

USO DE SENSORES REMOTOS Y VANTs PARA LA GESTION TERRITORIAL DE ÁREAS VERDES URBANAS EN MEXICO

Fabiola D. Yépez Rincón*, Adrián L. Ferriño Fierro, Víctor H. Guerra Cobián y Benjamín Limón Rodríguez

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Calle Pedro de Alba s/n, Centro, 64000 San Nicolás de los Garza, N.L., México

*fabiola.yepez@gmail.com

Resumen:

En México, las áreas verdes urbanas son vulnerables, no sólo debido al desarrollo agresivo de las ciudades, que generalmente carece de normatividad y regulaciones, sino también porque los municipios no tienen la estructura para obtener datos actualizados en el proceso de toma de decisiones. Esta investigación presenta el proceso para integrar en el corto plazo a una metodología que estandarice la forma de obtener información sobre las áreas verdes urbanas para su gestión y conservación utilizando imágenes satelitales de muy alta resolución y a los Sistemas Aéreos No Tripulados (VANTs) como una herramienta complementaria. El área de estudio es el municipio de General Escobedo, donde el área verde por metro cuadrado fue calculada de manera precisa y clara para alcanzar una escala cartográfica local. El estudio, presenta los resultados de la geometría de polígonos, obtenidos a partir de la clasificación supervisada de una imagen WorldView-3 y el análisis del Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) como una primera evaluación que determine la condición de las áreas verdes urbanas y el avance preliminar de la elaboración de cartografía 3D para la generación de una línea base de la vegetación como antecedente para dar seguimiento a los programas de reforestación.

Palabras-clave: Cartografía 3D, Fotogrametría aérea, Structure For Motion.

Abstract

In Mexico, urban green areas are vulnerable, not only due to the aggressive development of cities, which generally lacks regulations and regulations, but also because municipalities do not have the structure to obtain updated data in the decision-making process. This research presents the process to integrate in the short term a methodology that standardizes the way to obtain information about urban green areas for its management and conservation using very high resolution satellite images and Unmanned Aerial Systems (UAVs) as a complementary tool. The study area is the municipality of General Escobedo, where the green area per square meter was calculated accurately and clearly to reach a local cartographic scale. The study presents the results of the geometry of polygons, obtained from the supervised classification of a WorldView-3 image and the analysis of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) as a first evaluation to determine the condition of urban green areas and the preliminary progress of the preparation of 3D cartography for the generation of a vegetation baseline as background to follow up on the reforestation programs.

Keywords: 3D Cartography, Aerial photogrammetry, and Structure For Motion.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la población urbana se encuentra en un patrón creciente, calculándose que, para el 2030 cerca del 75% de la población total se concentrará en las ciudades (UNFPA, 2007). Este fenómeno generará un deterioro ambiental vinculado al crecimiento de las ciudades debido a la inadecuada planeación, contribuyendo a los cambios ambientales globales y locales por el consumo de recursos, el cambio de uso de suelo y la producción de residuos. La urbanización que no cuida la proporción con los ambientes naturales representa una amenaza para la calidad del ambiente urbano y, por lo tanto, la calidad de vida de los habitantes.

La importancia de los espacios verdes es reconocida y existen ejemplos de gobiernos que han tomado iniciativas importantes para su conservación. El Gobierno Metropolitano de Santiago em Chile (2015) menciona que “Los espacios verdes tienen una función primordial en la organización territorial y en la calidad de vida de sus habitantes y sus barrios. Sin embargo, para que efectivamente generen beneficios de largo plazo, estos espacios requieren de sustentabilidad en el tiempo y de la implementación de mecanismos de gestión capaces de garantizar su uso como factor determinante, pues este será el indicador básico de su adecuación al entorno social, de su justificación como inversión y de su rentabilidad futura”.

De acuerdo con la CONAMA (1998), las “áreas verdes urbanas” se definen como “los espacios urbanos, encontrados dentro de la ciudad o en la periferia de las mismas, que son predominantemente ocupados con árboles, arbustos o plantas, que pueden tener diferentes usos, ya sea el de cumplir funciones ecológicas, protección, recuperación y rehabilitación del entorno, hasta funciones de esparcimiento, recreación u otras similares”. La importancia de la gestión de las áreas verdes urbanas, radica en que juegan un rol amortiguador ante los efectos negativos de la urbanización, al disminuir o mitigar los impactos antrópicos en las ciudades; además de brindar beneficios recreacionales, sociales y de paisaje. Distintos autores urbanistas y ambientalistas coinciden en que un solo árbol representa la imagen deseada del entorno en la ciudad y por lo tanto, en teoría la vegetación urbana genera la identidad colectiva, valor histórico, valor económico, científico y educacional de desarrollo sustentable (Moll & Ebenreck, 1989; Lin, 1983).

