

Uso de imágenes Landsat para el cálculo del Indicador 11.3.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: “Razón entre la tasa de consumo del suelo y la tasa de crecimiento de la población”, en las aglomeraciones urbanas de Colombia

Using Landsat images for the calculation of the Sustainable Development Goals Indicator 11.3.1: “Ratio of land consumption rate to population growth rate”, in the urban agglomerations of Colombia

Sandra Moreno^a, Yineth Acosta^b

Innovaciones en el desarrollo tecnológico y aplicaciones de observación de la tierra para el ordenamiento territorial

Resumen

Este artículo explica la metodología desarrollada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para calcular el indicador 11.3.1, definido en la agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este mide la eficiencia en el uso del suelo para lograr ciudades y asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles; y presenta los resultados obtenidos al aplicarla en las aglomeraciones urbanas de Colombia¹. Esta metodología utilizó imágenes de satélite del programa Landsat, capturadas en los años 2003 y 2015, que se clasificaron en Google Earth Engine para obtener el área construida de las aglomeraciones en cada año, y así calcular la tasa de consumo de suelo. Posteriormente, a partir de las proyecciones de población del DANE para estos mismos años, se calculó la tasa de crecimiento de la población, y finalmente, se obtuvo el valor del indicador 11.3.1 a partir de la razón entre las dos tasas, para 107 ciudades.

Palabras clave: aglomeración urbana, ciudad, imágenes de satélite, indicador 11.3.1., Landsat, Objetivos de Desarrollo Sostenible, población.

a. Master en Sistemas de Información Geográfica. DANE. slmorenom@dane.gov.co

b. Especialista en Sistemas de Información Geográfica. DANE. yinethaco@gmail.com

1. Definidas en el documento CONPES 3819 – Política Nacional para consolidar el Sistema de Ciudades en Colombia.





Abstract

This article explains the methodology developed by DANE to calculate indicator 11.3.1, defined in the 2030 agenda of the Sustainable Development Goals, which measures the efficiency of land use to make cities inclusive, safe, resilient and sustainable; and presents the results in the application of the urban agglomerations of Colombia. This is a list of satellite images of the Landsat program captured in the years 2003 and 2015, which are classified to obtain the constructed area of the agglomerations in each year, in order to calculate the rate of land consumption. Subsequently, based on the population projections of DANE for these same years, the population growth rate was calculated and, finally, the value of indicator 11.3.1 was obtained from the relationship between the rates for 107 cities.

Keywords: city, indicator 11.3.1., Landsat, population, satellite images, Sustainable Development Goals, urban agglomeration.



Introducción

En septiembre de 2015, los países miembros de las Naciones Unidas aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas que abarcan las dimensiones del desarrollo: económica, social y ambiental. Del conjunto de ODS, el 11 tiene como objetivo “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”. Para ello, en una de sus metas, la 11.3, se planteó: “de aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países”. Uno de los indicadores para monitorear esta meta es el 11.3.1, definido como “Razón entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población”.

Como complemento a la información cartográfica recolectada y actualizada por los institutos geográficos y otras entidades, resulta relevante el uso de imágenes de satélite para obtener información sobre la cobertura del suelo, que es un insumo para determinar el consumo de suelo.

En este sentido, desde el 2015, el DANE inició el desarrollo de una metodología para el cálculo del indicador 11.3.1, que involucra el procesamiento de imágenes de los satélites Landsat 7 y 8. Esto con el fin de determinar el consumo del suelo, aplicada en 16 de las 18 aglomeraciones (equivalente a 107 ciudades) urbanas de Colombia.

Marco teórico

Indicador ODS 11.3.1

Este indicador está definido como la razón entre la tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de la población y se utiliza para medir la eficiencia en el uso del suelo. Hay un uso eficiente del suelo urbano cuando la tasa de consumo de suelo es inferior a la tasa de crecimiento de la población, es decir, cuando el valor del indicador es menor a uno (UN- Hábitat, 2018).

