera específica la incidencia de las edificaciones, la combinación 5-4-3 [Color infrarrojo] para observar de modo sobresaliente la vegetación y la combinación 6-5-2 en donde se visualiza de forma nítida la agricultura. Sin embargo, para el estudio solo se tuvo en cuenta el área definida como “zona urbana” con coloración gris (ver Tabla 10).

Se crearon puntos de control por cada clase determinada y se emitió un informe de precisión de la clasificación, realizando el ajuste en los casos correspondientes, hasta obtener un grado de exactitud superior al 85% para cada imagen.

#### 4.3.4 *Análisis multitemporal*

Con las imágenes clasificadas, se hizo la conversión de la superficie ráster en datos de entidades vectoriales a través de la herramienta *Raster to polygon* de ArcMap, para realizar el cálculo del área de zona urbana identificada por los puntos de control, para cada municipio en los cuatro (4) períodos definidos.

- **Tasa porcentual anual de cambio**

Para las coberturas identificadas se calculó la tasa porcentual anual de cambio, utilizando la fórmula de tasa estandarizada propuesta por Puyravaud (2003), quien la recomienda para medir la tasa anual de deforestación puesto que tiene un significado matemático y biológico, y no subestima la tasa anual de deforestación cuando los cambios son muy grandes y acelerados:

$$\rho = \frac{100}{t2 - t1} * \ln \frac{A2}{A1}$$

*Donde:*

$\rho$  = tasa de cambio expresada en porcentaje (%)

t1 = año de inicio del periodo de análisis

t2 = año de finalización del período de análisis

A1 = Área de la cobertura t1

A2 = Área de la cobertura t2

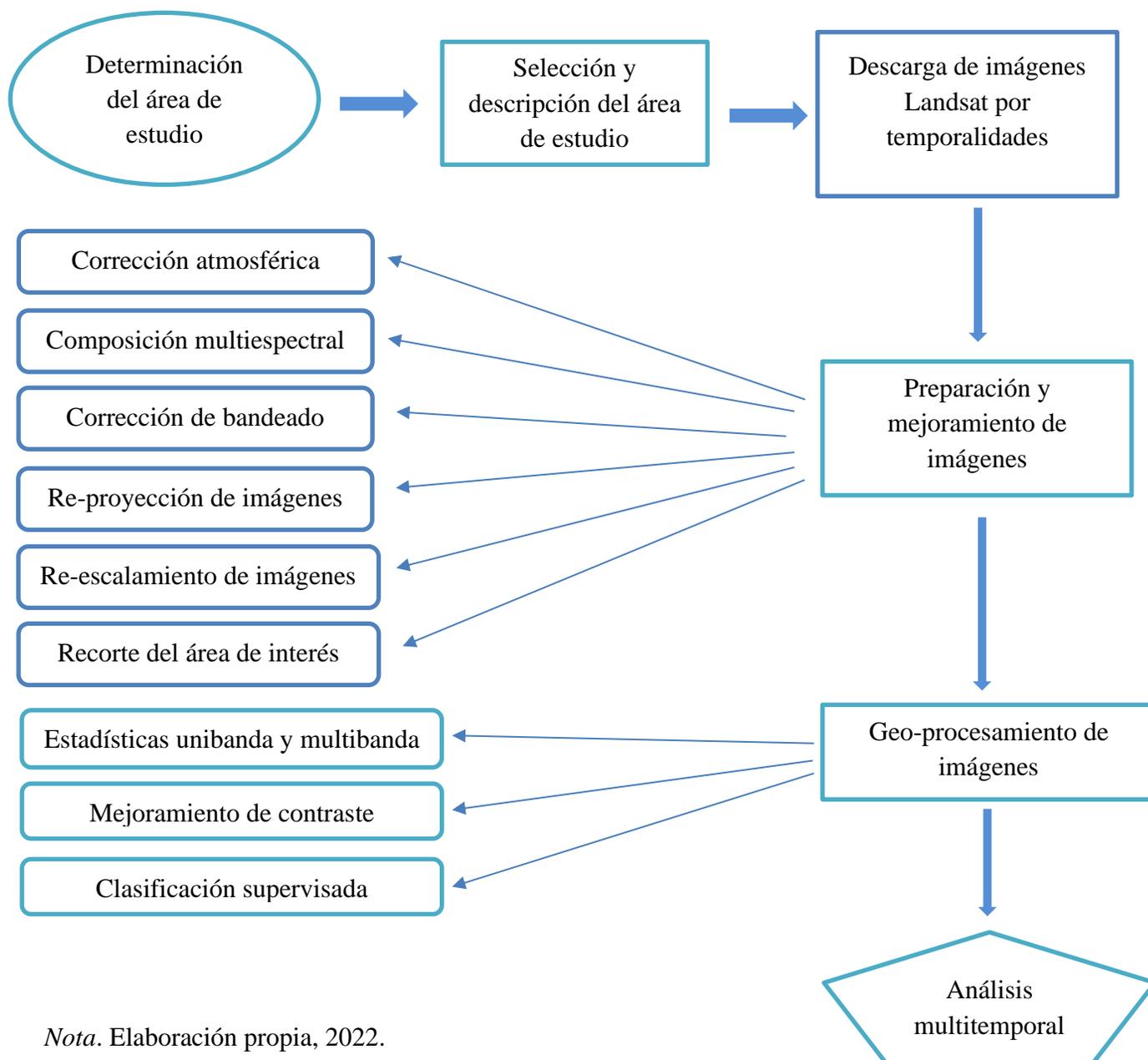
#### 4.3.5 *Cartografía temática*

Finalmente se generó la cartografía de cada zona con las áreas de expansión definidas, discriminado cada año mediante representaciones de color y polígonos del área con cobertura urbana, dicha información permitió efectuar los resultados y análisis del trabajo.

