

22. Sensoramiento Remoto y Meteorología Aplicada
Identificación de la huella urbana utilizando imágenes satelitales radar Sentinel-1 en la Ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). Año 2018

Tazzioli, Florencia¹; Ciattaglia, Brunela¹; Aquili, Verónica²; Vicioso, Benito²; López, Diego³;
Balparda, Laura³

florenciatazzioli.ft@gmail.com; brunela.ciattaglia@gmail.com; aquili@fceia.unr.edu.ar;
benvicag@fceia.unr.edu.ar; lbalparda@hotmail.com; dlopez@fceia.unr.edu.ar;

¹ Escuela de Agrimensura – Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura –
Universidad Nacional de Rosario – Argentina

² Departamento de Ordenamiento Territorial – Escuela de Agrimensura – Facultad de
Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad Nacional de Rosario – Argentina

³ Área de Sensores Remotos – Escuela de Agrimensura – Facultad de Ciencias Exactas,
Ingeniería y Agrimensura – Universidad Nacional de Rosario – Argentina (docentes
orientadores)

Resumen

La utilización de las imágenes Radar y sus múltiples aplicaciones están siendo investigadas intensamente estos últimos tiempos. El estudio de la huella o máscara urbana permite entre otras cosas identificar la expansión de una ciudad a fin de servir de herramienta para el ordenamiento territorial y detectar cambios de uso del suelo de rural a urbano. Dado el constante crecimiento y el dinamismo territorial que existe en la ciudad de Rosario, la detección de la huella urbana a través de imágenes satelitales radar podría responder a varias necesidades en cuanto al desarrollo urbanístico que experimenta e incluso su relación con las localidades satélites que conforman la Región Metropolitana. En la identificación de la huella urbana en un área de interés en la ciudad de Rosario (Provincia de Santa Fe, Argentina) se utiliza una metodología propuesta por la EO-College e imágenes satelitales de radar de la misión Sentinel-1 (abril, 2018), con una resolución espacial de 14 m. En un análisis visual de los resultados se utiliza una imagen óptica disponible en Google Maps y en un análisis preliminar cuantitativo, la huella urbana obtenida en el proyecto Global Urban Footprint (GUF) llevado a cabo por el Centro Aeroespacial Alemán (DRL). Como resultado se obtienen dos huellas urbanas con umbrales de 0,6 y 0,7. En el análisis de los resultados considerando el producto GUF y la imagen óptica de Google Maps, se concluye que la metodología

seleccionada en este estudio permite identificar mejor el área urbanizada en el casco céntrico de la ciudad y en menor medida en la región periférica.

Palabras clave: huella urbana, teledetección radar, Sentinel-1, GUF.

Introducción

Existe gran diversidad de aplicaciones en lo que respecta a las imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR). Algunos ejemplos son: deformación del terreno por movimientos en masa usando interferometría SAR, diseño de un sistema de alerta y respuesta temprana a incendios de vegetación, control de vegetación y humedad del suelo, detección del patrón de asentamientos basados en la clasificación de la huella urbana, entre otros (Mayorga, 2013; Mari, 2012; Lyalin et al., 2018; Taubenbock et al., 2011).

La huella urbana es la extensión espacial de las áreas urbanizadas, dominadas por construcciones, calles y superficies impermeables motivo por el cual las superficies naturales que se encuentren dentro de las ciudades no deben ser tomadas en cuenta. Independientemente de la metodología que se utilice para obtener la huella urbana, se representa mediante una máscara de asentamiento urbano siguiendo un modelo ráster binario de presencia/ausencia (Esch et al., 2017).

Con respecto a la identificación de la huella urbana es necesario entender la importancia de la cartografía para la detección de esta y sus variaciones, los rasgos relevantes en SAR y las técnicas de interpretación y procesamiento de imágenes (Taubenböck et al., 2012).

El Catastro asigna valores a los inmuebles urbanos, suburbanos y rurales a fin de garantizar una equidad tributaria. La valuación atribuida al primer caso se basa en las dimensiones del terreno y las mejoras constructivas. Para resolver el problema de la dificultad de la actualización, históricamente se aplicaron distintos métodos, como por ejemplo vuelos aérofotogramétricos y declaración jurada del propietario ante planes de regularización o actualización del estado parcelario (Gobierno de Santa Fe, 2018).