La relación entre las áreas construidas y las áreas verdes, es de suma importancia pues de esto dependen aspectos sociales, ambientales, económicos, estéticos y de salud pública. Son un recurso clave para obtener beneficios a nivel local y global (Linn, 1983), jugando un rol crítico en la calidad de vida de la población urbana (Zhangab et al., 2010). La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconociendo el rol de las áreas verdes urbanas en la salud pública recomienda que en las ciudades existan, al menos, una superficie de 9 m² por cada habitante. Por otra parte, numerosos estudios que apuntan a la inversión de infraestructura verde para promover la salud humana y ecosistémica de las ciudades (Lee et al. 2011; Tzoulas et al., 2007), mejorar la calidad de vida (Takano et al., 2002), mejorar la calidad del aire de las ciudades (Yang et al., 2008), o mitigar las altas temperaturas de los ambientes urbanos (Norton et al., 2015).

A pesar de todos estos beneficios, las áreas verdes urbanas en México son vulnerables no solo debido al desarrollo agresivo de las ciudades (Jenks, 2002), que generalmente carece de normatividad y regulaciones, sino también porque los municipios no tienen la estructura para obtener datos actualizados en el proceso de toma de decisiones.

Administrativamente, las áreas verdes urbanas, se dividen en aquellas que son manejadas por el municipio, las áreas verdes particulares como patíos o baldíos, las áreas de vegetación riparia

que al encontrarse al margen de ríos y arroyos pertenecen a la administración federal y las áreas verdes que se encuentran protegidas y son reconocidas ya sea por el Estado o por la Federación como Áreas Naturales Protegidas o ANPs. El conocimiento de la ubicación, superficie y condición de las áreas verdes municipales es necesario para implementar un plan de gestión municipal efectiva y eficiente.

Sin embargo, hay preguntas técnicas sobre qué método usar para mejorar la precisión cartográfica y para estimar y actualizar adecuadamente las áreas verdes urbanas en un entorno altamente cambiante, como las ciudades en crecimiento. Tal es el caso del Municipio de Escobedo, en donde el área verde urbana por metro cuadrado ha sido calculada en el pasado con diferentes estudios, los cuales utilizan métodos que no han sido claros o carecen de la resolución de datos para alcanzar una escala adecuada y por lo tanto no proporcionan las herramientas para la decisión haciendo sobre su gestión y conservación.

La meta de éste proyecto es la implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) de las áreas verdes urbanas a través de la construcción de una base de datos que facilite la gestión de la información en línea, tanto para la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología como para la Secretaría de Servicios Públicos, quienes se encargan de la gestión de las AVU de Escobedo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo de éste estudio fue elaborar un inventario de áreas verdes del municipio de Escobedo con una base SIG, que determinara la superficie en m² por habitante de manera precisa y actualizada, así como su condición general, utilizando tecnología de punta.

1.2.2. Objetivos Específicos

- 1) Clasificar la imagen satelital por tipo de cobertura (vegetación, área verde urbana, calles, suelo desnudo, área urbanizada), 2) Digitalizar y cartografiar las áreas verdes a escala 1:5,000, y 3) Determinar el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para conocer la condición de las áreas verdes urbanas.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudio

El Municipio de Escobedo cuenta con 148.8 km², con una población de 450,000 habitantes, su población se remite a una densidad de 3,024 habitantes por km². De acuerdo con el Continuo Nacional del Conjunto de Datos geográficos de las Cartas de Climas, Precipitación Total Anual y Temperatura Media Anual a Escala 1:1,000,000 Serie I, del INEGI, las temperaturas promedio anuales vaían de 18 – 24°C, y precipitaciones entre 300 – 600mm. El clima se caracteriza por ser

