

Delineación del Área Urbana y Rural del Estado Aragua – Venezuela, utilizando Percepción Remota

Delineation of the Urban and Rural Areas of Aragua State - Venezuela, using Remote Sensing

Obdulis Y. Hermoso, *Investigadora, ABAE*, Manuel E. Aguiar, *Investigador, ABAE*

Resumen — Algunas poblaciones a nivel mundial presentan ritmos muy altos de crecimiento demográfico y rápidas modificaciones del tejido urbano generando como consecuencia la dificultad de planificación de desarrollo urbanístico para una ciudad.

La teledetección espacial es una herramienta de vital interés para la observación permanente de las ciudades, exhaustividad en la geografía de una zona, generando reducción de costos operacionales, tiene carácter numérico de los datos, riqueza de la información registrada, captación del tejido urbano y las diferenciaciones internas en la ciudad se vuelven posibles.

El presente estudio utilizó datos de los satélites: Landsat 8 y Suomi National Polar - orbiting Partnership (Suomi NPP), con el propósito de vectorizar las zonas urbanas y rurales del estado Aragua, Venezuela. A partir de los datos capturados se obtiene la reflectancia espectral, permitiendo así la visualización de las diferentes variables, como la vegetación, construcciones, cuerpos de aguas, entre otros; y con el uso de índices se realizó la caracterización del terreno en la zona de estudio; mientras que los datos del Suomi NPP realizan capturas nocturnas de las luces artificiales de asentamientos humanos y producen valores de radianza en unidades de nano Watts/cm²/sr. La integración de los resultados de ambos satélites, muestra la delineación de las poblaciones rurales y urbanas en la zona de estudio.

Palabras claves — Índices, Landsat - 8, percepción remota, reflectancia, Suomi NPP.

Abstract — Some worldwide populations have very high rates of population growth and rapid changes in the urban fabric resulting in the difficulty of urban development planning for a city.

Space remote sensing is a vital tool for permanent observation of cities, intensive study in the geography of an area, reducing operating costs, numerical nature of data, richness of recorded information, capture of the urban fabric and differentiations in the city become possible.

The present study used satellite data: Landsat 8 and Suomi National Polar - orbiting Partnership (Suomi NPP), with the purpose of vectorizing the urban and rural areas of Aragua state, Venezuela. From the captured data the spectral reflectance is obtained, allowing the visualization of the different variables, such as vegetation, buildings, water bodies, among others; and with the use of indices the characterization of the terrain was

carried out in the study area; while the Suomi NPP data make nighttime captures of man-made artificial light from human settlements and produce radiance values in units of nanowatts / cm² / sr. The integration of the results of both satellites shows the delineation of rural and urban populations in the study area.

Index Terms — Index, Landsat - 8, reflectance, remote sensing, Suomi NPP.

I. INTRODUCCIÓN

EN los últimos años se han presentado una serie de cambios espaciales asociados al crecimiento de sectores urbanos en gran parte de nuestro territorio. Este panorama dinámico genera la necesidad de actualizar las bases cartográficas, para hacer frente a la planificación territorial basada en criterios espaciales de información georeferenciada. De ahí, se define la teledetección como la recopilación e interpretación de información sobre un objetivo sin estar en contacto físico con el objeto. Adicionalmente, proporciona una vista de la zona y la diferencia de textura, forma y patrón para diferentes unidades. Esa experiencia demuestra que la técnica de sensores remotos permite la obtención de información de zonas de difícil acceso en campo [1].