El valor del mapeo de áreas urbanas radica en detectar cambios de áreas rurales a urbanas en el tiempo, análisis del estado de los asentamientos irregulares, planeamiento del ordenamiento territorial y en cuanto a temas catastrales, distribución,

usos y detección de mejoras, entre otros (Voltersen et al., 2017).

Actualmente, el proyecto más importante para identificar la huella urbana a nivel mundial es el Global Urban Footprint (GUF) creado a partir de datos 2011-2013, llevado a cabo por el Centro Aeroespacial Alemán (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. - DLR), cuyo objetivo es mapear asentamientos permitiendo analizar los patrones y las estructuras urbanas (distribución regional de la población y la organización de las áreas urbanas y rurales) (Agencia Espacial Alemana, 2018).

Teniendo en cuenta los avances científicos en la temática, las necesidades a nivel local y la disponibilidad de datos actualizados, se plantea el presente estudio en un área de interés de la Ciudad de Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina, para el año 2018.

Objetivos

General: Identificar la huella urbana utilizando imágenes satelitales radar Sentinel-1 en un área de la Ciudad de

Rosario (Provincia de Santa Fe, Argentina), año 2018.

Específico: Analizar la huella urbana identificada a partir de imágenes satelitales radar Sentinel-1 en relación al producto obtenido en el marco del proyecto Global Urban Footprint (GUF) y a la imagen base satelital disponible en Google Maps.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La ciudad de Rosario¹ está ubicada en la zona sur de la provincia de Santa Fe, República Argentina, entre 32° 52' 18" y 33° 02' 22" latitud Sur y entre 60° 36' 44" y 60° 47' 46" longitud Oeste. Su altitud sobre el nivel del mar oscila entre los 22,5 Y 24,6 metros.

Sus límites son:

- Este: Río Paraná
- Sur: las localidades de Soldini, Piñeiro y Villa Gobernador Gálvez
- Oeste: las localidades de Funes y Pérez
- Norte: las localidades de Granadero Baigorria e Ibarlucea.

¹ Municipalidad de Rosario. [Consulta: 31 de mayo de 2018]. Disponible en web:

<https://www.rosario.gov.ar/web/ciudad/caracteristicas/informacion-territorial-y-datos-demograficos>

Posee una superficie total de 178,69 km² y una superficie urbanizada de 120,37 km² integrada por 8.271 manzanas².

El área de estudio se limita al área comprendida entre la Ruta Nacional A008 y el Río Paraná (Figura 1).



Figura 1. Área de estudio delimitada en rojo; casco céntrico en azul.

Datos

En el presente trabajo se seleccionan las imágenes satelitales radar de la misión Sentinel-1³, banda C (frecuencia de 5,4 Ghz), modo de adquisición Interferometric Wide Swath (IW) con un barrido de 250 km y un ángulo de inclinación de 25°,

² Manzana: superficie rodeada por calles u otras manzanas.

³ European Space Agency. [Consulta: 31 de mayo de 2018]. Disponible en web: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar>

polarización vertical-vertical (VV), resolución espacial 14.07 m, fecha de adquisición 15/04/2018 y 27/04/2018. En las Figuras 2 y 3 se observan los subsets de las imágenes⁴ seleccionadas, a saber:

- S1B_IW_SLC__1SDV_20180415T092205_20180415T092232_010492_013207_1F5C
- S1B_IW_SLC__1SDV_20180427T092206_20180427T092233_010667_01379F_7BCF



Figura 2. Subset de la imagen Sentinel-1 con actualización orbital (15/04/2018).



Figura 3. Subset de la imagen Sentinel-1 con actualización orbital (27/04/2018).

A los fines de la obtención de indicadores para el análisis de la huella urbana se utilizan dos bases cartográficas⁵ en formato Geographic Markup Language (.gml), marco de referencia WGS84, a saber:

⁴ European Space Agency. [Consulta: 31 de mayo de 2018]. Disponible en web: <https://scihub.copernicus.eu/>

⁵ Datos Abiertos de la Municipalidad de Rosario. [Consulta: 23 de mayo de 2018]. Disponible en web: <http://datos.rosario.gob.ar/>

- Manzanas. En el área periférica de la ciudad de Rosario, existen sectores en los cuales no está definida la manzana en el Catastro municipal.
- Parcelas# de las 21 secciones catastrales. Un número variable de parcelas quedan incluidas en una manzana; pero existen sectores en el área periférica al casco céntrico, en los cuales las parcelas no cuentan con una definición oficial catastral del número de manzana.