seco muy cálido y cálido (74%), seco semicálido (25.9%), semiseco muy cálido y cálido (0.1%). Según el Mapa de la Red Hidrológica Digital de México a escala 1:250,000 el municipio pertenece a la Región Hidrológica Bravo-Concho dentro de las subcuencas del Río Pesquería y el Río Salinas El Conjunto de Datos Vectorial Edafológico Escala 1:250,000 señala que tipo de suelo varía en porcentajes y distribución en Chernozem (32.2%), Leptosol (21.9%), Calcisol (21.8%), No aplicable (16.5%), Phaeozem (7.2%) y Fluvisol (0.4%). El Conjunto de Datos Vecotriales de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1:250,000 indica que la cobertura de suelo tiene Agricultura (16%) y zona urbana (23%) Matorral (48%) pastizal (11%) y bosque (2%) y los datos del Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Geológica 1:250,000 Serie I, indican su formación en el período Cuaternario (82%), Cretácico (11%) y Neógeno (7%).

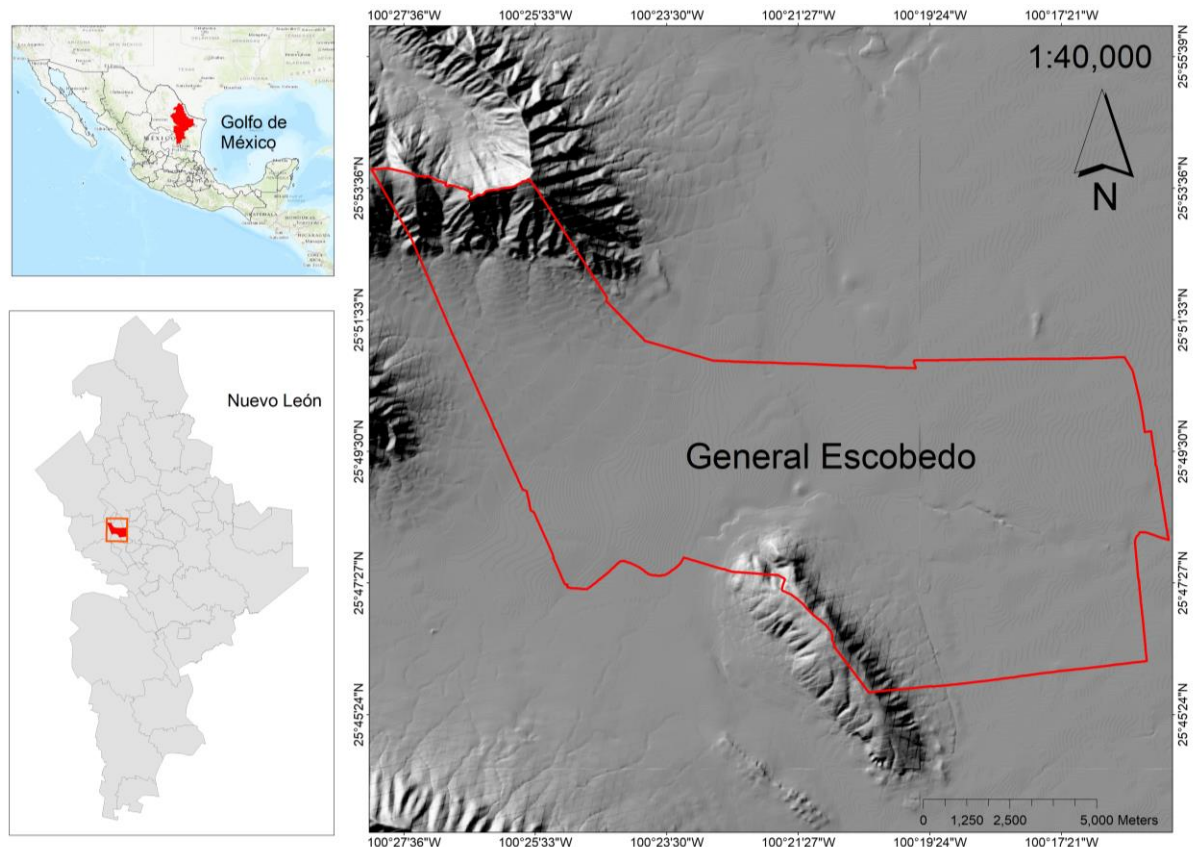


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

2.2. Datos - WorldView 3

Los sensores ópticos de muy alta resolución como las imágenes satelitales permiten realizar cartografía 2D precisa de las clases de cobertura del suelo en las áreas urbanas (Kumar et al., 2012). En esta investigación utilizamos una imagen de satélite World View 3 (WV3) que cubre

más del 50% del área de estudio (Figura xx, diapositiva 17), la imagen contiene cuatro bandas espectrales: Red: 630 - 690 nm, Blue: 450 - 510 nm, Green: 510 - 580 nm, Near-IR1: 770 - 895 nm (Figura 2).