De esta manera, es necesario contar con una serie de procedimientos, técnicas y herramientas que permitan dar solución a interrogantes espaciales con miras a entender el cambio de uso del terreno en áreas pobladas, evaluar los impactos de estos cambios en los ecosistemas y recursos regionales. Aplicar tecnologías para el monitoreo, análisis y predicción de tasas, patrones e impactos de cambios del terreno como consecuencia de causas naturales y humanas. Con este propósito, se estableció como objetivo general de la investigación la delimitación del área rural y urbana del estado Aragua, Venezuela, el cual posee una extensión geográfica de 7014 km² y una población estimada para el año 2015 de 2.475.689 de habitantes según el Instituto Nacional de Estadística, ocupando el 6^{to} lugar de los estados más poblados de Venezuela. A partir del empleo de técnicas de interpretación visual y digital de imágenes satelitales Landsat 8 y Suomi National Polar - orbiting Partnership (Suomi NPP), el cual proporciona mejoras significativas en el monitoreo ambiental operacional y predicción numérica del tiempo, con imágenes de 22 bandas y radiométricas que cubren longitudes de onda de 0,41 a 12,5 micrones, proporcionando los registros de datos del sensor para 23 registros de datos ambientales incluyendo aerosol, propiedades de nubes, fuego, albedo, el hielo y la nieve, la vegetación, la temperatura superficial del

Este trabajo fue presentado ante el II Congreso Venezolano de Tecnología Espacial en Septiembre 2017.

O. Y. Hermoso pertenece a la Unidad de Observación de la Tierra, Dirección de Aplicaciones Espaciales, Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales, VEN (e-mail: obdulis@gmail.com /ohermoso@abae.gob.ve).

M. E. Aguiar pertenece a la Unidad de Observación de la Tierra, Dirección de Aplicaciones Espaciales, Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales, VEN (e-mail: manuelavia2009@gmail.com /maguiar@abae.gob.ve).

mar, el color del océano y las aplicaciones relacionadas con la luz visible durante la noche [2]. Esto permitiría que los planificadores urbanos y los responsables de la toma de decisiones comprendan y evalúen oportunamente el crecimiento urbano con los cambios relacionados con la cobertura de la tierra y sean conscientes del uso sostenible de las inestimables tierras naturales.

II. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio seleccionada corresponde al estado Aragua – Venezuela (Fig.1), limitada al Norte con el Mar Caribe, se presentan montañas de la cordillera de la Costa y de la Serranía del Interior. En medio del sistema montañoso se encuentran la depresión del lago de Valencia y los valles de Aragua. Al este con los estados Miranda y Vargas, mientras que la parte Sur del estado está incrustada en el estado Guárico y al Oeste limita con el estado Carabobo.

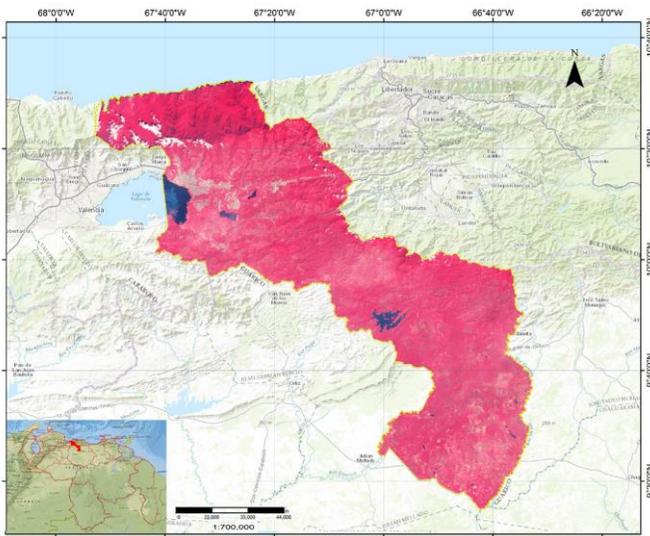


Fig. 1 Ubicación del área de estudio.

III. METODOLOGÍA

En el desarrollo de esta investigación se utilizaron imágenes de los sensores OLI-TIRS y VIIRS-DNB (Ver Tabla 1).

Inicialmente se realizó la corrección espectral de la escena del sensor OLI, transformando los valores de número digital (ND) a reflectancia en el tope de la atmosfera (TOA) [3].