Para la comparación de los resultados obtenidos se utiliza:

- Base cartográfica en formato raster Global Urban Footprint (GUF)⁶ con resolución de 12 metros, con valores 0/255 correspondientes a ausencia/presencia de la huella urbana (referenciados en tonos de negro/blanco en la Figura 4), marco de referencia WGS84, a partir de imágenes satelitales radar TerraSAR-X, años 2011 - 2013 (Esch et al., 2011; 2017).

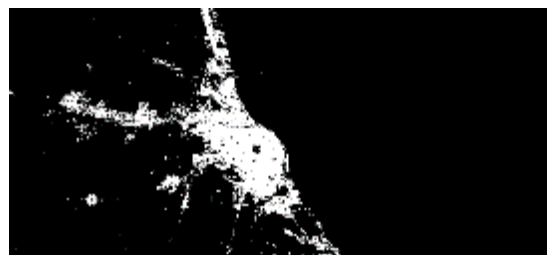


Figura 4. Máscara GUF.

- Imagen satelital óptica base de Google Maps, año 2017 (Figura 5).

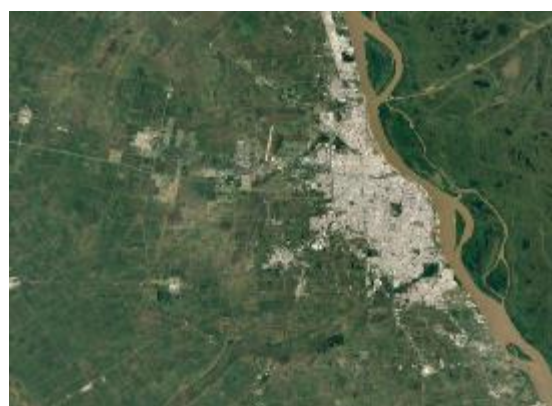


Figura 5. Imagen satelital óptica base de Google Maps.

En la obtención de la máscara de la huella urbana se utiliza el Software Libre Sentinels Application Platform⁷ (SNAP) y en el análisis de la huella urbana en relación a GUF y Google Maps se usa el software libre QGIS⁸.

⁶Dato facilitado por Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR, Centro Aeroespacial Alemán).

⁷SNAP: versión 4.0. Autoría: European Space Agency.

⁸QGIS, Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android. <https://www.qgis.org/es/site/>

Métodos

En la obtención de la huella urbana se sigue la metodología educativa sobre asentamientos urbanos propuesta por el EO-College⁹.

En el procesamiento de las dos imágenes se plantean cuatro etapas:

- 1) Cálculo de geocodificación del terreno corregido por la intensidad de retrodispersión desde un set de datos Single Look Complex (SLC);
- 2) Cálculo de geocodificación de la coherencia interferométrica de dos sets de datos SLC;
- 3) Creación de una composición RGB utilizando las capas de retrodispersión y coherencia;
- 4) Mapeo de la huella urbana.

Etapas 1

Primero, para cada una de las imágenes, se procede a la importación del set de datos y se crea un subset que incluye el área de estudio para facilitar el procesamiento de las imágenes. Luego se actualizan los parámetros orbitales a uno de mayor precisión. Se realiza una calibración absoluta a fin de convertir los números digitales en un parámetro físico. Para eliminar las líneas de discontinuidad

provocadas por el método de captura de la información se aplica Terrain Observation with Progressive Scans (TOPS) Deburst. A continuación, se realiza un filtrado multi-temporal para reducir el speckle, moteado o ruidos característicos de las imágenes radar. Por último se convierten los datos de la banda a decibeles (dB) para mejorar el contraste de datos mejorando su visualización y se hace una geocodificación o corrección del terreno que permite otorgar a cada píxel una coordenada plana, obteniéndose finalmente los productos: Sigma0_IW1_VV_db_mst_15Apr2018 y Sigma0_IW1_VV_db_slv2_27Apr2018.