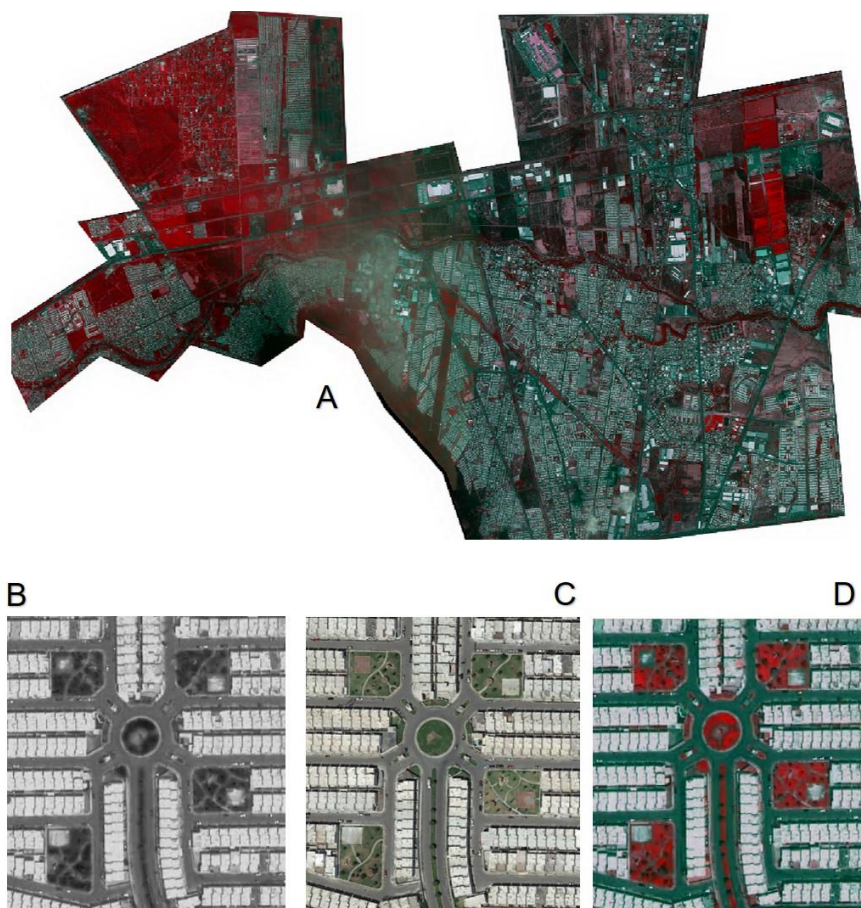


Figura 2. Imagen WV2 del município com um exemplo de acercamiento a un parque donde B) es una sola banda de información, C) es la combinación de las bandas RGB y D) es la combinación de las cuatro bandas incluyendo la infrarroja cercana.

2.3. Clasificación supervisada

La metodología forma parte, de una metodología ya probada en el área metropolitana por YépezRincón y Lozano-García 2017, en la cual se realiza una clasificación de cobertura del suelo urbano utilizando los datos multiespectrales de imágenes satelitales de muy alta resolución y con la cual se determinan espacialmente las áreas verdes urbanas. El proceso aparece en el siguiente diagrama (Figura 3).