Conforme con la metodología descrita para el geoprocesamiento y análisis de las imágenes satelitales, en la Figura 9 se representa la secuencia lógica del proceso en un esquema gráfico.

**Figura 9**

*Esquema gráfico de la metodología de procesamiento de imágenes*



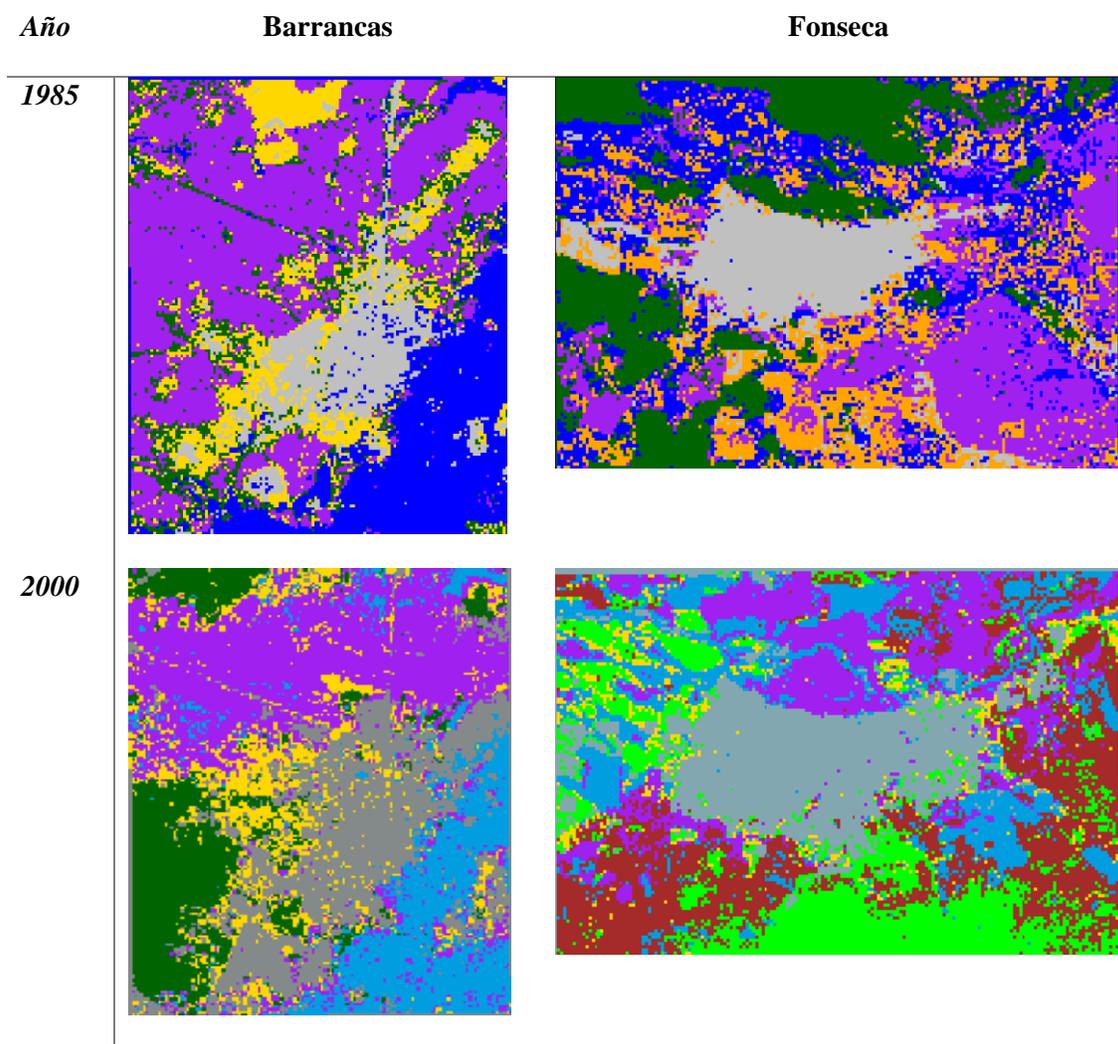
*Nota.* Elaboración propia, 2022.