Etapas 2

Partiendo de las imágenes con actualización orbital, se corregistra el par SLC, se estima la coherencia a fin de analizar la coincidencia entre las dos imágenes, se aplica la función TOPS Deburst, luego el filtro multi-temporal y por último la geocodificación o corrección del terreno.

Etapas 3

Partiendo de los productos obtenidos en las etapas 1 y 2, se compilan en una sola imagen (Layer Stacking), se calcula el

⁹Curso Echoes in Space. EO-College. European Space Agency

promedio (1) y la diferencia (2) de retrodispersión. Se realiza una visualización de una composición RGB auto ajustando los valores del histograma al 95% de todos los píxeles.

$$\text{promedio_dB} = (I_1 + I_2) / 2 \quad (1)$$

$$\text{diferencia_dB} = I_1 - I_2 \quad (2)$$

Donde:

I_1 : Sigma0_IW1_VV_db_mst_15Apr2018

I_2 : Sigma0_IW1_VV_db_slv2_27Apr2018

Etapa 4

En la creación de la máscara de asentamiento urbano se utiliza el siguiente algoritmo:

- Si promedio_dB > -10 y coherencia > U entonces 1 (uno), en caso contrario 0 (cero); donde el valor umbral U toma los valores 0,6 y 0,7

Los resultados obtenidos se almacenan en HU06 y HU07 respectivamente.

Procesamiento SIG

Una vez finalizada la obtención de la huella urbana se procede al armado de un proyecto en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

En el proyecto SIG se incorporan y pre-procesan las siguientes capas:

- A. Capas raster GUF, HU06 y HU07: transformación a marco de

referencia POSGAR94 faja 5 y reclasificación de los datos a un sistema binario 0/1.

- B. Capas vectoriales Manzanas y Parcelas: a) combinación de las capas Parcelas# de las 21 secciones catastrales; b) selección y recorte de las "parcelas sin número de manzana" según definición de Catastro de la Municipalidad de Rosario; c) unión de las "parcelas sin número" con la capa Manzanas, para completar las áreas sin manzanas definidas; d) transformación a marco de referencia POSGAR94 F5; e) selección de los polígonos dentro del área de estudio definida y almacenamiento en la capa MP;
- C. Capa raster satelital óptica base de Google Maps año 2017: acceso a través del plugin OpenLayers a utilizar en el análisis visual de las diferentes huellas urbanas ingresadas al proyecto SIG.

Una serie de indicadores se obtienen a través de geoprocursos para analizar los resultados de las huellas urbanas correspondiente a los diferentes valores umbrales en relación a GUF. A tales fines se define como unidad de área en el análisis espacial, a los polígonos

(POL_MP) en la capa MP. Los indicadores se almacenan en la capa Estadísticas_06-07-GUF, a saber:

1. P_U06: cantidad de píxeles de la capa HU06 por POL_MP.
2. P_U07: cantidad de píxeles de la capa HU07 por POL_MP.
3. P_GUF: cantidad de píxeles de la capa GUF por POL_MP.
4. SUPERFICIE: cálculo de la superficie de POL_MP en la capa MP.
5. S_06: cálculo de la superficie de P_U06 en la capa MP (P_U06 por 196 [m²]).
6. S_07: cálculo de la superficie de P_U07 en la capa MP (P_U07 por 196 [m²]).
7. S_GUF: cálculo de la superficie de GUF en la capa MP (P_GUF por 144 [m²]).
8. D_GUF-06: diferencia de superficies entre S_GUF y S_06.
9. D_GUF-07: diferencia de superficies entre S_GUF y S_07.
10. D_G06_S: cociente entre D_GUF-06 y SUPERFICIE (diferencia por unidad de área).
11. D_G07_S: cociente entre D_GUF-07 y SUPERFICIE (diferencia por unidad de área).

Resultados y Discusión

Concluida la primera etapa del procesamiento geomático de las imágenes satelitales de radar, se obtuvieron los subsets calibrados y geocodificados (Figuras 6 y 7).