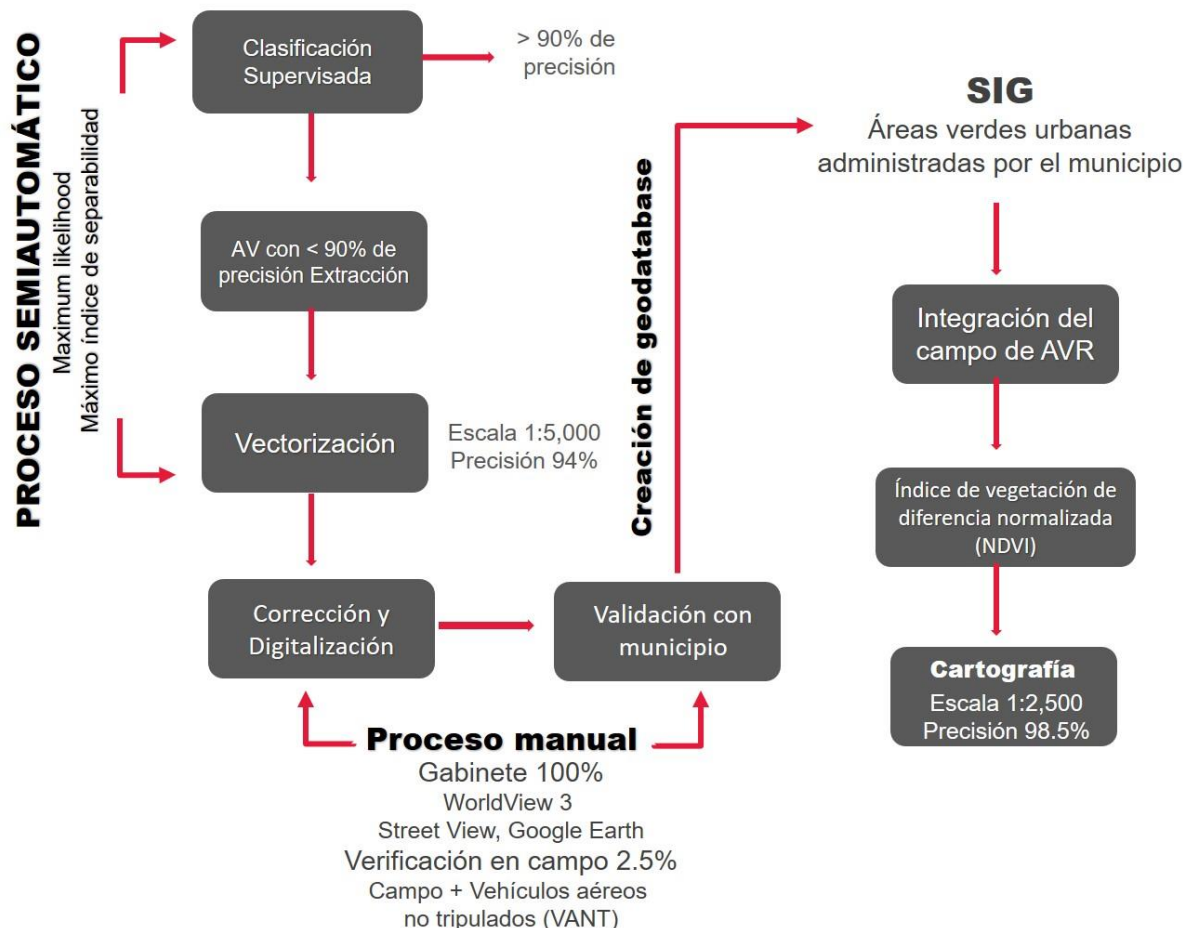


Figura 3. Processo metodológico.

La clasificación que se realiza es supervisada y utiliza el algoritmo Maximum Likelihood para identificar los patrones espectrales entre las clases y clusterizarlos. En este punto, el resultado es evaluado para alcanzar una precisión igual o mayor al 94%. Esta metodología permite que una vez identificadas las clases la información sea vectorizada, corregida, y/o digitalizada para formar polígonos. La información fue validada con el personal del municipio tanto en gabinete, La validación se realizó en gabinete para el 100% de las áreas tanto en su ubicación como en las dimensiones del polígono. Se realizaron dos tipos de clasificación: 1) áreas verdes / áreas verdes reforestadas (AVR), 2) parques / camellones. Entendiéndose por “parque” a las áreas verdes abiertas o cercadas destinadas a las actividades recreativas, físicas o de esparcimiento de los ciudadanos que pueden incluir plazas os parques lineales y, por “camellones” a las aceras centrales de una avenida con características de áreas verdes.

2.4. NDVI

NDVI fue utilizado para determinar la densidad del verde de los polígonos se observaron los distintos colores (longitudes de onda) de la luz solar visible e infrarroja cercana reflejada por las plantas. El pigmento en las hojas de la planta, la clorofila, absorbe fuertemente la luz visible (de 0.4 a 0.7 μm) para su uso en la fotosíntesis. La estructura celular de las hojas, por otro lado, refleja fuertemente la luz infrarroja cercana (de 0.7 a 1.1 μm). Cuantas más hojas tiene una planta, más se ven afectadas estas longitudes de onda de luz, respectivamente. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS}) \quad (1)$$

Donde: NIR es la radiación infrarroja cercana y VIS es la radiación visible.

