

Recepción de original: Agosto 2021 | Aceptación: Octubre 2021.

Celemín, J. P.; Arias, M° E. (2021). "La vegetación en barrios de Mar del Plata. Estudio a partir de imágenes satelitales". *Revista i+a, investigación más acción*, N° 24, p. 57-67.

LA VEGETACIÓN EN BARRIOS DE MAR DEL PLATA. ESTUDIO A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES.

*Juan Pablo Celemín;
María Eugenia Arias*

RESUMEN

La vegetación urbana ofrece numerosos beneficios que mejoran la calidad del ambiente y las condiciones de vida de la población residente pero rara vez la información obtenida a través de imágenes satelitales es trasladada a una escala útil para la planificación ambiental urbana, como son los barrios de una localidad. En este contexto, el trabajo determina el total de la cobertura arbórea para la ciudad de Mar del Plata para luego establecer un valor de vegetación para cada barrio de la localidad a partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Los resultados muestran que los árboles representan el 14,90 % de la superficie total de la ciudad mientras que el NDVI promedio es de 0,179 para toda la localidad, a la vez que tiende a aumentar desde los barrios de las zonas centrales hacia la periferia. Por otra parte, se registran 77 barrios con valores considerados moderados y el resto tiene valores más bajos. No obstante, la cartografía muestra valores altos en algunos barrios cercanos al centro y resalta la importancia de las reservas forestales urbanas como zonas de conservación.

PALABRAS CLAVE

Vegetación urbana | Cobertura Arbórea | NDVI | Barrios de Mar del Plata |

DATOS DE LOS AUTORES

Juan Pablo Celemín. Doctor en Geografía. Investigador Independiente en el Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Trabaja en temas socioambientales en escala urbana y regional a partir del uso de herramientas de Geomática.

Contacto: jpcelemín@conicet.gov.ar

ORCID: 0000-0002-8917-8061.

María Eugenia Arias. Magíster en Gestión Ambiental. Becaria Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas en el Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Trabaja en temas ambientales, en particular los vinculados con la gestión de la vegetación urbana.

Contacto: me.arias@conicet.gov.ar

ORCID: 0000-0002-1592-2230 .

The vegetation in Mar del Plata's neighborhoods. Study from satellite images.

ABSTRACT

Urban vegetation offers numerous benefits that improve the quality of the environment and the living conditions of the resident population, but the information obtained through satellite images is rarely transferred to a scale useful for urban environmental planning, such as neighborhoods in a location. In this context, the work determines the total tree cover for the city of Mar del Plata and then establishes a vegetation value for each neighborhood of the locality based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The results show that trees represent 14,90 % of the total area of the city, while the average NDVI is 0,179 for the entire locality, while at the same time it tends to increase from the neighborhoods of the central areas to the periphery. On the other hand, 77 neighborhoods are registered with values considered moderate and the rest have lower values. However, the cartography shows high values in some neighborhoods near the center and highlights the importance of urban forest reserves as conservation areas.

KEYWORDS

Urban vegetación | Tree cover | NDVI | Mar del Plata's Neighborhoods |

A Vegetação nos bairros de Mar Del Plata. Estudo a partir de imagens de satélite.

RESUMO

A vegetação urbana oferece inúmeros benefícios que melhoram a qualidade do meio ambiente e as condições de vida da população residente, mas as informações obtidas por meio de imagens de satélite raramente são transferidas para uma escala útil o planejamento ambiental urbano, como bairros de uma cidade. Nesse contexto, o trabalho determina a cobertura arbórea total para a cidade de Mar del Plata e, a seguir, estabelece um valor de vegetação para cada bairro da localidade com base no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Os resultados mostram que as árvores representam 14,90% da área total da cidade, enquanto o NDVI médio é de 0,179 para toda a localidade, enquanto tende a aumentar dos bairros das áreas centrais para a periferia. Por outro lado, 77 bairros estão cadastrados com valores considerados moderados e os demais com valores inferiores. No entanto, a cartografia mostra valores elevados em alguns bairros próximos ao centro e destaca a importância das reservas florestais urbanas como áreas de conservação.