En el metadato del indicador, elaborado por ONU-Hábitat (agencia custodia), se indica que las imágenes de satélite son una fuente de datos para determinar el consumo del suelo, que se refiere a las áreas edificadas (superficies impermeables) y espacios abiertos urbanizados.

Procesamiento digital de imágenes

Algunos conjuntos de imágenes de satélite están disponibles de forma gratuita. Entre estos, tres ejemplos sobresalen: las imágenes de los satélites Landsat, capturadas desde 1972, con resolución espacial de 30 metros y un ciclo de repetición de 16 días (cabe mencionar que, a partir del 31 de mayo de 2003 las imágenes del satélite Landsat 7 presentan vacíos de información); las Sentinel 2A, capturadas desde 2015, con una resolución espacial de 10 metros y un ciclo de repetición de 10 días; y, finalmente, las imágenes Áster, capturadas desde 1999, con una resolución espacial de 15 metros y un ciclo de repetición de 16 días.



Existen procesos que tienden a eliminar cualquier anomalía detectada en la imagen, ya sea en su localización –correcciones geométricas–, o en los niveles digitales de los píxeles que la componen –correcciones radiométricas–. Dentro de las radiométricas se encuentran dos tipos de correcciones: la corrección atmosférica en el espectro óptico, que es el proceso de convertir la reflectividad aparente (TOA) a reflectividad de la superficie terrestre (Hantson et al., 2011); y la corrección topográfica, que permite compensar las diferencias de iluminación solar debidas a la variación altitudinal del terreno (Riaño, Salas, Chuvieco, de Alcalá, & de Henares, s/f).

En cuanto a la clasificación de las imágenes de satélite, existen diferentes métodos, entre ellos el supervisado, en el que el intérprete delimita sobre la imagen áreas piloto, que se consideran suficientemente representativas de las categorías que componen la leyenda y que tales áreas sirven para “entrenar” al algoritmo en el reconocimiento de las distintas categorías (Gil, García, Ponvert-Delisles, Sánchez, & Vega, 2003). Dentro de los algoritmos de clasificación supervisada está *Random Forest*, su enfoque implica la construcción de múltiples árboles de decisión, los cuales consideran varios subconjuntos de la muestra de entrenamiento. La predicción de cada uno de los árboles de decisión obtenidos se le considera como un “voto”. Estos votos se utilizan para obtener una sola predicción en consenso.

Después del proceso de clasificación, se realiza la evaluación de la exactitud, el instrumento más usual es la matriz de confusión, también llamada matriz de error o de contingencia. Esta es una matriz cuadrada de $n \times n$ filas y columnas, en la que la n representa el número de clases, las columnas corresponden a los datos de referencia, y las filas corresponden a las asignaciones del clasificador (Picone & Linares, 2014).

Google Earth Engine (GEE)

Google Earth Engine es una plataforma, de acceso público sin costo, para el análisis de datos geospaciales. Dispone de imágenes de satélite en diferentes niveles de procesamiento, coberturas geográficas y temporales, organizadas a través de colecciones, por ejemplo, se encuentran disponibles las colecciones de Landsat procesadas a la reflectividad aparente (TOA) y a la reflectividad de la superficie terrestre y que incluyen una máscara de nubes, sombras, agua y nieve.

Esta plataforma permite automatizar procesos a través de una librería de algoritmos de procesamiento digital de imágenes de satélite, susceptibles de personalizar por parte de los usuarios, así como incorporar información geográfica en formato vector y ráster, requerida por el usuario. El procesamiento se realiza en la nube.

Estadísticas de población

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, tiene como objetivos garantizar la producción, disponibilidad y calidad de la información estadística estratégica; así como dirigir, planear, ejecutar, coordinar, regular y evaluar la producción y difusión de información oficial básica. Entre sus estadísticas, respecto a demografía y población, realiza las proyecciones de población tomando como base los resultados ajustados de población del Censo 2005 y la conciliación censal 1985 – 2005, así como los análisis



sobre el comportamiento de las variables determinantes de evolución demográfica, las hipótesis y algunos comentarios sobre sus resultados (DANE, 2018). El mayor nivel de desagregación de estas proyecciones es por cabecera² y resto municipal³. No existen proyecciones desagregadas por centro poblado⁴.