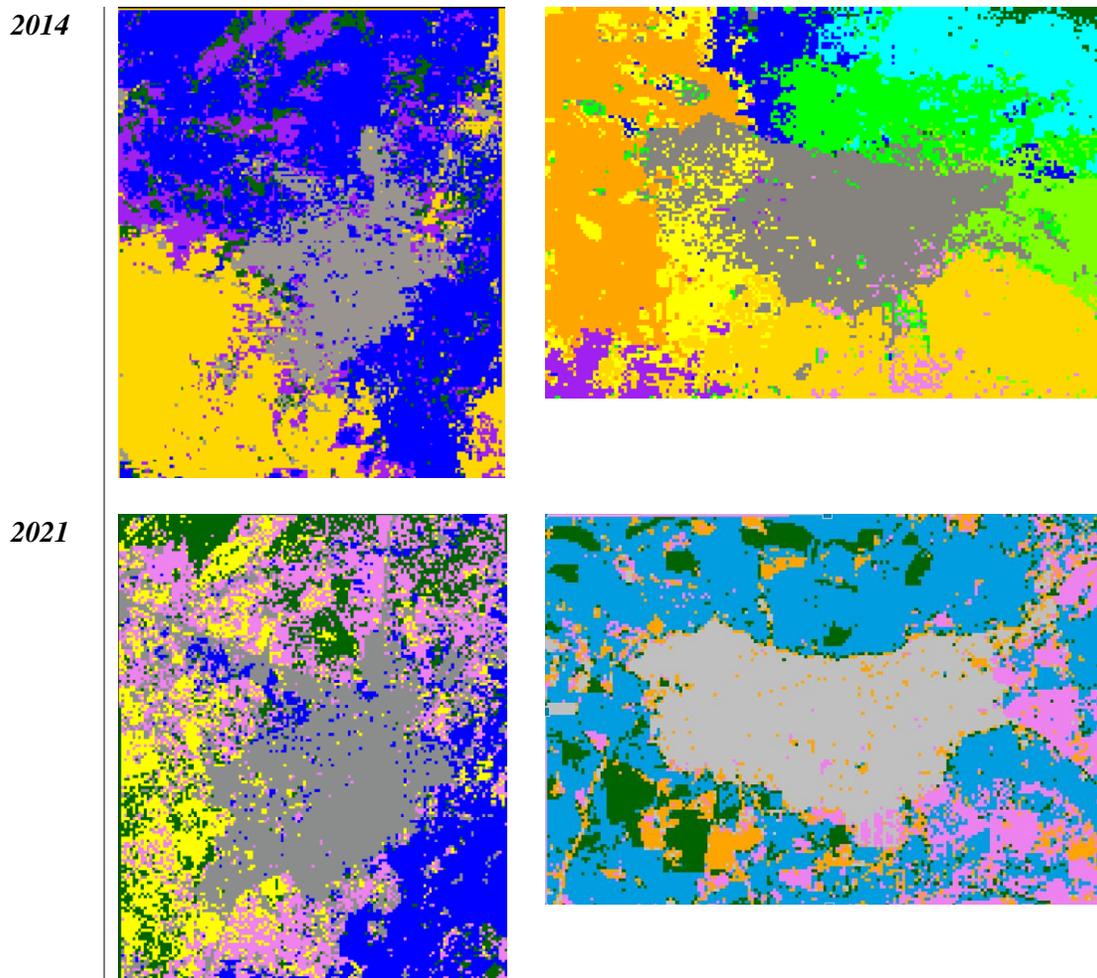
## 5. Resultados y discusión

De acuerdo con el procesamiento digital de imágenes satelitales y la metodología de la clasificación supervisada, se identificó las diferentes coberturas presentes en el área de estudio. En la Figura 10, se evidencia en color gris la variación del área urbana de los municipios de Barrancas y Fonseca para los diferentes períodos evaluados.

**Figura 10**

Coberturas identificadas para Barrancas y Fonseca por clasificación supervisada





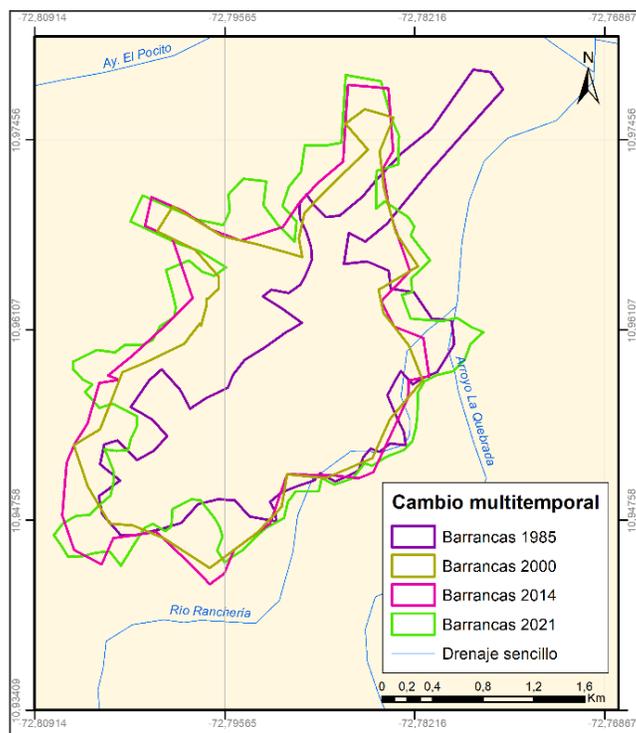
Nota. Elaboración propia, 2022

### **5.1 Cambio del área urbana de Fonseca y Barrancas en los años 1985, 2000, 2014 y 2021**

Se observó el cambio perimetral de la superficie de las cabeceras municipales, por medio del mapa de cambio de cobertura urbana de Barrancas (ver Figura 11) y de Fonseca (ver Figura 12), obtenidos a partir de la elaboración de los polígonos de cada año.