Los valores enteros de 16 bits en el producto L1 también se pueden convertir en reflectancia TOA. La siguiente ecuación se utiliza para convertir los valores DN de nivel 1 a reflectancia TOA, según lo establecido en (1).

$$\rho\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

Donde:

- $\rho\lambda'$ = TOA Reflectancia Espectral Planetaria, sin la corrección del ángulo solar. (Sin unidad).
- M_p = Factor multiplicador de reflectancia para la banda. (REFLECTANCEW_MULT_BAND_n de los metadatos).
- A_p = Factor de escala aditivo de reflectancia para la banda (REFLECTANCE_ADD_BAND_N de los metadatos).
- Q_{cal} = L1 valor de píxel en ND

TABLA I
PARÁMETROS DE LOS SATELITE LANDSAT – 8 Y SUOMI NPP

Parámetros	Landsat - 8	Suomi NPP
Agencia	U.S. Geological Survey	The Earth Observations Group (EOG) at NOAA/NCEI
Sensor	OLI_TIRS	VIIRS_DNB
N° escena	LC80040532016347LGN00	SVDNB_npp_20150101-20151231_75N180W_vcm_v10_c201701311200.avg_rade9
Fecha de captura	2016-12-12	2015-01-01 al 2015-12-31
Ubicación	10N67W	75N180W
Descarga	https://earthexplorer.usgs.gov/	https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html

Después de haber realizado la corrección atmosférica se procedió al cálculo de diferentes índices de vegetación, con el fin de mejorar el análisis espectral y visual del objetivo de estudio en combinación de datos que se pueden extraer de la banda 10 y la integración de estos productos con la imagen VIIRS - DNB (Luz nocturna) permitió generar la delimitación de zonas urbanas y rurales de estado Aragua. Con el fin de facilitar la comprensión del lector, se establece el siguiente diagrama de flujo (Fig. 2).



Fig. 2 Diagrama de la metodología.

A) Cálculo de diferentes índices de vegetación (NDVI, NDWI, SAVI, NDBI).

1) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Con el fin de destacar las áreas con mayor vigor de la planta y reducir el efecto de las sombras causadas por el relieve, se utilizan índices de vegetación.

Inicialmente, el NDVI se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (2)$$

En la Fig. 3 - A, se muestran zonas con un alto índice de brillo (blanco) lo cual representa un valor de píxel cercano a 1, es decir, una vegetación en buen estado de salud o que su condición de biomasa es abundante. Por lo contrario, los valores que oscilan entre -1 y 0 indican una vegetación estresada o inexistente. Para efectos de visualización se aplicó una escala de colores, donde se observa en tonos verdes los valores comprendidos entre 0.5 y 1 los resultados en la Fig. 3 - B.

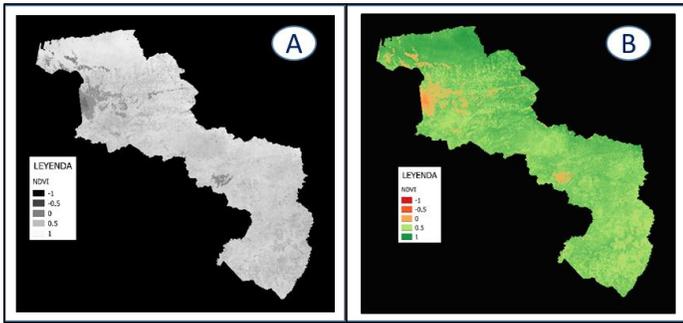


Fig. 3 A. Imagen NDVI de Landsat-8 en escala de grises. B. Imagen NDVI de Landsat-8 en colores de rojo a verde.

2) Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)

Este índice se calculó para delinear características de agua abierta, que se expresa de la siguiente manera:

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR) \quad (3)$$

Este índice maximiza la reflectancia del agua utilizando longitudes de onda de luz verde y minimiza la reflectancia de NIR por las características del agua mientras que toma ventaja de la alta reflectancia de la vegetación y características del suelo [4].