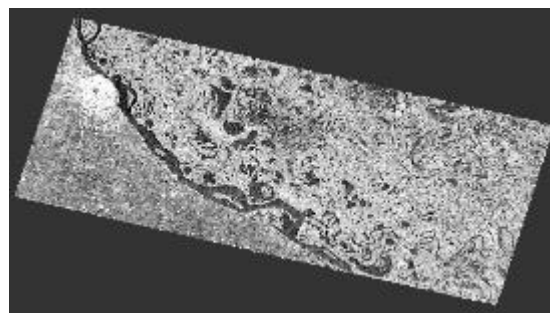


Figura 6. Subset de imagen satelital radar Sentinel-1 (15/04/2018).

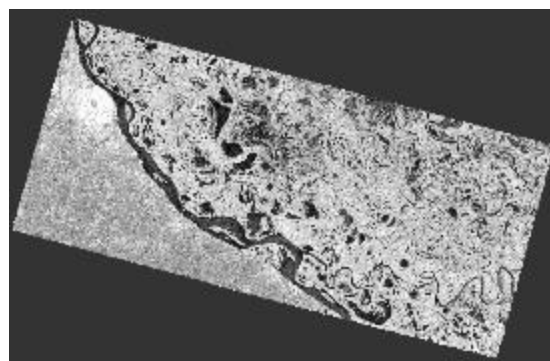


Figura 7. Subset de imagen satelital radar Sentinel-1 (27/04/2018).

En la Figura 8 se observa la imagen de coherencia obtenida en la segunda etapa del procesamiento de las imágenes satelitales de radar.

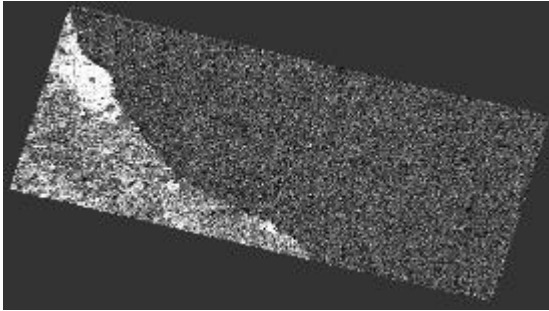


Figura 8. Imagen de coherencia.

Como resultado de la tercera etapa se obtuvo una composición RGB (Figura 9), donde la imagen de coherencia se asignó al canal Red (Rojo), el promedio al canal Green (Verde) y la diferencia al canal Blue (Azul).

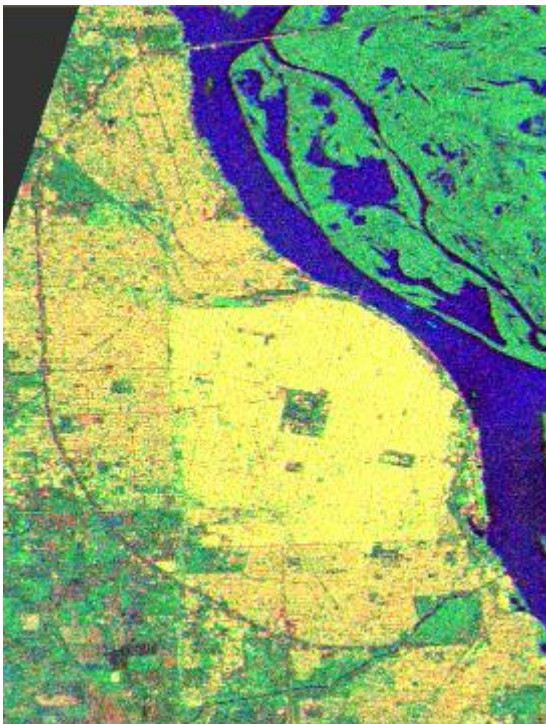


Figura 9. Subset del área de estudio de la composición RGB.

En dicha composición RGB se visualiza en color amarillo la zona edificada,

correspondiendo al área de mayor coherencia, en azul los espejos de agua y en verde las áreas vegetadas apreciándose una cierta variación en las parcelas cuyo uso es agrícola.

La huella urbana para los valores de umbral 0,6 y 0,7 se obtuvieron en la cuarta etapa (Figuras 10 y 11), donde se observa la huella urbana (píxeles con valor 1 en tono de blanco) y ausencia de la misma (píxeles con valor 0 en tono de negro).