Aglomeraciones urbanas

En el documento CONPES 3819, Política Nacional para consolidar el Sistema de Ciudades en Colombia, se definieron 18 aglomeraciones urbanas, entendidas como el conjunto de ciudades y sus centros urbanos contiguos (incluidos sus territorios de influencia) entre los que existen relaciones funcionales en términos de actividades económicas, oferta y demanda de servicios (Departamento Nacional de Planeación, 2014). Las aglomeraciones corresponden a Bogotá D.C (23 ciudades), Medellín (10 ciudades), Cali (10 ciudades), Barranquilla (16 ciudades), Cartagena (7 ciudades), Bucaramanga (4 ciudades), Cúcuta (4 ciudades), Pereira (3 ciudades), Villavicencio (2 ciudades), Armenia (4 ciudades), Pasto (2 ciudades), Manizales (2 ciudades), Rionegro (5 ciudades), Tuluá (2 ciudades), Tunja (5 ciudades), Girardot (3 ciudades), Sogamoso (9 ciudades) y Duitama (2 ciudades).

Metodología

En el desarrollo de la metodología fue necesario definir los años de estudio en función de las imágenes disponibles; y el área de estudio según el nivel de desagregación de las proyecciones de población. Para el cálculo de la tasa de consumo de suelo, se requiere el área construida (edificación) de las ciudades, y, para el cálculo de esta área, se realizó la selección de las imágenes, la corrección topográfica, la clasificación y la evaluación de exactitud, mediante un algoritmo desarrollado en GEE. A continuación se detallan estas actividades y las fórmulas que se aplicaron para el cálculo de las tasas y del indicador.

Definición de los años de estudio y programa satelital seleccionado

Para que el indicador fuera comparable, se consideró definir los mismos años de estudio inicial y final para todas las ciudades de las aglomeraciones.

Como año inicial, se pensó en 2005, siendo este el año en que se realizó el Censo General. Con respecto a las imágenes de satélite, para 2005, Landsat7 y Áster estaban disponibles. No obstante, el número de escenas Áster para Colombia, en comparación con Landsat, fue menor, lo que se sumó a una gran nubosidad en las imágenes, por lo que se descartó el uso de imágenes Áster para este estudio. En cuanto a las imágenes Landsat7, el DANE desarrollo y aplicó el algoritmo *Phase 2 Gap-Fill Algorithm*⁵ para corregir los vacíos de información. Sin embargo, no fue posible realizar la corrección para todas las ciudades que se requerían, por lo que se decidió cambiar el año de estudio al 2003, momento en el que había imágenes Landsat sin vacíos de información.

2. Delimitación geográfica definida por el DANE para fines estadísticos, alusiva al área geográfica delimitada por el perímetro censal. A su interior se localiza la sede administrativa del municipio, es decir la alcaldía. Este nivel geográfico contiene el perímetro urbano establecido por acuerdos del Concejo Municipal.

3. Delimitación geográfica definida por el DANE para fines estadísticos, comprendida entre el perímetro censal de las cabeceras municipales y el límite municipal. Se caracteriza por la disposición dispersa de viviendas y de explotaciones agropecuarias existentes en ella.

4. Se define como una concentración mínima de veinte viviendas contiguas o vecinas, ubicada en el área resto municipal.

5. <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/L7SLCGapFilledMethod.pdf>





Como año final, se seleccionó 2015 ya que, además de la existencia de imágenes del satélite Landsat 8 (sin vacíos de información), permite definir un intervalo de tiempo suficientemente amplio para identificar cambios en ciudades donde no hay una alta dinámica de consumo de suelo.