Como resultado, las características del agua se mejoran dado que los valores positivos de la vegetación y el suelo se suprimen debido a que tienen valores cero o negativos. Sin embargo, las aplicaciones del NDWI en las regiones del agua con el fondo del suelo construido como el caso de la ciudad de Maracay no eran tan acertadas como la expectativa. La información sobre el agua extraída en estas regiones a menudo se mezclaba con el ruido del área construida porque muchas zonas urbanizadas también tienen valores positivos en la imagen derivada del NDWI. Las características del suelo construido son similares con las del agua, es decir, reflejan la luz verde más que el infrarrojo cercano.

En consecuencia, el cálculo del NDWI también produce un valor positivo para la tierra construida al igual que para el agua. Para remediar este problema, [5] modificó el NDWI usando una banda infrarroja media (MIR) para sustituir la banda NIR en el NDWI.

El NDWI modificado (MNDWI) se expresa de la siguiente manera:

$$MNDWI = (VERDE - MIR) / (VERDE + MIR) \quad (4)$$

Si se utiliza una banda MIR en lugar de una banda NIR, la tierra construida debe tener valores negativos manteniendo los valores de agua positivos. Por consiguiente, las características mejoradas del agua ya no tendrán un ruido de tierra construido en una imagen MNDWI (Fig. 4).

3) Índice de Vegetación Ajustada al Suelo (SAVI)

Este estudio utilizó el SAVI para destacar las características de la vegetación debido a su ventaja sobre el NDVI cuando se aplica en un área con baja cubierta vegetal como las áreas urbanas. SAVI puede trabajar en el área con una cobertura vegetal de hasta el 15%, mientras que el NDVI sólo puede trabajar eficazmente en el área con una cobertura vegetal superior al 30% [6].

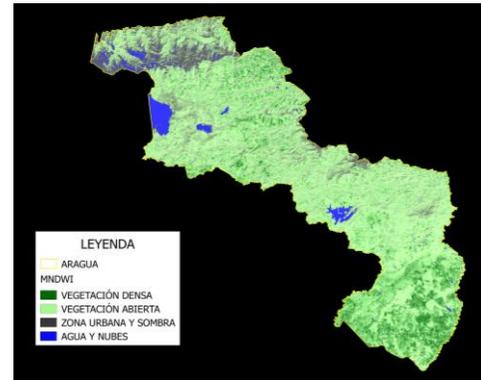


Fig. 4 Imagen Landsat - 8 MNDWI.

El SAVI se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$SAVI = \left\{ \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \right\} * (1 + L) \quad (5)$$

Donde L es un factor de corrección que varía de 0 para densidades muy altas a 1 para densidades muy bajas. Se utilizó un valor de 0,5 en este estudio debido a que la zona posee una densidad de vegetación intermedia (Fig. 5).

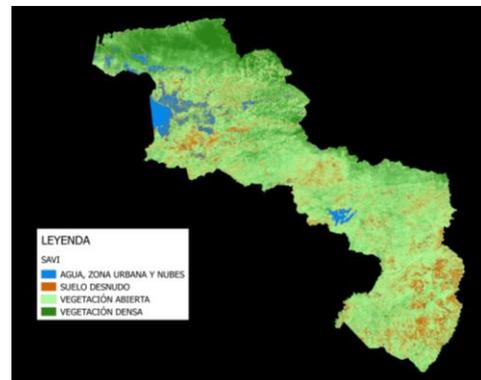


Fig. 5 Imagen Landsat - 8 SAVI.

4) Índice de construcción de diferencia normalizada (NDBI)

El desarrollo del índice fue basado en la respuesta espectral única de los suelos edificadas que tienen mayor reflectancia en el rango de longitud de onda MIR (2,107 μm - 2,294 μm) que en el rango de longitud de onda NIR (0,851 μm - 0,879 μm).

NDBI se calculó con la siguiente fórmula:

$$NDBI = (MIR - NIR) / (MIR + NIR) \quad (6)$$

En esta investigación se muestran algunas zonas de vegetación con valores positivos de NDBI, en ciertos lugares donde se debería obtener valores negativos. De igual manera, ocurre en zonas de cuerpos de agua con alta concentración de material en suspensión (CMS), con un comportamiento en el cual la longitud de onda MIR se manifiesta con mayor intensidad que en la onda NIR. Por tanto, la reflectancia se eleva en la región de longitudes de onda larga. La vegetación más seca y el agua con CMS alto tendrán valores NDBI positivos. Cuando se calcula utilizando (6), presentando ruido en la imagen NDBI.