2.5. Cartografía

La cartografía llegó a obtener una precisión del 98.5% a una escala de 1:2,500 al integrar los datos vectoriales finales. Se desarrolló un mapa base para la exportación en formato digital de las 95 áreas reforestadas, y un mapa base para la exportación de todo el municipio a escala 1:10,000. Y se generó una carpeta en línea para compartir la información con las autoridades municipales.

2.6. Generación de ortomosaicos con VANTs

Los VANTs son robots voladores preprogramados formados por un sistema aéreo con antena y un sistema de control de tierra. Los VANT también son conocidos como drones y están siendo diseñados para uso geomático y ofrecen la oportunidad de tomar imágenes de muy alta resolución, y ampliar el período de revisión entre dos tomas de muestras, al programar vuelos que pueden seleccionarse para adaptarse a diversas escalas. El proceso que se siguió para obtener ortomosaicos con una mayor resolución (2.5 cm por pixel) fue implementado en el Parque Metropolitano, que representa el 6.7% de la superficie de áreas verdes. Se utilizó un VANT DJI Inspire 2, es un cuadracóptero con cámara incorporada Zennuse X4S, 20 Megapixels, 8.8mm / F2.8- 11, FOV84 ° y estabilizador de 3 ejes. Los vuelos se realizan a una altura de 120 m sobre el suelo con bandas paralelas para lograr al menos un 80% de superposición directa y al menos un 70% de superposición lateral. Las fotografías obtenidas se procesaron utilizando un software en la nube.

3. RESULTADOS

El área verde urbana administrada por el municipio fue 419.82 Ha, de las cuales el 81% pertenecen a parques. Un total de 1539 polígonos de áreas verdes administradas por el municipio fueron encontradas, la mínima área encontrada fue de 21.99 m² y el polígono con la mayor área fue de 26.25 Ha. Las 95 áreas reforestadas reportadas por el municipio representan el 20.7% de la superficie total de áreas verdes (Tabla 1).

Tabla 1. Áreas verdes urbanas totales por tipo y clases

	Tipo	Polígonos	%	Ha	%	m ² /hab
Clase 1	Área verde municipal	1539	100	419.82	100	9.33
	Área verde reforestada	135	8.77	86.94	20.71	1.93
	Área verde no reforestada	1404	91.23	332.87	79.29	7.40
Clase 2	Área verde en parques	765	49.71	340.55	81.12	7.57
	Área verde em camellones	774	50.29	79.27	18.88	1.76