Definición del área de estudio y de la fuente de datos para el cálculo de la tasa de crecimiento de la población

Para los años 2003 y 2015, se encuentran disponibles las proyecciones de población del DANE a nivel de cabecera y resto municipal. Por esto, el área de estudio se define por el área edificada, obtenida a partir de la clasificación de las imágenes Landsat, que se interseca con la cabecera municipal de las ciudades que conforman las aglomeraciones, dentro del límite municipal (excluye el área censal de los centros poblados).

Selección de la colección y de las imágenes de satélite Landsat

Se revisaron las colecciones de imágenes Landsat disponibles en GEE y se seleccionaron Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI/TIRS, procesadas a la reflectividad de la superficie terrestre. Luego, se desarrolló un script que permite filtrar las imágenes teniendo en cuenta: los años de interés, y las mejores imágenes libres de nubes y sombras en las ciudades de estudio. Para el desarrollo de esta tarea se utilizó la banda que sirve de máscara para las nubes y sombras.

Aplicación del método de corrección topográfica

Se aplicó el algoritmo Factor C, único algoritmo disponible en GEE, el cual fue modificado con los parámetros de las imágenes y con el modelo digital SRTM Digital Elevation Data 30m.

Selección del algoritmo y clasificación de las imágenes

Se realizó la clasificación supervisada del Área Metropolitana de Bucaramanga, mediante los algoritmos disponibles en GEE (*Support Vector Machine*, *Decision Tree* y *Random Forest*). Se seleccionó *Radom Forest* por brindar un mayor porcentaje global de exactitud (ver tabla 1).

Tabla 1. Porcentaje global de exactitud

Algoritmo de clasificación	Exactitud
<i>Support Vector Machine</i>	69%
<i>Decision Tree</i>	69%
<i>Random Forest</i>	80%

Luego, se llevó a cabo la clasificación de las imágenes para todas las ciudades de estudio, de modo que a partir de imágenes de mayor resolución espacial, se generaron muestras de entrenamiento y validación para áreas edificadas y áreas no edificadas (agua, vegetación, suelo desnudo).



Se definió que la clasificación se aceptaba cuando la evaluación de la exactitud global fuera igual o mayor al 80%.

Cálculo del área construida

Se seleccionaron los polígonos que se intersecan con el área censal de las ciudades, se excluyeron las áreas censales de los centros poblados o fuera del límite municipal. Luego se realizó el cálculo del área total de la zona construida (edificada) resultante, esto utilizando herramientas GIS.

Cálculo de la tasa de consumo de suelo

Para el cálculo de la tasa de consumo de suelo se utilizaron las mediciones del área construida en cada uno de los años de estudio y la fórmula propuesta por UN-HABITAT (2016):

$$TCS = \frac{LN (Urb_{t+n}/Urb_t)}{(y)}$$

Donde:

Urb_{t+n} = Área construida en el año 2015

Urb_t = Área construida en el año 2003

y = Número de años entre los dos momentos de medición

Cálculo de la tasa de crecimiento de la población

La tasa de crecimiento anual de población (TCP) fue calculada de acuerdo con la siguiente fórmula propuesta por UN-HABITAT (2016)

$$TCP = \frac{LN (Pop_{t+n}/Pop_t)}{(y)}$$

Donde:

Pop_{t+n} = Proyección de la población de la cabecera municipal en el año 2015

Pop_t = Proyección de la población de la cabecera municipal en el año 2003

y = Número de años entre los dos momentos de medición

Cálculo del indicador

Se calculó el cociente entre la tasa de consumo del suelo y la tasa de crecimiento de la población (UN-HABITAT, 2016)

$$Indicador_{11.3.1} = \frac{TasaConsumoSuelo}{TasaCrecimientoPoblacion}$$



Resultados

Para las aglomeraciones de Armenia y Pasto no se obtuvieron imágenes Landsat libres de nubes en los años de estudio, por lo que se realizó el cálculo del indicador ODS 11.3.1 para las 16 aglomeraciones urbanas restantes y las ciudades que las componen. En la Figura 1 se visualizan los valores de tasa de consumo de suelo y la tasa de crecimiento de población; en la Figura 2 el valor del Indicador ODS 11.3.1 en el periodo de estudio 2003 y 2015, para cada aglomeración; y en la tabla 2 los valores desagregados por ciudad. Para ver los mapas de consumo de suelo 2003 -2015 de las aglomeraciones remítase al Anexo 1.