El contraste de la escena NDBI no presenta valores tan óptimos como en los índices SAVI y MNDWI, debido a que gran cantidad de los píxeles de la vegetación y cuerpos de agua poseen valores NDBI positivos, siendo considerados como ruido en los resultados obtenidos (Fig 6).

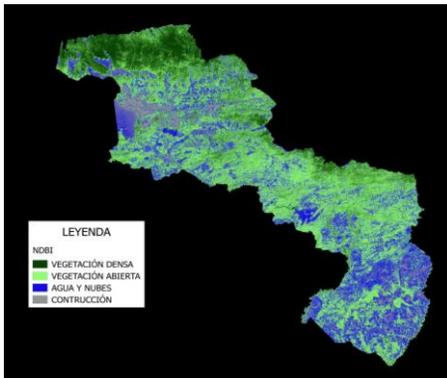


Fig. 6 Imagen Landsat – 8 NDBI.

Esto sugiere que las características urbanas no pueden ser extraídas simplemente sobre la base de un Imagen NDBI. Así que es necesario combinar el NDBI con SAVI y MNDWI para extraer el acumulado. Esta combinación puede eliminar la vegetación y el ruido del agua, y mejorar así la extracción de las edificaciones (Fig. 7).

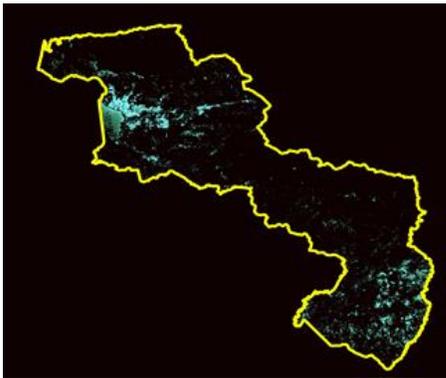


Fig. 7 Extracción de la imagen acumulada (Combinación NDBI, SAVI y MNDWI).

B) Cálculo de la temperatura de imágenes Landsat – 8.

Para el cálculo de la temperatura es necesario convertir los valores ND (Número Digital) a la radianza espectral [1], y utilizando (7) de acuerdo con los valores de los metadatos de la imagen.

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (7)$$

Donde

- $L\lambda$ = Espectro ($W / (m^2 * sr * \mu m)$)
- ML = Factor de escalado multiplicativo de radianza para la banda (RADIANCE_MULT_BAND_n de los metadatos)
- AL = Factor de escalado aditivo de la radianza para la banda (RADIANCE_ADD_BAND_n de los metadatos).
- Qcal = L1 valor de píxel en ND.

Para el cálculo de la temperatura es necesario convertir los valores ND (Número Digital) a radianza espectral (1).

Entonces, la temperatura de brillo se emite desde el suelo de cálculo de superficie por la ecuación:

$$T = \frac{K2}{Ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (8)$$

Donde

- T = TOA Temperatura de brillo, en Kelvin.
- $L\lambda$ = Espectro ($W / (m^2 * sr * \mu m)$)
- K1 = Constante de conversión térmica para la banda (K1_CONSTANT_BAND_n de los metadatos)
- K2 = Constante de conversión térmica para la banda (K2_CONSTANT_BAND_n de los metadatos)

Los datos obtenidos a partir de la temperatura superficial son en grados Kelvin, y posteriormente transformados a grados Celsius. [7]

De acuerdo con los valores obtenidos a partir de la imagen de la temperatura superficial se realizó la clasificación, como se muestra en la Fig. 8, que presenta una uniformidad de temperatura según los diferentes rangos.