Figura 10. Subset de la huella urbana (U=0,6).



Figura 11. Subset de la huella urbana (U=0,7).

En la Figura 12 se visualiza el resultado del pre-procesamiento realizado a las capas Manzanas y Parcelas#.

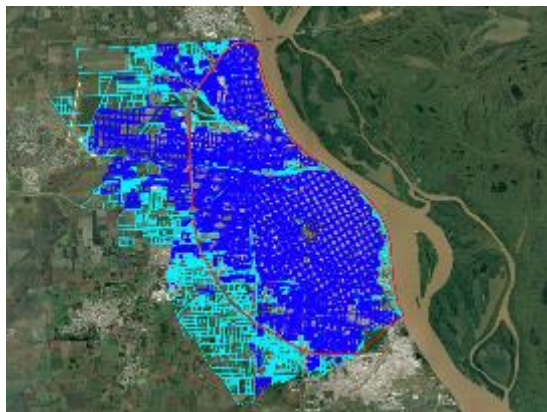


Figura 12. Área de estudio; a) manzanas (azul) y b) parcelas sin asignación de número de manzana (cian).

En el análisis visual se compararon los resultados de las huellas urbanas con los umbrales 0,6/0,7 y GUF, tomando como

referencia la imagen satelital base de Google Maps del año 2017 (Figura 13, 14 y 15). A tales fines se representan los píxeles de la huella urbana con una transparencia media (40%) y la ausencia con una transparencia total (100%).



Figura 13. Superposición de la máscara U=0,6 a la imagen satelital Google Maps.



Figura 14. Superposición de la máscara U=0,7 a la imagen satelital Google Maps.



Figura 15. Superposición de la máscara GUF a la imagen satelital Google Maps.

En la Figura 13 y 14, en la zona del casco céntrico de la ciudad de Rosario se observó una concordancia entre los píxeles identificados como huella urbana con los umbrales 0,6 y 0,7 y las áreas urbanizadas fácilmente visibles en la imagen satelital base de Google Maps, si bien esta concordancia resultó mayor para la huella 0,6.

En cambio, en el área por fuera del casco céntrico se observó una concordancia menor de las huellas 0,6 y 0,7 en relación a la imagen satelital base de Google Maps, dado que en distintas manzanas la presencia de edificaciones y construcciones fue fácilmente visibles por la ausencia de píxeles con valor 1 de la máscara; siendo aún menor dicha concordancia para la huella 0,7.

Por último, en la Figura 15 se observó que la GUF seleccionó el área urbanizada en el

total del área de estudio pero en algunos sectores fue por exceso, dado que se presentaron superficies naturales seleccionadas como urbanizadas.

Si bien el análisis visual permitió arribar a una descripción cualitativa, la obtención de los indicadores 10 y 11 habilitó a realizar un análisis preliminar cuantitativo donde se comparó las huellas 0,6 y 0,7 en relación a GUF.

A partir de la diferencia de superficie entre la huella urbana 0,6 y GUF por unidad de área se clasificaron los valores en 5 intervalos (Figura 16). Del mismo modo se procedió con la diferencia de superficie entre la huella urbana 0,7 y GUF por unidad de área (Figura 17). Finalmente, se calculó el número de polígonos (POL_MP) en cada uno de los intervalos y su porcentaje se presenta en la Tabla 1.

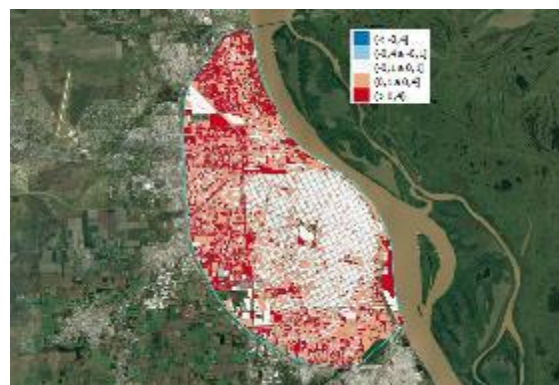


Figura 16. Clasificación de las diferencias entre las superficies de las huellas urbanas 06 y GUF, por unidad de área.