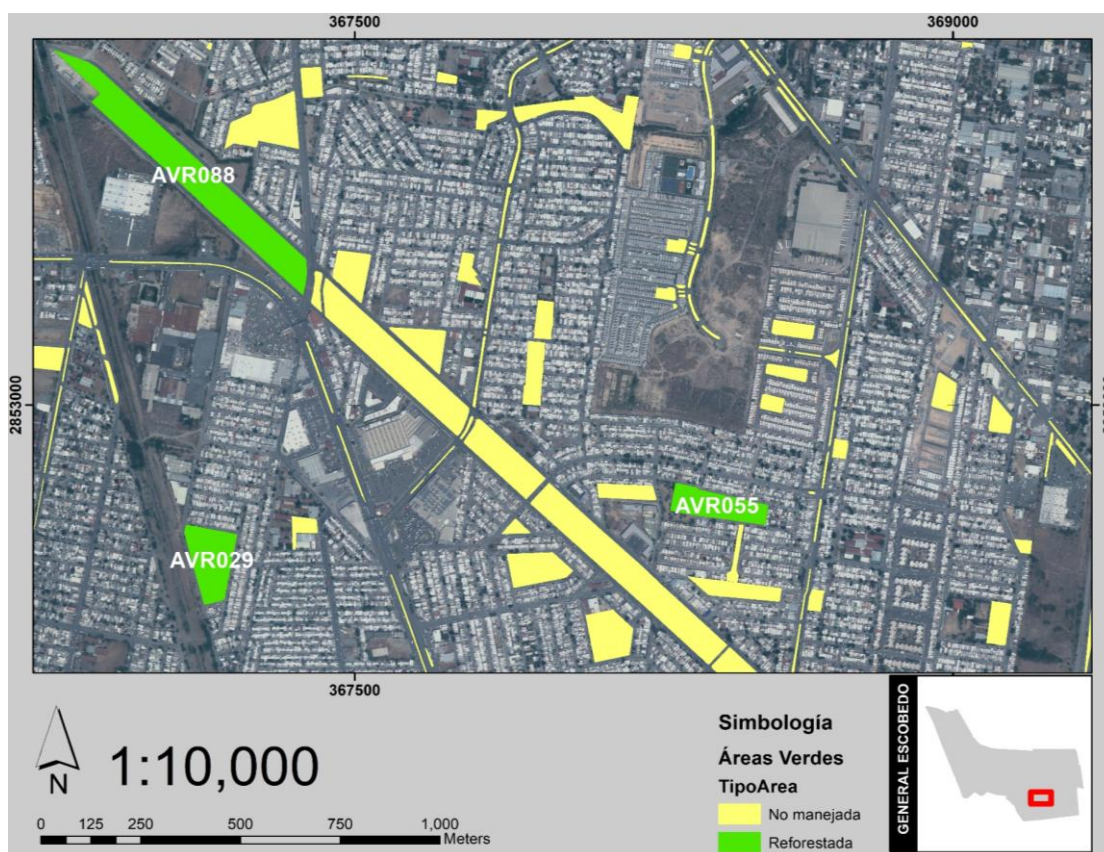


Figura 4. Cartografía resultante con los tipos de manejo del área verde urbana.

Los polígonos de áreas verdes tienen una tendencia de medidas, resultando una moda de polígonos entre 1000 y 2500 m² como el cohorte con mayor representatividad y los polígonos

maiores a 1 Há solo representam um 5% del total de casos.

El análisis del NDVI indica um rango de -1 a 0.775. La condición del NDVI varía por el tipo de área verde se observa em la Tabla 2, donde aprecian números que varían um mayor grado en las 86.83 Ha de las áreas verdes que tuvieron un manejo de arborización donde el rango va de -0.64 a 0.718. Mientras que los camellones van de -1 a 0.758.

Tabla 2. Estadísticas del NDVI por tipo de área verde urbana

	Ha	NDVI mínimo	NDVI máximo
Áreas verdes totales	419.82	-1	0.775
Áreas verdes reflorestadas	86.83	-0.64	0.718
Áreas verdes en parques	340.55	-1	0.775
Áreas verdes en camellones	79.27	-1	0.758

La cartografía para representar los parques y su NDVI se aprecia en la Figura 5, que representa a un parque com áreas verdes e infraestructura de canchas, banquetas y camellones. Donde la coloración verde indica el NDVI más cercano al 1, por lo tanto donde existe vegetación, la tonalidad naranja-amarilla representa áreas con pastos y suelos desnudos y la roja representa asfalto o concreto, como es el caso de canchas u construcciones.