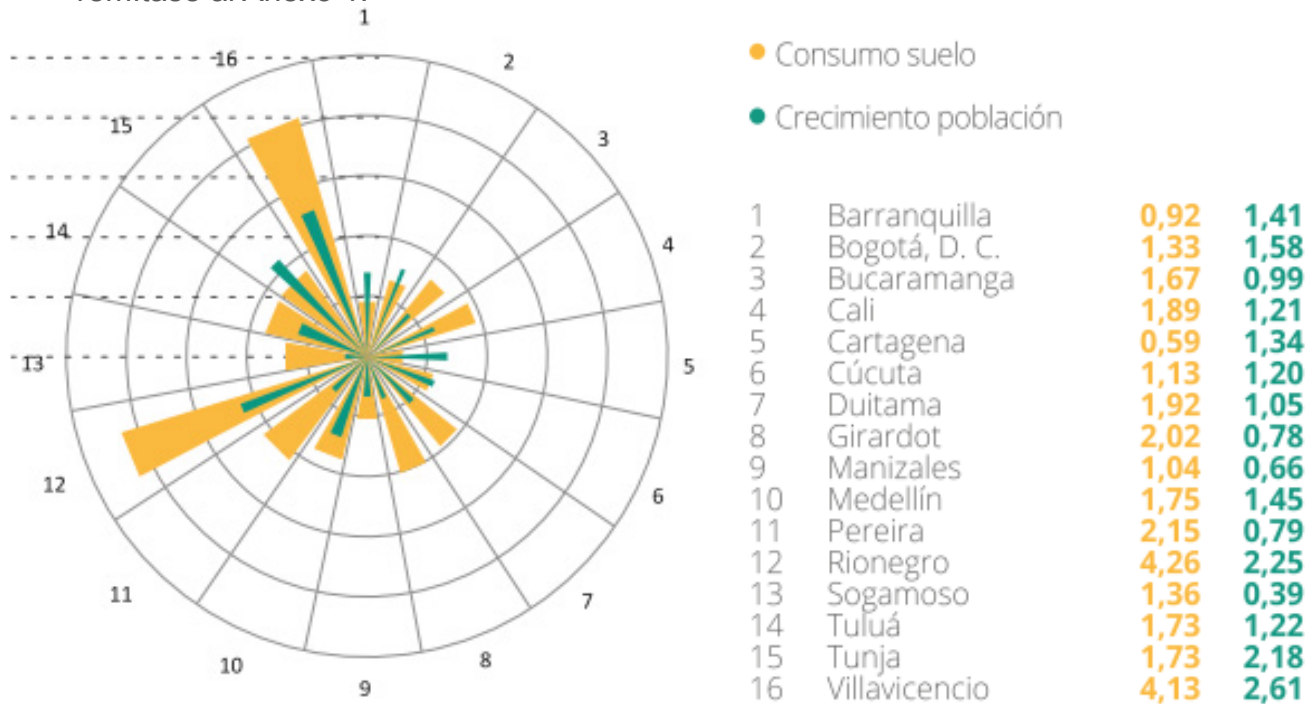


Figura 1. Tasas de consumo de suelo y crecimiento de la población

Fuente: elaboración propia.