**Figura 11**

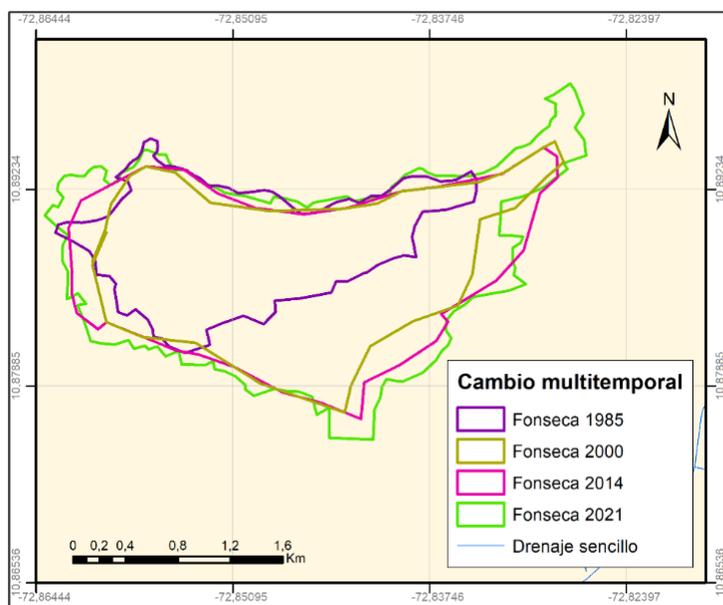
Mapa del cambio de área urbana identificado para Barrancas



Nota. Elaboración propia, 2022.

**Figura 12**

Mapa del cambio de área urbana identificado para Fonseca



Nota. Elaboración propia, 2022.

Lo anterior se pudo corroborar con el aumento del área urbana cuantificada para los años 1985, 2000, 2014 y 2021 (ver Tabla 4).

**Tabla 4**

Área de la cobertura urbana identificada en los municipios de Barrancas y Fonseca

| <i>Municipio/Año</i> | <b>1985</b> | <b>2000</b> | <b>2014</b> | <b>2021</b> |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Barrancas</i>     | 348,67      | 467,05      | 545,29      | 591,04      |
| <i>Fonseca</i>       | 223,95      | 349,68      | 418,65      | 488,57      |

*Nota.* Los valores de área se presentan en hectáreas (ha). Elaboración propia, 2022.

## **5.2 Análisis multitemporal de la cobertura urbana de Fonseca y Barrancas en los años 1985, 2000, 2014 y 2021**

Para el período de 15 años desde el año 1985 a 2000, la cabecera municipal de Barrancas pasó de 348,67 ha a 467,05 ha, arrojando un aumento de 118,38 ha de cobertura urbana; con respecto a Fonseca el área inicial fue de 223,95 ha y terminó en 349,68 ha para el año 2000, con una ganancia de 125,73 ha, dicho valor representa un cambio significativo para este municipio.

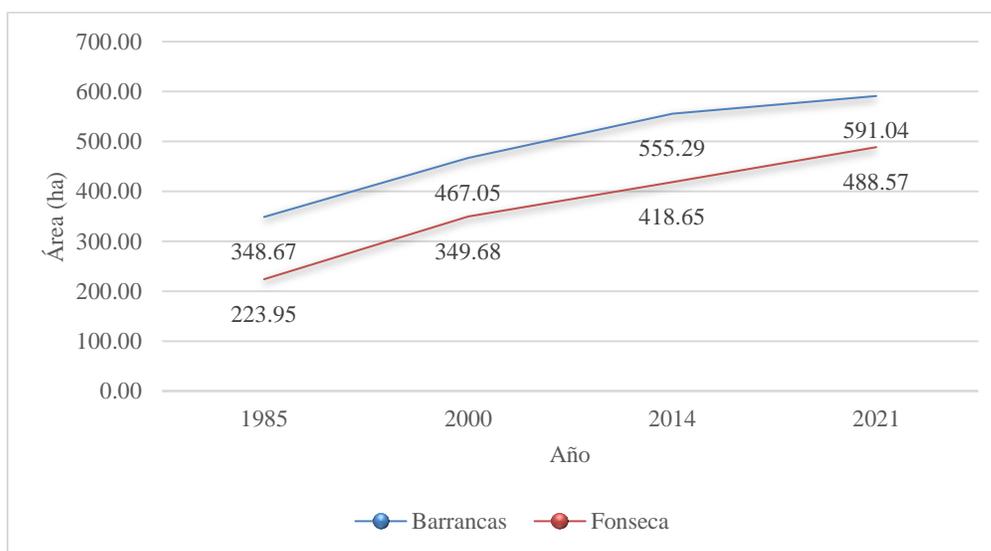
Para el segundo período evaluado de 14 años, comprendido entre los años 2000 y 2014, la zona urbana de Barrancas con un área de 467,05 ha creció a 555,29 ha, con una diferencia de 88,24 ha, presentando una mayor expansión hacia el norte con construcciones cercanas a la mina de carbón a cielo abierto del Cerrejón; en el caso de Fonseca, el área urbana del año 2000 de 349,68 ha pasó en 2014 a 418,65 ha, con un incremento de 68,97 ha, extendiéndose hacia el occidente.

El tercer período, comprendido entre los años 2014 y 2021, presenta un crecimiento en Barrancas de 35,75 ha, pasando de 555,29 ha a 591,04 ha; respecto a Fonseca, se evidenció un aumento de 69,92 ha, donde 418,65 ha del 2014 se convirtieron en 488,57 ha para el 2021.