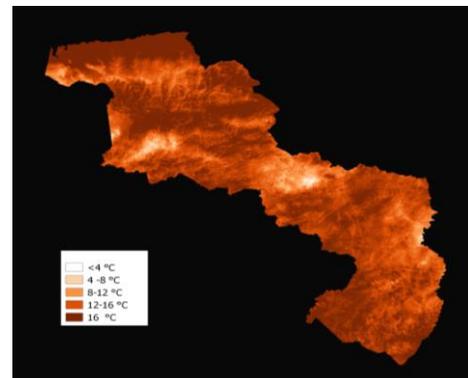


Fig. 8 Imagen Landsat – 8 Temperatura superficial.

C) Datos Suomi NPP (datos de luz nocturnos).

Los datos se descargaron del sitio web de NGDC-NOAA (National Geophysical Data Center 2016).

En función de sus altos valores de brillo, son asociados a posibles zonas pobladas o de actividad humana (Fig. 9).

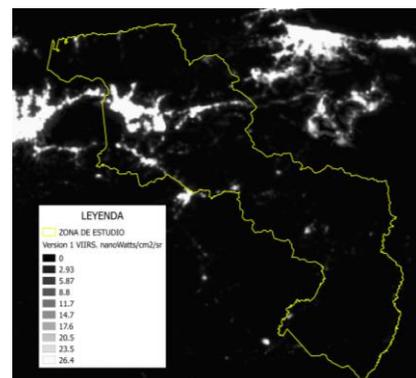


Fig. 9 Imagen Suomi NPP.

III. RESULTADOS

La integración de la imagen Suomi NPP (Datos de luz nocturna) con las imágenes productos de la extracción de zonas construidas, a partir de los índices y temperatura utilizando las herramientas de los programas Erdas y QGIS (Fig. 10), con el fin de identificar muy claramente los umbrales que delimitan el estado Aragua con las áreas urbanizadas y los umbrales de menor intensidad permanecen como áreas rurales, siendo generados vectorialmente.

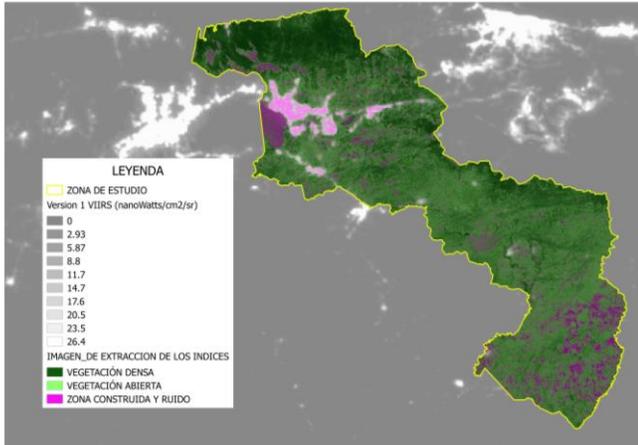


Fig. 10 Combinación entre la Imagen de áreas construidas e imagen Suomi NPP.

Adicionalmente, se muestra una comparación de la imagen Suomi NPP y temperatura superficial, donde se observa una evidente coincidencia en las áreas asociadas actividades humanas con temperaturas superiores a >19 C° y valores de luminosidad equivalentes a 32.81 (nanoWatts/cm²/sr), resaltantes en las principales ciudades del estado Aragua (Fig. 11).

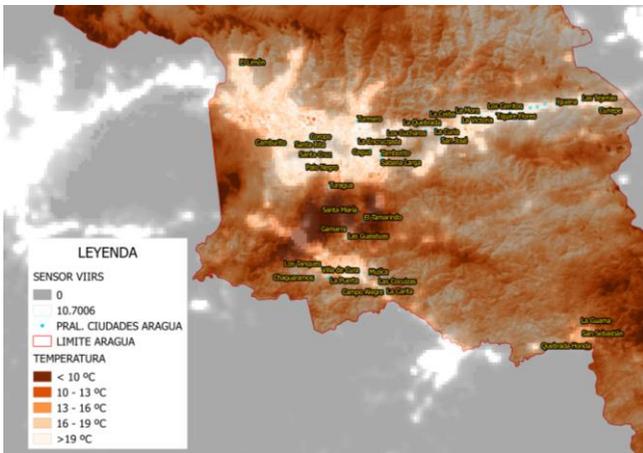


Fig. 11 Combinación entre la Imagen de temperatura superficial e imagen Suomi NPP.

