

# Viabilidad del uso de sensores remotos en la caracterización de asentamientos carenciados en Colombia

Gabriel Felipe Riaño-Cubides

Universidad De La Salle Bogotá, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

griano04@unisalle.edu.co

**Resumen.** UN-HABITAT recomienda el uso de herramientas espaciales como los SIG y los sensores remotos para documentar a través de mapas las condiciones de los asentamientos carenciados para así analizar sus retos y necesidades ambientales y socioeconómicas; con el fin de priorizar intervenciones pertinentes. En este trabajo se analizó la viabilidad del uso de sensores remotos lejanos y cercanos (satélites y RPAS, comúnmente conocidos como drones) para la determinación de las condiciones de los asentamientos así como la identificación de los materiales predominantes presentes mediante la interpretación básica de los elementos de la imagen a partir de su respuesta espectral, como índices gráficos de áreas construidas (para las imágenes satelitales) y algoritmos de clasificación supervisada y no supervisada disponibles en software SIG (para las imágenes obtenidas con RPAS). Esto con el objetivo de establecer una metodología rápida, económica y accesible a los pequeños municipios para diagnosticar la evolución y patrones de crecimiento a través de un análisis multitemporal; en especial en edades tempranas, lo que les será útil a los tomadores de decisiones para plantear acciones que permitan proyectar a futuro los asentamientos desde sus etapas iniciales, ya que en Colombia estos se consolidan en los primeros 5 años. Se encontró que el índice de área construida BSI (*Built-up Surface Index*) es efectivo para monitorear el crecimiento de asentamientos a través de información satelital de libre acceso de una manera rápida y eficaz (con una subestimación del 6.5% del área establecida manualmente a partir de imágenes RGB). Por otro lado, la herramienta de clasificación supervisada y no supervisada aplicada únicamente en imágenes de RPAS permite conocer la proporción en la que se presentan ciertos materiales de construcción y su distribución espacial dentro de los asentamientos.

**Palabras clave:** Asentamiento Carenciado, Índice de área construida, Sentinel-2, Dron.

## 1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

Según la ley colombiana, los municipios deben formular planes de ordenamiento del territorio reglamentando de manera específica los usos del suelo disponible en armonía con las políticas nacionales, departamentales y metropolitanas definidas a partir de los lineamientos establecidos por UN-HABITAD (United Nations Human Settlements Programme), institución que dirige sus esfuerzos a cumplir el ODS N°11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. (DNP, 2015). De acuerdo con esta organización, un asentamiento carenciado corresponde a las áreas habitadas sin acceso al acueducto y alcantarillado, insuficiente área común, baja durabilidad de materiales y/o la no tenencia de la propiedad. Los municipios no cuentan con un sistema riguroso en su identificación por falta de recursos, por lo que el número reportado no siempre es exacto (Corporación Opción Legal; CENAC, 2018). Por tal motivo, se requiere del diseño de instrumentos y/o procedimientos de bajo costo que permitan a los actores gubernamentales a nivel local tener información de calidad, en periodos de tiempo cortos y de fácil implementación

que permitan orientar decisiones respecto a la formación y crecimiento de asentamientos carenciados. El desarrollo de este instrumento de decisión concuerda con los ODS 11.1, 11.3 y 11.a con respecto al mejoramiento de los barrios marginales, el aumento de la capacidad la planificación y el fortalecimiento de las dinámicas urbanas, periurbanas y rurales respectivamente.

## 2 Objetivo

a) Analizar el potencial de los sensores remotos (satélite y RPAS) en la identificación y caracterización de asentamientos carenciados en Colombia.

b) Evaluar las capacidades en la detección de áreas construidas a partir de información satelital de acceso libre correspondiente a la misión Sentinel-2 a cargo de la ESA (*European Space Agency*).

c) Estimar la evolución del crecimiento anual del área ocupada por el asentamiento El Paraíso, Mocoa mediante el índice de área construida BSI usando imágenes de la misión Sentinel-2.

d) Determinar la usabilidad de las herramientas de clasificación de respuesta espectral disponibles en el software SIG (Sistemas de Información Geográfica) para la identificación de materiales en asentamientos carenciados a partir de imágenes producidas por RPAS (*Remotely-Piloted Aircraft*).

e) Examinar la viabilidad de acceso a información libre de calidad respecto a las dinámicas espaciotemporales en el territorio colombiano, considerando la nubosidad, la frecuencia y el número de imágenes.