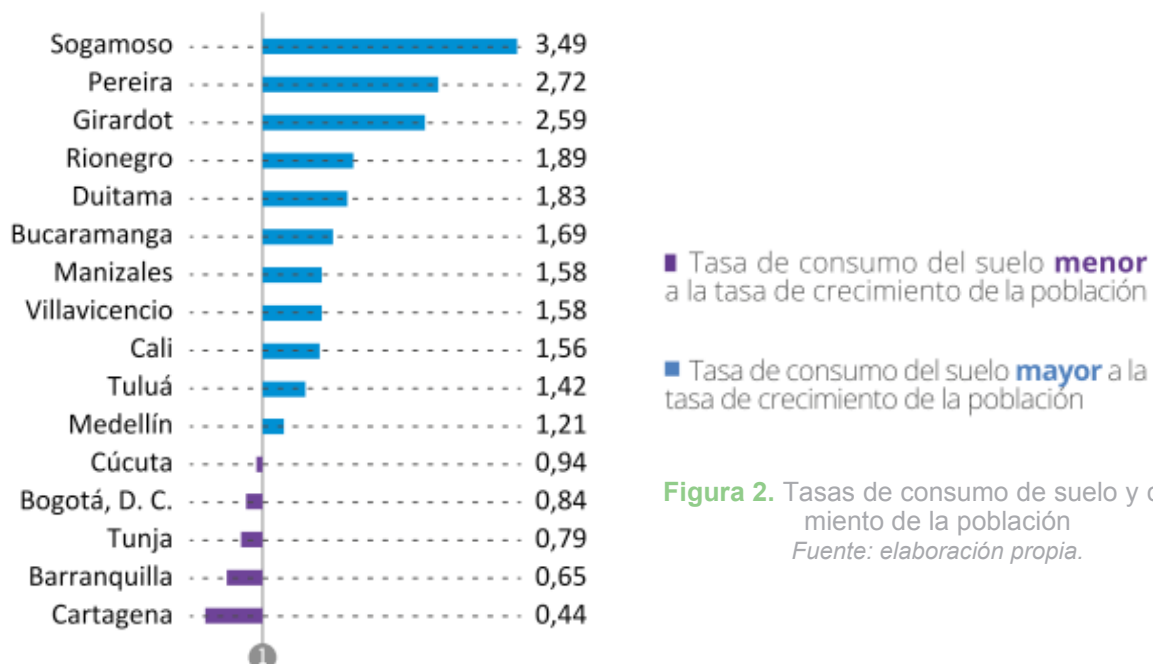


Figura 2. Tasas de consumo de suelo y crecimiento de la población

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Tasas de consumo de suelo, crecimiento de la población e Indicador ODS para las ciudades que componen los Aglomerados Urbanos objeto de estudio

Aglomeración	Ciudad	TCS	TCP	Ind. 11.3.1
Barranquilla	San Cristóbal	1,62	1,55	1,05
	Sitionuevo	0,32	1,89	0,17
	Barranquilla	0,52	0,62	0,84
	Baranoa	1,18	1,29	0,91
	Galapa	3,10	3,13	0,99
	Malambo	1,87	1,86	1,01
	Palmar de Varela	0,90	0,85	1,06
	Polonuevo	0,31	1,04	0,3
	Ponedera	1,89	1,52	1,24
	Puerto Colombia	2,82	0,94	3,00
	Sabanagrande	1,58	2,41	0,66
	Sabanalarga	1,20	1,96	0,61
	Santo Tomás	1,25	0,83	1,51
	Soledad	1,28	2,97	0,43
	Tubará	-0,10	0,76	-0,13
	Usiacurí	0,36	0,51	0,71
Bogotá, D.C	Bogotá	0,92	1,44	0,64
	Bojacá	3,01	3,27	0,92
	Cajicá	4,37	2,86	1,53
	Chía	2,92	3,06	0,95
	Cogua	1,62	2,69	0,6
	Cota	6,76	3,04	2,22
	Facatativá	1,66	2,28	0,73
	Funza	4,63	2,22	2,09
	Gachancipá	2,97	3,76	0,79
	Guatavita	1,34	1,11	1,21
	La calera	1,50	2,31	0,65
	Madrid	3,74	2,35	1,59
	Mosquera	6,23	3,11	2,00
	Nemocón	2,51	1,44	1,74
	Sesquilé	2,20	3,81	0,58
	Sibaté	3,03	2,05	1,48
	Soacha	3,43	2,5	1,37
	Sopó	3,45	3,1	1,11
	Sutatausa	1,49	2,62	0,57
	Tabio	1,82	3,85	0,47
	Tausa	2,23	3,05	0,73
	Tocancipá	2,77	3,59	0,77
	Zipaquirá	1,61	1,96	0,82