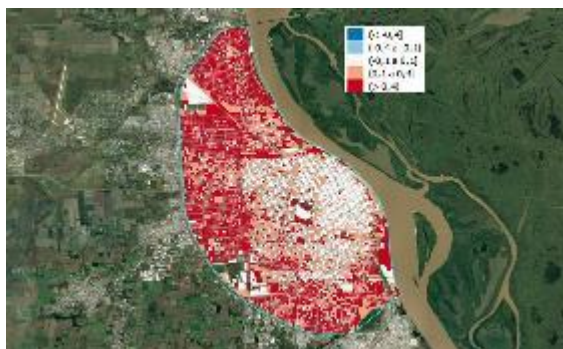


Figura 17. Clasificación de las diferencias entre las superficies de las huellas urbanas 07 y GUF, por unidad de área.

Rango	U06 %	U07 %
(< -0,4]	0,31	0,16
(-0,4 a -0,1]	1,46	0,66
(-0,1 a 0,1]	33,33	20,94
(0,1 a 0,4]	32,70	26,71
(> 0,4)	32,20	51,53
Total	100,00	100,00

Tabla 1. Distribución de los polígonos (POL_MP) considerando la diferencia en superficie de la huellas urbanas 0,6 y 0,7 en relación a GUF, por unidad de área.

Un 33,33% de los polígonos (POL_MP) con valores entre -0,1 y 0,1 indicó que la diferencia entre la huella urbana 0,6 y GUF fue mínima. En un porcentaje muy bajo (1,77%) de los polígonos (POL_MP) la huella urbana 0,6 identificó áreas urbanizadas, no detectadas por GUF. Por último, en un 64,9% de los polígonos (POL_MP) la metodología utilizada por GUF detectó una superficie mayor del área

urbanizada que la huella urbana con umbrales 0,6.

En la Tabla 1, en el intervalo “0,1 a 0,4”, el porcentaje de la huella urbana 0,6 fue más alto respecto de la huella 0,7 en un 5,99% y en el intervalo “>0,4” un porcentaje menor en 19,33%, que indicó que para los polígonos (POL_MP) la huella 0,6 resultó ajustar mejor que la huella 0,7, siendo en este último intervalo donde se presentó las diferencias más grandes en relación a GUF. Este resultado guarda la misma tendencia que la observada en el análisis visual.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio, las siguientes consideraciones surgieron de interés, las cuales podrían ser contempladas en futuras investigaciones en esta línea de trabajo, a saber:

- Probar con diferentes valores de umbral. A pesar de que los valores tomados fueron 0,6 y 0,7 dado que eran los sugeridos por la metodología utilizada, quizás utilizar uno que requiera menor exigencia en la coherencia hubiera sido un modelo más semejante al GUF como también acercarse más a la huella urbana real.
- Mejorar la resolución espacial de la huella urbana seleccionando otras

imágenes satelitales radar de alta resolución como Radarsat-2, COSMO-SkyMed, entre otras.

- Seleccionar imágenes del período invernal para obtener una menor incidencia de la vegetación urbana en el producto final.
- Para complementar la validación de los datos se podría generar una máscara de vegetación utilizando imágenes satelitales ópticas que permita contrastar la detección del área no edificada.
- Realizar trabajo de campo en base a las áreas donde hay mayor diferencia en la detección que permita arribar a una conclusión más cercana a la realidad.
- Validar el resultado obtenido con datos oficiales disponibles en el Servicio de Catastro e Información Territorial (SCIT) de la Provincia de Santa Fe.

Conclusiones

A partir de la metodología educativa del EO-College seleccionada y de los datos disponibles a través del portal Copernicus se logra identificar la huella urbana en el área comprendida entre el Río Paraná y la Ruta Nacional A008 en la Ciudad de Rosario, Provincia de Santa Fe, en el año 2018.

Desde el análisis visual se puede concluir que la metodología utilizada para identificar la huella urbana con un umbral 0,6 permite identificar píxeles correspondientes al área urbana, siendo esta selección de mayor concordancia en el casco céntrico que en la periferia.