La mayor diferencia de área urbana identificada para los municipios de Barrancas y Fonseca se concentra en el período comprendido entre los años 1985 y 2000, con un incremento de área de 33,95 % para Barrancas y 56,13 % para Fonseca. Con respecto a los años 2000 a 2014 se observa que el área aumentó en 18,19 % para Barrancas y 19,72 % para Fonseca. Finalmente, para el último período evaluado (2014 a 2021) se evidencia que la zona urbana de Barrancas y Fonseca creció en 6,43 % y 16,70 % respectivamente (ver Figura 13).

### Figura 13

Crecimiento multitemporal del área urbana de Barrancas y Fonseca.



*Nota.* Elaboración propia, 2022.

- **Tasa anual de cambio de coberturas**

El análisis de las imágenes satelitales de forma aritmética tomó como referencia los valores del área urbana de los municipios teniendo en cuenta los años seleccionados. En este sentido, la tasa anual de cambio de coberturas se generó con base en las imágenes satelitales previamente procesadas e interpretadas.

La fórmula de Puyravaud (2003) que indica de forma estandarizada la tasa anual de cambio de la cubierta forestal (o su opuesto, la tasa anual de deforestación), permitió calcular la tasa de cambio del área urbana identificada (ver Tabla 5).

**Tabla 5**

Tasa porcentual anual de cambio de la cobertura urbana de Barrancas y Fonseca

| <i>Municipio</i> | <i>Período analizado</i> |                  |                  |
|------------------|--------------------------|------------------|------------------|
|                  | <i>1985 - 2000</i>       | <i>2000-2014</i> | <i>2014-2021</i> |
| <i>Barrancas</i> | 1,95                     | 1,24             | 0,89             |
| <i>Fonseca</i>   | 2,97                     | 1,29             | 2,21             |

*Nota.* Los valores se expresan en porcentaje (%). Elaboración propia, 2022.

El municipio de Fonseca presenta una tasa anual de cambio de coberturas que alcanza más de 2% en el período de 1985 a 2000 y de 2014 a 2021, siendo el mayor índice registrado. Por otra parte, el municipio de Barrancas expresa valores inferiores a 2% en todos los casos, siendo los años 2014 a 2021 los de menor crecimiento (0,89%).

Lo anterior demuestra que entre los años 1985 y 2000 se constituye el índice de mayor expansión urbana en ambos municipios.

La tasa anual de cambio basada en Puyravaud (2003) se fundamenta en la metodología propuesta para la interpretación de imágenes satelitales y teniendo en cuenta que las imágenes

utilizadas fueron seleccionadas por tener el menor porcentaje de nubosidad y ser de mejor resolución, y el total de la cobertura presente en el área de estudio fue interpretada, los resultados descritos representan buena confiabilidad, superando el 87% de interpretación sugerido por SENPLADES (2013)

El crecimiento del área urbana para los años 1985, 2000, 2014 y 2021 es el reflejo del desarrollo de los municipios de Barrancas y Fonseca por la influencia de posibles factores socioeconómicos, donde ambos municipios demostraron una marcada expansión de su cobertura urbana y se proyecta que esta continúe aumentando en el tiempo.

Aunque se observa un crecimiento relativamente acelerado, dichas zonas están dispuestas para ser expandidas según el EOT de Barrancas, La Guajira 2002 – 2010 y el EOT de Fonseca, La Guajira 2004 – 2015, sin embargo, en estos se mencionan que el crecimiento debe ser de forma controlada.

De otra parte, se destaca que, durante el procesamiento de las imágenes la expansión desarrolló en zonas alternas a los cuerpos de agua, principalmente la rivera de los arroyos Tobial y Arenoso, no obstante, la predominancia de las zonas de vegetación propia de bosques de galería y/o ripario fue disminuyó en el período analizado.

De acuerdo con Carreño-campo, C. y Alfonso, W. H. (2018), el metabolismo urbano es la dinámica de urbanización y crecimiento de la ciudad latinoamericana que obedece a diversos factores geográficos, económicos y sociales, según los autores las tasas de crecimiento de las zonas urbanas se refieren a la ampliación de la disponibilidad de recursos de una población y cómo estos pueden ser manejados para la importación de ellos mismos. En este sentido, la expansión urbana identificada para los municipios de Fonseca y Barrancas en el período comprendido entre 1985 y 2014, fue influenciada principalmente por proyectos de vivienda,

escenarios deportivos y equipamiento vial, según lo mencionado en los Esquemas de Ordenamiento Territorial de cada municipio, sin embargo, las industrias mineras ha sido uno de los pilares para el crecimiento urbano. De otra parte, dentro de la expansión urbana de los dos [2] municipios se presentan asentamientos ilegales debido a la alta influencia de flujo de migrantes, esto hace referencia al concepto mencionado Carreño-campo, C. y Alfonso, W. H. (2018) en su análisis referente a la dinámica de urbanización y crecimiento y el metabolismo urbano.