## 3 Propuesta de solución

En primer lugar, se hizo una revisión de las características a los satélites de acceso abierto y comercial, teniendo en cuenta su resolución espacial (RE) y temporal. Así se eligió utilizar los registros de la misión Sentinel-2 debido a que posee la mejor resolución espacial (10m) disponible de manera abierta. Para establecer las dinámicas espaciotemporales, se evaluaron los metadatos de todos los registros respecto a su nubosidad, frecuencia, cantidad y sobreposición en el territorio nacional mediante el sitio web EOCompass desarrollado por Sudmanns, Tiede, Augustin, & Lang en 2020. Se plantearon diferentes indicadores espectrales de área construida a partir de las formulaciones resumidas por Pandey & Tiwari (2020) entre otros. Se decidió analizar dos asentamientos: el primero, Santa Cecilia, ubicado en Bogotá DC; y el segundo, El Paraíso, ubicado al sur de la ciudad de Mocoa, Putumayo. Ambos presentan características espaciotemporales muy diferentes; pues mientras el primero tiene un desarrollo de por lo menos 20 años en los cerros orientales, el segundo surgió en un área selvática a partir de la reubicación de 61 familias que residían en el asentamiento Villa Rosa el cual sufrió un movimiento en masa en 2012 (Buitrago, 2019). El asentamiento bogotano fue utilizado con el fin de testear los índices planteados, mientras que en el de Mocoa se aplicaron las herramientas más efectivas en un análisis multitemporal, desde su génesis hasta su estado actual. Por otro lado, se identificaron las capacidades del dron DJI Phantom 3 con el fin de establecer la resolución espacial y el área captada en función de la altura en la que opera. Este dispositivo fue utilizado para registrar el asentamiento El Paraíso en 2016, evaluando sus patrones de crecimiento e indicadores de distribución espacial a través de análisis de imágenes VIS (visual) adquiridas con este. En cualquier caso, su resolución espacial siempre será inferior a 1 m, clasificándolo como un sensor de muy alta resolución (VHR- Very High Resolution),

estos registros se usaron con el fin de evaluar la efectividad de los algoritmos de clasificación supervisada y no supervisada del software ArcGIS 10.5®.

#### **4 Discusión de resultados e impactos obtenidos**

Para las condiciones en el territorio nacional, se concluye que las zonas con registros más factibles al análisis se localizan en la costa caribe y el norte de los llanos orientales. Por otro lado, las zonas con condiciones más desfavorables son la zona pacífica y la andina, siendo esta última donde se concentra la mayor parte de la población. A pesar de las condiciones particulares de las zonas geográficas es importante considerar a todos los registros útiles, independientemente de su porcentaje de nubosidad, siempre y cuando el área de interés este despejada.

Con respecto al procesamiento de las imágenes RGB obtenidas de Sentinel-2 se establece que la resolución espacial (10m) no es suficiente para diferenciar visualmente las casas, caminos, materiales, etc.; no obstante, es posible apreciar el cambio de la cobertura vegetal y la urbana. Otras combinaciones de banda (Urbano, SWIR e Infrarrojo) logran generar un realce de esta frontera, cambiando el contraste y el color de cada textura; sin embargo, obtener las áreas diferenciadas resultantes requiere un proceso de clasificación supervisada, lo que limita una extracción directa de los datos generados. Por otra parte, los índices de área construida generados a partir de operaciones con bandas (NDVI, NDBI, MNDWI, NBI, MBI, BSI) brindan como resultado un ráster de una sola banda, el cual permite clasificar rangos de píxeles a criterio del usuario o de forma automática.

En el mejor de los casos, los índices NDVI, MBI y NBI logran identificar el área del asentamiento de forma general, tal como las composiciones de banda mencionadas (Urbano, SWIR, Vegetación); sin embargo, los índices MNDWI y BSI logran detallar la discretización de texturas dentro del asentamiento, siendo este último el que muestra un desempeño notablemente mejor en comparación a los demás índices. Adicionalmente, se estableció que índice NBI logra discretizar bajo ciertos rangos las áreas con desarrollo urbano irregular sin detallar con exactitud la extensión de las mismas, lo que indica que este índice es útil para alertar la presencia de viviendas carenciadas en determinada locación, mas no es capaz de determinar con exactitud el área que ocupan, como si lo logra el índice BSI.

A partir del análisis realizado en el asentamiento El Paraíso, se encontró que los rústers BSI obtenidos a partir de Sentinel-2 resultan ser 20% más efectivos que los de Landsat, detectando correctamente el 80% del área asentamiento. Mediante el análisis multitemporal se pudo establecer numéricamente el crecimiento del asentamiento con una subestimación del 6.5% en promedio con respecto al área manualmente establecida a partir de la imagen satelital RGB; proceso que tomó considerablemente más tiempo que el cálculo del índice BSI.