En este estudio se realizó la vectorización de los umbrales de luminosidad para la imagen. A partir de las Fig.12 - 13, donde se combinan diferentes índices, temperaturas y brillo (Suomi NPP) es posible determinar los perímetros de las áreas definidas como urbanas y rurales correspondientes al estado Aragua [8]. Aproximadamente se obtiene un área urbana total

de 742,877 km² y rural de 570,105 km². Los perímetros de los umbrales se indican en la Fig. 12.

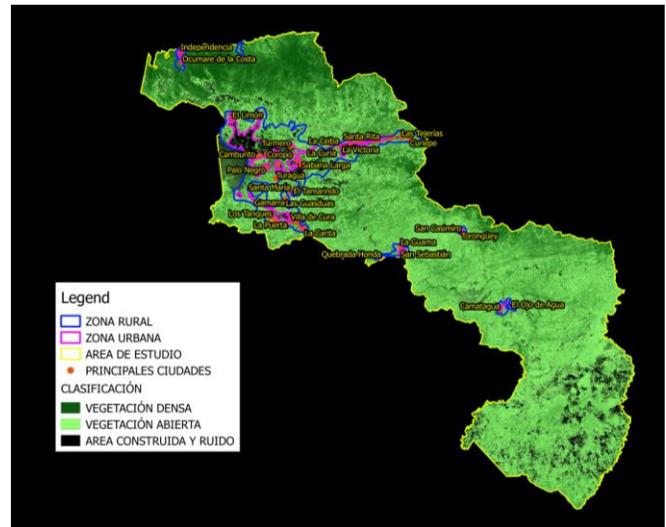


Fig. 12 Zonas construidas obtenidas a partir de imágenes Landsat – 8. Zonas urbanas (polígonos de color magenta) y rural (polígonos de color azul).

IV. CONCLUSIONES

El conocimiento de la distribución espacial de las coberturas de uso del suelo es indispensable para la formulación de políticas efectivas de ordenamiento territorial y de gestión sostenible de las actividades humanas a distintos niveles de organización. Actualmente, las técnicas de percepción remota han facilitado los estudios de caracterización del territorio que permiten manipular grandes volúmenes de información geográfica.

A partir de los datos disponibles, se observó que la detección de ciudades como Maracay, La Victoria, Las Tejerías,..., y pueblos (El Ojo de Agua, La Carita, Quebrada Honda,...) está limitada por varios factores como el agua y la arena seca, ya que contienen grandes cantidades de sedimentos y minerales que causan una reflectancia similar a las áreas construidas, siendo este el principal problema localizado en el área de estudio como resultado de su entorno geográfico. Incluso con estas limitaciones, la imagen de la luz nocturna del Suomi NPP es un dato potencial para identificar la presencia humana, no sólo las regiones urbanas, sino también cualquier otra actividad que requiera iluminación, ya que la agricultura está estrechamente relacionada con las zonas rurales.

Es un factor importante la obtención y/o cálculo de las áreas construidas debido a que son la base para determinar la correspondencia entre las áreas urbanas homogéneas y los umbrales de brillo que delimitan las imágenes Suomi NPP.

Este estudio muestra con éxito que las imágenes Landsat - 8 y Suomi NPP pueden usarse para delinear tipos de cobertura vegetal urbana y rural.