<i>Aglomeración</i>	<i>Ciudad</i>	<i>TCS</i>	<i>TCP</i>	<i>In. 11.3.1</i>
<i>Bucaramanga</i>	<i>Bucaramanga</i>	0,90	0,27	3,33
	<i>Floridablanca</i>	1,84	0,53	3,47
	<i>Girón</i>	2,75	3,19	0,86
	<i>Piedecuesta</i>	4,22	2,81	1,50
<i>Cali</i>	<i>Padilla</i>	1,43	0,57	2,51
	<i>Puerto tejada</i>	0,48	0,35	1,37
	<i>Villa rica</i>	4,1	2,11	1,94
	<i>Cali</i>	1,44	1,15	1,25
	<i>Candelaria</i>	1,45	1,40	1,04
	<i>Florida</i>	2,16	0,47	4,60
	<i>Jamundí</i>	5,07	2,25	2,25
	<i>Pradera</i>	1,75	1,32	1,33
	<i>Vijes</i>	2,89	1,95	1,48
	<i>Yumbo</i>	4,52	2,41	1,88
<i>Cartagena</i>	<i>Cartagena</i>	0,21	1,29	0,16
	<i>Arjona</i>	0,53	1,79	0,30
	<i>Clemencia</i>	0,11	2,06	0,05
	<i>Santa rosa</i>	1,41	1,52	0,93
	<i>Turbaco</i>	3,52	1,55	2,27
	<i>Turbaná</i>	0,41	1,47	0,28
	<i>Villanueva</i>	0,55	1,66	0,33
<i>Cúcuta</i>	<i>Cúcuta</i>	1,01	1,03	0,98
	<i>Los patios</i>	1,23	1,36	0,9
	<i>San Cayetano</i>	1,21	2,82	0,43
	<i>Villa del rosario</i>	1,76	2,38	0,74
<i>Duitama</i>	<i>Cerínza</i>	3,69	0,34	10,85
	<i>Duitama</i>	1,88	1,06	1,77
<i>Girardot</i>	<i>Girardot</i>	1,61	0,75	2,15
	<i>Ricaurte</i>	6,92	2,63	2,63
	<i>Flandes</i>	1,91	0,62	3,08
<i>Manizales</i>	<i>Manizales</i>	0,76	0,46	1,65
	<i>Villamaría</i>	3,45	2,41	1,43
<i>Medellín</i>	<i>Medellín</i>	1,03	1,17	0,88
	<i>Barbosa</i>	4,17	2,16	1,93
	<i>Bello</i>	2,6	2,32	1,12
	<i>Caldas</i>	3,13	1,51	2,07
	<i>Copacabana</i>	5,21	1,52	3,43
	<i>Envigado</i>	3,69	2,64	1,4
	<i>Girardota</i>	1,50	2,65	0,57
	<i>Itagüí</i>	0,91	1,46	0,62
	<i>La estrella</i>	8,54	1,72	4,97
	<i>Sabaneta</i>	3,81	1,71	2,23