Si bien en la creación del producto GUF se utilizaron imágenes satelitales de radar del período 2011-2013 y en las huellas urbanas obtenidas en este estudio a partir de imágenes satelitales del año 2018, resulta de interés la comparación considerando que una gran proporción de estructuras antrópicas se mantienen estables en el tiempo en la Ciudad de Rosario. Este análisis preliminar cuantitativo permite concluir en el mismo sentido del análisis visual que la mayor concordancia se halla en casco céntrico, mientras que las diferencias más importantes se localizan en el área periférica. Se puede notar mayor predominancia de diferencias positivas lo cual se debe a que la máscara obtenida por GUF detecta mayor superficie edificada.

Los resultados obtenidos en el presente estudio podrían ser considerados por estamentos gubernamentales para mejorar la información de los sitios poblados a ser utilizada con fines de planificación u ordenamiento territorial.

Bibliografía

Agencia Espacial Alemana. (24 de Mayo de 2018). *DLR Portal*. Obtenido de http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-9628/16557_read-40454/

Esch, T., Heldens, W., Hirner, A., Keil, M., Marconcini, M., Roth, A., Zeidler, J., Dech, S., Strano, E. (2017): Breaking new ground in mapping human settlements from space – The Global Urban Footprint. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 134 (2017) 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.10.012>

Esch, T., Schenk, A., Ullmann, T., Thiel, M., Roth, A., Dech, S. (2011): Characterization of Land Cover Types in TerraSAR-X Images by Combined Analysis of Speckle Statistics and Intensity Information. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 49, Issue 6, pp. 1911-1925. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2010.2091644>.

European Commission. (4 de Mayo de 2018). *Copernicus Open Access Hub*. Obtenido de [https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products\('de108251-9aed-463e-91dc-1c5b8d8109d0'\)/\\$value](https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('de108251-9aed-463e-91dc-1c5b8d8109d0')/$value)

European Commission. (4 de Mayo de 2018). *Copernicus Open Access Hub*.

Obtenido de [https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products\('c2b1cf90-5746-447f-80aa-60122909723e'\)/\\$value](https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('c2b1cf90-5746-447f-80aa-60122909723e')/$value)

European Space Agency [ESA]. (Mayo de 2018). *Sentinel Online*. Obtenido de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/naming-conventions>

Gobierno de Santa Fe. (24 de Mayo de 2018). *Portal Gobierno de Santa Fe*. Obtenido de [https://www.santafe.gob.ar/index.php/web/content/view/full/113126/\(subtema\)/104569](https://www.santafe.gob.ar/index.php/web/content/view/full/113126/(subtema)/104569)

Lyalin, K., Biryuk, A., Sheremet, A., Tsvetkov, V., & Prikhodko, D. (2018). *UAV synthetic aperture radar system for control of vegetation and soil moisture*. Lecture, Moscú, Rusia.

Mari, N. (2012). Diseño de un Sistema de Alerta y Respuesta Temprana a Incendios de Vegetación (Maestría). Universidad Nacional de Córdoba.

Mayorga Torres, T. (2013). Determinación de la deformación del terreno por movimientos en masa usando interferometría SAR (Radar de Apertura Sintética) (Maestría). Universidad Nacional de Córdoba.

Municipalidad de Rosario. (24 de Mayo de 2018). *Sitio de la Municipalidad de Rosario*. Obtenido de

<http://www.rosario.gov.ar/web/ciudad/caracteristicas/informacion-territorial-y-datos-demograficos>

Taubenbock, H., Esch, T., Felbier, A., Roth, A., & Dech, S. (2011). Pattern-Based Accuracy Assessment of an Urban Footprint Classification Using TerraSAR-X Data. *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, 8(2), 278-282. Obtenido de

<http://dx.doi.org/10.1109/lgrs.2010.2069083>

Taubenböck, H., Felbier, A., Esch, T., Roth, A., & Dech, S. (2012). Pixel-based classification algorithm for mapping urban footprints from radar data: a case study for RADARSAT-2. *Canadian Journal Of Remote Sensing*, 38(3), 211-222. doi: 10.5589/m11-061

Voltersen, M., Esch, T., Berger, C., Eckardt, R., (2017). Module 3105: Urban Areas. Urban footprint. *SAR-EDU Remote Sensing Education Initiative*.