Cabe añadir que el índice BSI no es sensible al proceso de deforestación pues su capacidad se limita a detectar áreas plenamente denudadas. Al momento de tratar las imágenes obtenidas del RPAS con clasificaciones supervisadas se encontró efectividad en la determinación de las proporciones en las que se presentan los materiales y donde se ubican aproximadamente; no obstante, no es útil para medir con precisión la magnitud del área que ocupan. Con respecto a la clasificación no supervisada se encontró que la herramienta Iso Cluster puede diferenciar efectivamente la cobertura natural del suelo denudado y las áreas construidas, condensando estos dos últimos en una sola clase, la cobertura antrópica. Por otra parte, Principal Components logra diferenciar efectivamente las tres texturas, con el inconveniente de que el ráster resultante debe ser sometido

a una clasificación supervisada, pues no se pueden obtener los polígonos correspondientes de forma directa. Uno de los mayores inconvenientes que afronta esta herramienta es la obstrucción en la visibilidad de las superficies hecha por las sombras y la discretización de texturas con respuestas espectrales parecidas. La efectividad en la medición de cada material está fuertemente ligado al contraste que exista entre las texturas y por lo tanto de las condiciones óptimas de iluminación en la escena a evaluar.

## 5 Conclusiones y perspectivas futuras

En definitiva, se puede establecer que el sensor remoto lejano de acceso abierto Sentinel-2 (con una RE=10m) es útil para determinar el crecimiento de asentamientos carenciados a través de registros multitemporales de una manera rápida y eficaz mediante el índice BSI desarrollado por Sameen y Pradhan en 2016, teniendo en cuenta una subestimación promedio del 6.5% con respecto al área establecida manualmente a partir del registro RGB.

Adicionalmente, los sensores remotos cercanos como los drones permiten el análisis detallado de la proporción en la que se presentan ciertos materiales en el asentamiento carenciado, además de la distribución de las viviendas, permitiendo hacer un diagnóstico de manera rápida y económica. A futuro se recomienda la evaluación del índice BSI utilizando registros del satélite Sentinel-2C, el cual tiene programado su lanzamiento a 2022 (NASA, 2020), así como también los registros de Landsat-9 si estos llegaran a mejorar su resolución espacial. Por último, se recomienda explorar la difusión de esta metodología mediante servicios en la nube (Google Earth Engine Apps) para poder garantizar el alcance de los conocimientos aquí resumidos a la comunidad, en especial, a los tomadores de decisiones y planeadores urbanos de los municipios con poco presupuesto en el territorio nacional.

## 6 Agradecimientos

El autor agradece el acompañamiento en el direccionamiento del análisis de los datos obtenidos al ingeniero Orlando Rincón, quien fuera el director de la investigación de la que el autor fue auxiliar.

## 7 Referencias

1. Corporación Opción Legal; CENAC. (2018). Legalización de asentamientos Ilegales Contribuciones para una política pública que beneficie a la población desplazada. Bogotá DC: Opciones Gráficas Editores Ltda. Obtenido de [https://opcionlegal.org/sites/default/files/legalizacion\\_de\\_asentamientos\\_informales.pdf](https://opcionlegal.org/sites/default/files/legalizacion_de_asentamientos_informales.pdf)
2. Kuffer, M., Pfeffer, K., & Sliuzas, R. (2016). Slums from Space—15 Years of Slum Mapping Using Remote Sensing. *Remote Sensing*, 8, 455. doi:10.3390/rs8060455
3. Pandey, D., & Tiwari, K. (15 de Octubre de 2020). Extraction of urban built-up surfaces and its subclasses using existing built-up indices with separability analysis of spectrally mixed classes in AVIRIS-NG imagery. *Advances in Space Research*, 66, 1829-1845. doi:10.1016/j.asr.2020.06.038
4. Sameen, M., & Pradhan, B. (2016). A novel built-up spectral index developed by using multiobjective particle-swarm-optimization technique. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 37(1), 012006. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/37/1/012006>
5. Sudmanns, M., Tiede, D., Augustin, H., & Lang, S. (2020). Assessing global Sentinel-2 coverage dynamics and data availability for operational Earth observation (EO) applications using the EO-Compass. *International Journal of Digital Earth*, 13(7), 768-784. doi:10.1080/17538947.2019.1572799