Aglomeración	Ciudad	TCS	TCP	In. 11.3.1
Pereira	Pereira	2,17	0,62	3,5
	Dosquebradas	2,15	1,17	1,84
	Santa Rosa de Cabal	2,09	0,70	2,99
Rionegro	El Carmen de Viboral	2,99	2,86	1,05
	Guarne	5,71	2,36	2,42
	La Ceja	6,94	1,85	3,75
	Marinilla	4,08	2,61	1,56
	Rionegro	3,01	2,05	1,47
Villavicencio	Villavicencio	4,02	2,63	1,53
	Restrepo	7,32	1,09	6,72
Sogamoso	Busbanzá	0,32	3,89	0,08
	Corrales	5,04	-0,08	-63,00
	Firavitoba	0,23	0,22	1,05
	Iza	3,62	1,32	2,74
	Monguí	0,69	0,41	1,68
	Nobsa	1,94	2,22	0,87
	Sogamoso	1,30	0,21	6,19
	Tibasosa	0,85	1,40	0,61
	Tópaga	7,37	1,29	5,71
Tuluá	Andalucía	2,64	0,45	5,87
	Tuluá	1,63	1,29	1,26
Tunja	Tunja	1,62	1,62	0,76
	Chivatá	11,08	11,08	2,38
	Cómbita	6,09	6,09	2,02
	Motavita	6,13	6,13	1,70
	Oicatá	0,54	0,54	1,00

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La metodología desarrollada para el cálculo del indicador ODS 11.3.1, *Razón entre la tasa de consumo del suelo y la tasa de crecimiento de la población*, es replicable a otras áreas urbanas, además el uso de la plataforma Google Earth Engine permitió optimizar el procesamiento y clasificación de las imágenes, ya que se disponen de *scripts* parametrizables que facilitan el procesamiento de las mismas.

Por otro lado, aunque se implementaron métodos para la corrección de nubes y sombras, las aglomeraciones de Armenia y Pasto presentan alta nubosidad en todo el año. Por tanto, las imágenes no pudieron ser mejoradas satisfactoriamente. En ese contexto, surge entonces la necesidad de indagar en métodos que permitan superar las limitaciones por la presencia de nubes o evaluar el uso de nuevas fuentes de información tales como imágenes de radar.





Para el cálculo de las tasas de crecimiento poblacional se utilizaron los datos de proyecciones de población, los cuales toman como referente la información de los censos y se ajustan de acuerdo a un modelo logístico de crecimiento. Es por esto que, una vez se cuente con un censo de población reciente, es recomendable recalcular las tasas de crecimiento de población de acuerdo a los cambios que se incorporen en las proyecciones.

Finalmente, los datos obtenidos evidencian que las ciudades objeto de estudio presentan tasas de consumo de suelo más altas en relación con su crecimiento de población. Los mapas elaborados para cada Aglomerado Urbano presentan las zonas de consumo de suelo y las zonas de pérdida de área construida, insumo relevante para evaluar las zonas de expansión urbana y planificar la gestión del territorio para garantizar un desarrollo urbano sostenible.



Bibliografía

- Departamento Nacional de Estadística, DANE. (2018). Proyecciones de población. Recuperado el 1 de junio de 2018, de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Departamento Nacional de Planeación. (2014, octubre 21). Documento Conpes 3819. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3819.pdf>
- Gil, J. L., García, E. B., Ponvert-Delisle, D. R., Sánchez, R., & Vega, M. B. (2003). Enfoques para la clasificación digital de imágenes mono y multiespectrales y su implementación en el software cubano TN Estudio V2.0. 18.
- Hantson, S., Chuvieco, E., Pons, X., Domingo-Marimon, C., Cea, C., Moré, G., ... Tejeiro, J. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*, 36, 51–61.
- Picone, N., & Linares, S. (2014). Propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante teledetección y SIG. Caso de estudio: ciudad de Tandil, Argentina. 20.
- Riaño, D., Salas, J., Chuvieco, E., de Alcalá, U., & de Henares, A. (s/f). Corrección Atmosférica y Topográfica, Información Multitemporal y Auxiliar Aplicadas a la Cartografía de Modelos de Combustibles con Imágenes Landsat-TM. 18.
- UN- Habitat. (2018, julio). Indicator category: Tier III. Recuperado de papel.
- UN-HABITAT. (2016). Sustainable Development Goal 11. Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable. Recuperado de <http://localizingthesdgs.org/library/60/SDG-Goal-11-Monitoring-Framework-A-guide-to-assist-national-and-local-governments-to-monitor-and-report-on-SDG-goal-11-indicators.pdf>





Anexo 1. Mapas de consumo de suelo