### **5.3 Análisis de la dinámica socioeconómica en la expansión urbana de Fonseca y Barrancas entre los años 1985 y 2021**

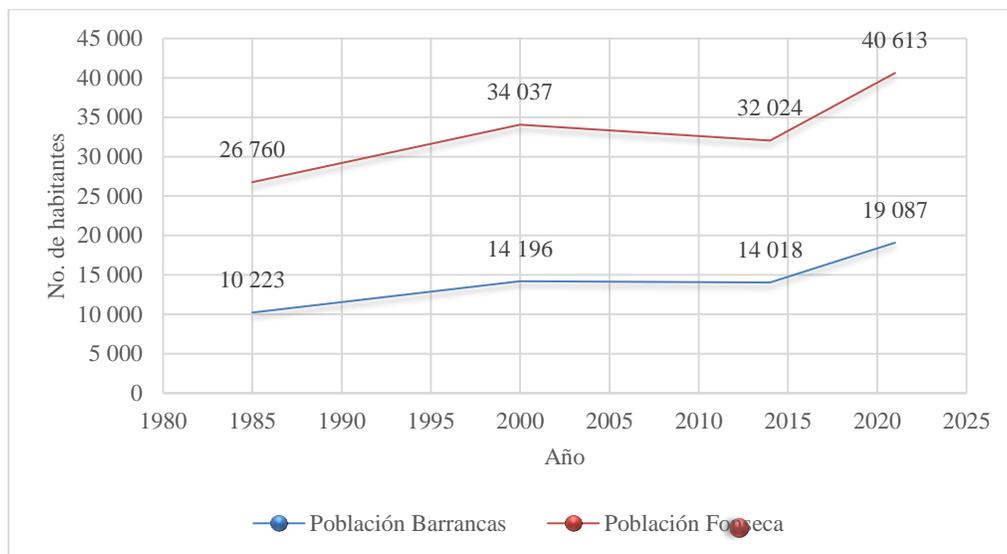
- **Población**

A partir del resultado anterior, se tomaron como referencia las Proyecciones y retroproyecciones de población municipal para el período 1985-2017 y 2018-2035 del Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV 2018 (DANE, 2020) que indican que los municipios de Barrancas y Fonseca han presentado un crecimiento poblacional del 86,71% y 51,76% entre los años 1985 y 2021, respectivamente.

Según los datos del DANE (2020) se puede corroborar que durante el período de 1985 y 2000 hubo un incremento en la población de 38,86 % para Barrancas y 27,19 % para Fonseca, sin embargo durante los años 2000 a 2014 hubo una reducción en el número de habitantes en ambos municipios, con una proyección negativa de -1,25 % para Barrancas y -5,91 % para Fonseca, no obstante para los años de 2014 a 2021 volvió a aumentar la población en Barrancas con 36,18 % y en Fonseca con 26,82 %, porcentaje similar al incremento poblacional del primer período evaluado (ver Figura 14).

**Figura 14**

Población de la cabecera municipal de Barrancas y Fonseca.



*Nota.* Proyección y retroproyección poblacional municipal para el período 1950-2017 y 2018-2035 con base en el CNPV 2018. Adaptado del DANE (2020).

Con respecto al crecimiento del área de la cabecera municipal establecida en la identificación de cobertura urbana y la población de cada municipio, se puede asociar una relación de incremento para el período de 1985 a 2020 y 2014 a 2021, sin embargo, para los años de 2000 a 2014, aunque la superficie de área creció, la población se redujo o mantuvo en este tiempo. Entre el período de 2014 a 2021 fue el de mayor tasa de crecimiento poblacional para Barrancas (724 hab/año) y el período de 1985 a 2000 fue el mayor cambio anual de población para Fonseca (485 hab/año), sin embargo, se demuestra que el crecimiento del área urbana no es directamente proporcional al crecimiento de la población en estos municipios.

Cabe mencionar que el departamento de La Guajira históricamente ha presentado la mayor incidencia de pobreza monetaria del país, que, según la última medición del DANE (2020) corresponde con un índice de 66,3% (el mayor índice nacional), así mismo, el departamento para

este mismo año reportar el más alto Índice de pobreza extrema del país, alcanzando un valor de 39,7% (Estudio Socioeconómico de La Guajira-2021), no obstante, el cambio poblacional y la expansión urbana está en aumento.

- **Migración extranjera**

De acuerdo con el Estudio Socioeconómico de La Guajira-2021, el 72% de los habitantes de La Guajira son oriundos del departamento, 22% proviene de otros departamentos, un 6% es natural de otro país, siendo uno de los mayores departamentos con presencia de extranjeros. Siendo los municipios con mayor presencia de habitantes extranjeros de nacionalidad venezolana Fonseca (9,7%), Albania (7,7%), Riohacha (7,7%) y Barrancas (5,6%).

La emigración venezolana tiene sus primeros inicios en 1983 luego del colapso de los precios del petróleo, sin embargo, durante la década de 2010 se intensificó debido al estallido de la crisis económica en Venezuela, la crisis migratoria venezolana tuvo un incremento del flujo descontrolado de personas procedentes de este país en Colombia y particularmente en la Guajira, notablemente en el año 2015.

Según lo reportado por Migración Colombia (2021), La Guajira es el quinto departamento de Colombia con mayor concentración de población venezolana, con un total de 150.806 habitantes extranjeros que corresponde al 8,65% nacional, donde 5.325 hab. se encuentran en Barrancas y 11.873 hab. en Fonseca.