REFERENCIAS

- [1] Rojas, Justo, 2014. Delineation of urban and rural area of Dehradun using Remote Sensing.
- [2] Cao, C., F. DeLuccia, X. Xiong, R. Wolfe, F. Weng, Early On-orbit Performance of the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) onboard the Suomi National

- Polar-orbiting Partnership (S-NPP) Satellite, IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sens., Volume: 52, Issue: 2, Digital Object Identifier: 10.1109/TGRS.2013.2247768, Publication Year: 2014, Page(s): 1142 - 1156.
- [3] USDOJ, USGS, 2016. L8SDS-174 Landsat 8 (L8) Data Users Handbook v2.0. Marzo 29, 2016. 66-69pp. descargado Julio 01, 2016 desde: <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>.
- [4] McFeeters S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing.
- [5] Xu, H., (2005). A study on information extraction of water body with the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Journal of Remote Sensing.
- [6] Ray, T.W., 1994. Vegetation in remote sensing FAQs, Applications, ER Mapper, Ltd., Perth, CD-ROM.
- [7] Xu, H., (2007). Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic-oriented Index Combination Technique. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 73, No. 12.
- [8] Herold, M., Liu, X., and Clarke, K., (2003). Spatial metrics and image texture for mapping urban land use. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.



Obdulis Y. Hermoso, nació el 7 de mayo de 1991, en la ciudad de Cagua, estado Aragua, Venezuela. Desde joven se interesó en materias relacionadas a la geociencias, por ello cursó estudios en la Universidad Central de Venezuela, obteniendo el título de Ingeniera Geofísica en el año 2015. Para ese mismo

año, comenzó a ejercer su campo profesional en la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE), donde forma parte como investigadora en la Unidad de Observación de la Tierra. Allí, realiza investigaciones enmarcadas en los estudios geofísicos y su aplicación en la teledetección, las cuales contribuyen al entendimiento de las diferentes variables que intervienen en la gestión de riesgos y desarrollo sustentable del medio ambiente, comprendiendo los fenómenos físicos que acontecen en la Tierra utilizando los principios y prácticas de la Física, a fin de conocer su comportamiento y de resolver problemas relacionados con ella. Asimismo, elabora proyectos estratégicos vinculados con el sector social y educacional, atendiendo la demanda de solicitudes espaciales y la problemática relacionada con riesgos geológicos y ambientales. Participa como instructora en cursos de Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales de la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales. Actualmente, cursa estudios avanzados, en la Universidad Central de Venezuela, en la Maestría de Ciencias Geológicas, de la Facultad de Ingeniería.



Manuel E. Aguiar, nació en Caracas en el año 1976, recibió el título de Técnico Superior Universitario en Mecánica en el 2000, para luego ingresar a la Fuerza Armada y terminar estudios en el 2001, ejerciendo como mecánico aeronáutico en los sistemas MIRAGE-50V de la Aviación Militar Bolivariana hasta el

2011, durante su ejercicio laboral en la Aviación Militar

comienza estudios simultáneamente de Ingeniería Civil en la Universidad Nacional Experimental de la Fuerza Armada (UNEFA), culminando estudios en 2012 obteniendo el título de Ingeniero Civil.

Desde el 2001 ha ejercido diferentes cargos como el de motorista de los sistemas de armas de la Aviación Militar Bolivariana, MIRAGE-50V, Súper Puma. En el 2011 cumplió funciones en la Milicia Bolivariana de Venezuela como Jefe de la Ayudantía de la Dirección General de Personal, así como también cumplió funciones alternas en el Estado mayor Eléctrico, fue asistente en el proyecto de creación del Instituto de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Armada, estuvo como asistente del representante de la Fuerza Armada en la Junta Directiva de la Agencia Bolivariana para las Actividades Espaciales.

Siempre está en constante búsqueda de desarrollo académico y profesional, ha realizado diplomado en la India de Procesamiento de Imágenes Satelitales y Fotogrametría, en el Indian Institute of Remote Sensing (IIRS), curso de Gerencia de Proyectos Espaciales –ABAE entre otros.

Ha participado como instructor en el curso de Procesamiento Digital de Imágenes del Satélite Miranda, de la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales, además de haber participado en la fase preliminar del desarrollo del VRSS-2 en la República Popular China. En la actualidad desempeña funciones como investigador en la Unidad de Observación de la Tierra, generando estudios detallados de las imágenes del VRSS-1 Satélite Miranda y próximamente VRSS-2 Satélite Sucre, así como otras plataformas satelitales, desarrollando diferentes tipos de investigaciones con imágenes satelitales.