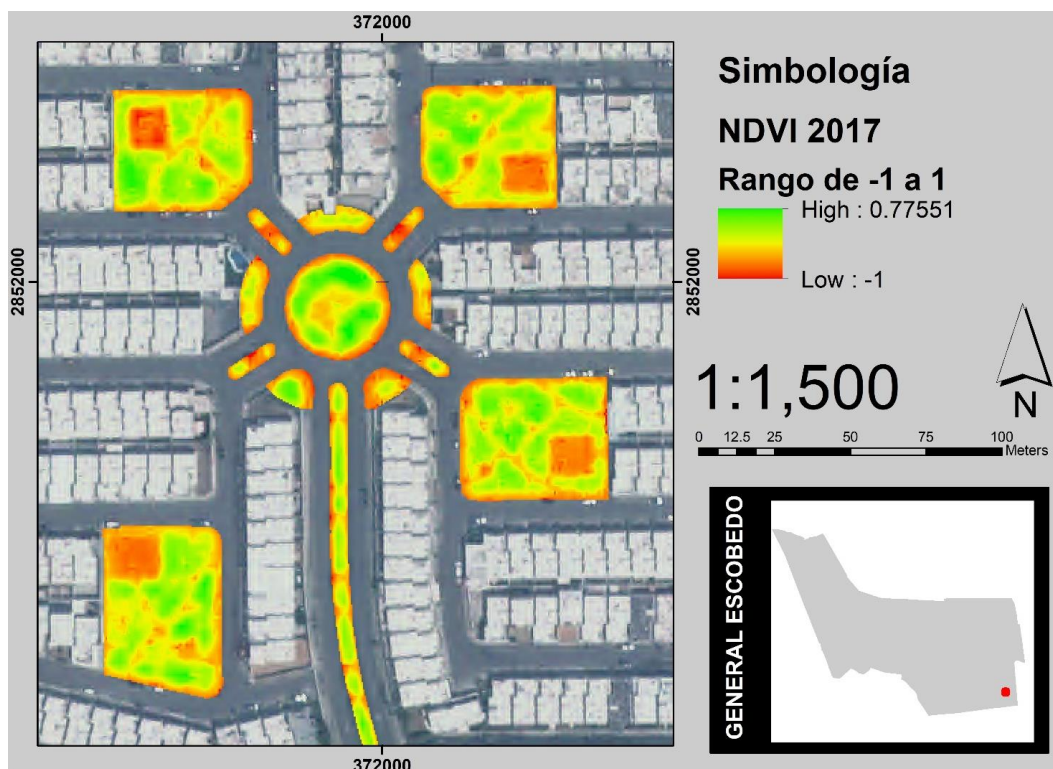


Figura 5. Ejemplo de um parque con la cartografía de valores NDVI.

4. CONCLUSIONES

El municipio de Escobedo cuenta con 9.33 m² de área verde por habitante, por lo que cumple con la superficie mínima recomendada por la Organización Mundial de la Salud.

Escobedo cuenta con más de 1500 polígonos de áreas verdes variando en superficie de 22 m² a 26.2 Ha, y sólo el 5% de los polígonos son mayores a 1 Ha.

La cobertura total de áreas verdes urbanas es de 419.81 Ha, de los cuales el 81% pertenecen a parques (incluyendo parques lineales y parques recreativos) y 19% a camellones (incluyendo glorietas).

Un total de 135 polígonos pertenecientes a 95 parques y camellones fueron reforestados en la administración 2015-2018. El total de superficie manejada representa el 20% de las áreas verdes con una plantación de 4000 árboles (Municipio de Escobedo).

El análisis de NDVI indica que en el municipio el rango varió de -1 a 0.775 para el total de las áreas verdes, mientras que las áreas reforestadas el rango fue de -0.64 a 0.718.

El 2% de las áreas verdes municipales no tienen AGEB asignada. Este tipo de información servirá para obtener información a nivel de árbol y sus parámetros dasométricos.

Agradecimientos

Se agradece al Municipio de Escobedo, NL por el apoyo brindado para elaborar exitosamente el proyecto y a la Facultad de Ingeniería Civil y al Cuerpo Académico de Ciencias del Agua por el apoyo recibido para elaborar este documento.

Referencias bibliográficas

- Ambiente, M. Urbanos de Santiago de Chile (AMS, 2006).
- Bastén, V. G. (2005). Sobre sistemas, tipologías y estándares de áreas verdes en el planeamiento urbano. *DU & P: revista de diseño urbano y paisaje*, 2(6), 2.
- CONAMA, Comisión Nacional del Medio Ambiente. 1998. Informe del Estado del ambiente. Ministerio del Medio Ambiente de Chile.
- GMS, 2016. Política Regional de Áreas verdes. Región Metropolitana de Santiago. Gobierno Metropolitano de Santiago, 118p.
- Hecht, R., Meinel, G., & Buchroithner, M. F. (2008). Estimation of urban green volume based on single-pulse LiDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(11), 3832- 3840.

- INEGI. 2017. Marco Geoestadístico nacional. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/default.aspx>
- INEGI. 2012. Sistema para la consulta de información censal (SCINCE Versión 05/2012)
- Jenks, M. (2002). Introduction: Sustainable urban form in developing countries?. In *Compact Cities* (pp. 13-18). Routledge.
- Jiménez Perez, J., G. Cuéllar, E. Treviño. 2013. Áreas verdes del Municipio de Monterrey. UANL. 21p.
- Lee, A. C., & Maheswaran, R. (2011). The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. *Journal of public health*, 33(2), 212-222
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., & Williams, N. S. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127-138.
- Takano, T., Nakamura, K., & Watanabe, M. (2002). Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 56(12), 913-918.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning*, 81(3), 167-178.
- UNFPA (2007). Estado de la población mundial 2007. Liberar el potencial del crecimiento urbano, México. Fondo de Población de las Naciones Unidas.
- Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric environment*, 42(31), 7266-7273.
- Yépez-Rincón F.D., & Lozano García, D. F. (2014). Mapeo del arbolado urbano con lidar aéreo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(26), 58-75.