- **Economía**

Según el Estudio Socioeconómico de La Guajira 2017-2019, se indica que la economía de La Guajira ganó peso dentro de la economía nacional debido a la extracción del carbón, con una participación del 1% en el total nacional del PIB desde 1990 hasta la actualidad. Asimismo, en la actualidad el departamento depende principalmente del sector minero-energético,

específicamente de la explotación de recursos naturales como la sal, el gas y el carbón de cuya explotación operan empresas como Cerrejón S.A., Ecopetrol, Chevron y Promigas. Siendo la extracción de carbón el de mayor representatividad, generando 4.752 miles de millones de pesos durante el 2018.

El Estudio Socioeconómico de La Guajira-2021 reportó al municipio de Barrancas como el de mayor aporte al PIB departamental, donde según cuentas nacionales del DANE, para 2019 este municipio aportó un valor de \$3.113 miles de millones de pesos a la economía de La Guajira, cuyos recursos se derivan principalmente de actividades primarias como la explotación de minas y canteras, mientras que Fonseca registró un PIB \$206 miles de millones de pesos.

En 1976 se firmó el Contrato entre Carbocol S. A. (Carbones de Colombia S. A.), empresa del Estado colombiano, e Intercor (International Colombia Resources Corporation Intercor), filial de la Exxon en ese entonces (hoy ExxonMobil), para el desarrollo del proyecto de Cerrejón. Sin embargo, la época de producción de la mina de carbón del Cerrejón fue desde el año 1986.

El complejo carbonífero o mina del Cerrejón, es el yacimiento de carbón más grande de Latinoamérica y tercero del mundo, que permite la extracción de carbón térmico a cielo abierto; se localiza en la cuenca del río Ranchería, en la jurisdicción de la Baja Guajira entre los municipios de Albania, Fonseca y principalmente Barrancas.

Dicho suceso surte un impacto importante, debido a que es la primera influencia sobre la zona urbana de los municipios evaluados, donde se referencia un año en donde aún no funciona de manera directa el Cerrejón (1985) y otorga los cambios antes durante y después (Silva, 2010).

Para el año 2000 el Cerrejón inicia con el programa de rehabilitación de tierras intervenidas por la minería, además que fue una exigencia legal en el país, brindó diversas oportunidades laborales a la población. Además, en este año se realizó la fusión de Intercor con

Carbones del Cerrejón S.A. y se cambió la razón social a Carbones del Cerrejón LLC (hoy Carbones del Cerrejón Limited) (Silva, Historia Cerrejón). La mina Cerrejón alcanzó los 34,2 millones de toneladas en 2014, según informó la compañía (Historia\_Cerrejón) fue uno de los años con más producción.

- **Turismo**

El departamento de La Guajira se posiciona entre los destinos preferidos por los viajeros nacionales y extranjeros de acuerdo con cifras del Centro de Información Turística de Colombia CITUR-MINCIT, desde el 2016. En 2019 La Guajira recibió un total de 123.221 pasajeros nacionales y 3.340 pasajeros internacionales por vía aérea, registrando un crecimiento de 179% y del 50% respectivamente, frente a lo reportado en el 2018 (Estudio Socioeconómico de La Guajira-2021), lo anterior contribuye a la realización de proyectos de infraestructura que permiten el crecimiento del turismo tanto municipal como departamental, que influyen en la expansión de la frontera urbana.

## 6. Conclusiones

El análisis multitemporal de los Municipios de Fonseca y Barrancas del departamento de La Guajira realizado mediante el uso de imágenes satelitales, en este caso utilizado el satélite Landsat de descarga libre utilizadas para el desarrollo de este estudio, presentaron la información necesaria para generar para identificar la cobertura urbana de los municipios de Fonseca y Barrancas en los años 1985, 2000, 2014 y 2021. y evidenciar la expansión urbana de estos municipios.

Analizando la dinámica de los Municipios de Fonseca y Barrancas en los años de 1985, 2000, 2014 y 2021 con la metodología de un análisis multitemporal se evidencia un aumento de las zonas urbanas con tendencia al norte del casco urbano en los dos Municipios con una tasa anual de cambios de cobertura proporcional con el crecimiento anual de la población.

La dinámica de la expansión urbana de los municipios de Fonseca y Barrancas entre los años 1985, 2000, 2014 y 2021 evidencia un aumento superior en el municipio de Barrancas con respecto al municipio de Fonseca. Las imágenes satelitales logran proporcionar información referente al incremento de la tasa anual de cambio de cobertura con una tendencia al norte de las zonas evaluadas, donde los polígonos resultantes de la interpretación coinciden con las áreas generadas y con el porcentaje de su tasa de cambio, lo cual demuestra un incremento lineal a través del tiempo.

## Referencias bibliográficas

- Alvaro Romero Guerrero Presidente Ejecutivo. (2021). Camara de Comercio de la Guajira Informe socioeconomico.*
- Cardozo, O. D., & da Silva, C. J. (2013). Aplicaciones urbanas de los sensores remotos. Geográfica Digital, 10(20), 1. <https://doi.org/10.30972/geo.10202210>*
- Castillo, I. M., & Rodríguez, M. Á. (2017). Dinámica multitemporal de las coberturas. Revista Mutis, 7(1), 20–33. <https://doi.org/10.21789/22561498.1183>*
- Carreño-campo, C. y Alfonso, W. H. (2018). Relación entre los procesos de urbanización, el comercio internacional y su incidencia en la sostenibilidad urbana.*
- Chalía, R. ", & Arregocés De Solano, ". (Esquema Ordenamiento Territorial Barrancas Municipio. ).*
- Cidea. Plan de Desarrollo Municipio de Barrancas Departamento de la Guajira.*
- Dane. (2000, May 5). DANE. Datos Demograficos.*
- Desempeño Económico del Departamento de La Guajira Frente a los Objetivos de la Agenda 2030. (n.d.). [www.camaraguajira.org](http://www.camaraguajira.org)*
- DIGITAL IMAGE PROCESSING A Remote Sensing Perspective. (n.d.-a).*
- División Política Administrativa Guajira 2022.*
- Finalisis Multitemporal Satelital de los Bosques de. opón mediante imágenes lfindsrt de 1991 y 2002*
- La Guajira Colombia Guía Turística. Agencia Nacional Turismo Info-Gobernacion-La-Guajira.*
- La Percepción Remota y el Análisis del Espacio Geográfico Néstor Catuna*
- Lonie Garzón Freyle, C., Ismael Díaz Jiménez Alberto Mario Cuan, Y., Ricardo Ripoll Parejo Jairo Alfonso Aguilar Deluque, J., Uldarico Gutiérrez Iguarán Alberto Carlos Ariza Cujia, I., Robles Núñez Rosario Moscote Suarez, C., Henríquez Iguarán Aldo Annicharico Daza, C., Ureche Mejía Rocío Isabel Peñaranda Pérez, M., Victoria Andrade Contreras Carlos Celedón Dangond, M., León Vanegas Raisa Zubiria Niebles, M., Castaño Gómez Darlin Rodríguez Figueroa, J., Emilio Sierra Enrique Urbina Suarez, J., Iguarán González Astrid Yolanda Herrera Gómez, W., Daza Oñate Jesús Cotes Gómez, C., Montero Daza Néstor José Henríquez Valdeblanquez, J., Inmaculada Meza Barros Jhon Bleiner Muñiz Rodríguez, X., Pulido Fajardo Amalfis Josefina Hernández Ureche, A., & María Gámez Día, I. (2020). EQUIPO DE GOBIERNO DEPARTAMENTAL NEMESIO RAÚL ROYS GARZÓN Gobernador de La Guajira.*

- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. In *International Journal of Remote Sensing* (Vol. 28, Issue 5, pp. 823–870). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Mauricio, M. S., & Maturana-Miranda, F. (2019). Analysis of spatial patterns: In the urban expansion of middle-sized cities. The case of San Fernando, Chile. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 12(24). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-24.apee>
- Monitoreo del Crecimiento Urbano Mediante Imágenes Satelitales Landsat, caso de estudio Rionegro, Antioquia Luis Francisco González Espinosa.
- Municipal\_area\_1985-2020 Proyecciones Dane 2018
- Murad Rivera, R., CELADE (Organization). División de Población., United Nations Population Fund., & United Nations. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. (2003). *Estudio sobre la distribución de la población en Colombia*. ECLAC.
- Ortiz, A. M., Medina, P., & Pachón, J. D. (n.d.-c). *La Guajira Caracterización Departamental y municipal Informe presentado a Cerrejón Minería responsable Investigadora*.
- Puyravaud, J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1–3), 593–596. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)
- REPUBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA ALCALDÍA MUNICIPAL FONSECA. (ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE FONSECA 2004-2017 LIBRO I - DIAGNOSTICO).
- REPUBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA ALCALDÍA MUNICIPAL FONSECA TABLA DE CONTENIDO. LIBRO III. COMPONENTE URBANO
- Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 Riohacha, La Guajira.
- Retos y desafíos para el Desarrollo Sostenible <https://sicodis.dnp.gov.co>.
- Romero, Á., Ejecutivo, G. P., Madero, N. E., Omaira, N., de Lizarazo, Q., Escudero, A. N., Idalmis, F., Ricciulli, Y., Zulma, P., Peñaranda, R., Noris, T., Rosado, E., Miriam, B., Correa, E., Rafael, L., Melo, F., Manuel, J., Cotes, V., Ballesteros, G. I., ... Económico, F. I. (n.d.-b). *Informe Socioeconómico del Departamento De La Guajira 2020 Cámara de Comercio de La Guajira*. [www.camaraguajira.org](http://www.camaraguajira.org)
- Romero, Á., Ejecutivo, G. P., Madero, N. E., Omaira, N., de Lizarazo, Q., Escudero, A. N., Idalmis, F., Ricciulli, Y., Zulma, P., Peñaranda, R., Noris, T., Rosado, E.,

- Miriam, B., Correa, E., Rafael, L., Melo, F., Manuel, J., Cotes, V., Ballesteros, G. I., ... *Económico, F. I. (n.d.-c). Informe Socioeconómico del Departamento De La Guajira 2021 Cámara de Comercio de La Guajira. [www.camaraguajira.org](http://www.camaraguajira.org)*
- Santiago, D. E., & Cali, D. E. *Análisis Multitemporal de la Expansión Urbana del Municipio.*
- SENPLADES (2013). *Tasa de deforestación.*
- Silva, C. P. *El proyecto del Cerrejón: un espacio relacional para los indígenas wayuu, la empresa minera y el Estado colombiano 1.*
- Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (1993). *Image Processing, Analysis and Machine Vision. In Image Processing, Analysis and Machine Vision. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3216-7>*
- Tema 3 Fotointerpretación. Geología y Geomorfología.  
<https://www.um.es/geograf/sig/teledet/fotogeol.html>