PALAVRAS-CHAVE

Vegetação urbana | Cobertura arbórea | NDVI | Bairros de Mar del Plata |

INTRODUCCIÓN

La vegetación urbana brinda cuantiosos beneficios que mejoran tanto la calidad del ambiente como las condiciones de vida de la población residente. La presencia de vegetación en el sistema genera beneficios en cuatro ámbitos distintos: en la parte social, al mejorar la calidad de vida de las personas, creando entornos más confortables para la convivencia, el desarrollo de actividades deportivas y la generación de identidad y comunidad. En relación al ambiente urbano, se incluyen múltiples beneficios como la reducción de la temperatura y del ruido, además de disminuir las inundaciones, entre otros. Asimismo, se produce un acrecentamiento de la salud física y mental de las personas, así como la reducción del estrés. Por último, en el aspecto económico: al mejorar la calidad ambiental de las ciudades se genera un incremento en las propiedades (Nowak, 2018).

La manera en que se puede determinar la cantidad y estado de la vegetación a gran escala es por medio del uso de imágenes satelitales que permiten obtener diferentes índices de vegetación, entre los que se destaca el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI-). No obstante, la amplia mayoría de los trabajos relacionados a la vegetación se mantiene en la escala ráster, y rara vez es transformada a un nivel compatible con datos socioeconómicos, como puede ser el radio censal o el barrio. Poder visualizar el NDVI a nivel barrial, como es en este caso, es fundamental como herramienta de gestión ya que permite relacionarlo directamente con el territorio local.

Existen varios índices de vegetación obtenidos a partir de la combinación de bandas de imágenes satelitales, aunque el NDVI es el más utilizado. El uso de la teledetección, junto con los sistemas de información geográfica (SIG), ha sido reconocido como una herramienta poderosa y efectiva para comprender la dinámica cambiante de las ciudades (Lu, et al., 2018). Ambos son esenciales para un enfoque que examina las ciudades de manera integral teniendo en cuenta sus propiedades sociales, económicas, ambientales y físicas. Otras ciudades ya han realizado trabajos en los que se calcula el NDVI por barrio, una escala más útil para la gestión ambiental urbana. Entre los casos más recientes se puede mencionar los casos de Guangzhou (China) Wan et al., (2021); Medellín

(Soto-Estrada, 2020); Crato (Brasil) Pinheiro y Oliverira Silva (2019).

Por su parte, dentro de la vegetación en ciudades, los árboles tienen un papel importante en las áreas urbanas al mejorar la calidad del aire, mitigando la isla de calor urbana, reduciendo la escorrentía de aguas pluviales y proporcionando hábitat para biodiversidad. Por eso, la estimación precisa y actualizada de la cobertura de copas de árboles urbanos es una necesidad básica para la gestión de espacios verdes en las ciudades, ya que proporcionan una métrica a partir de la cual se puede entender la variación y el cambio de cobertura (Parmehr et al., 2016). Las ciudades más “verdes” son por lo general, más eficientes en términos de calidad de agua, aire y conservación de la energía. Por lo tanto, puede decirse, que los árboles son productores de servicios ecosistémicos, ya que están involucrados y facilitan los procesos que se llevan a cabo en el ecosistema urbano.

Los árboles y bosques urbanos son un elemento fundamental en el ambiente de una ciudad pues brindan diversos beneficios de carácter ambiental, estético, paisajístico, recreativo, social y económico. Sin embargo, muchas veces esos servicios se ven subestimados pues se perciben como intangibles por la sociedad y terminan siendo dejados a un lado en el momento de tomar decisiones acerca del manejo y planeación de la ciudad (Soto, 2010). De acuerdo a los beneficios antes mencionados es imprescindible contar con un preciso conocimiento del arbolado público existente como punto de partida para la elaboración de un adecuado plan de gestión.

Hay una carencia de estudios sobre la vegetación urbana en la ciudad de Mar del Plata a escala barrial y menos aún en una escala apropiada para la gestión ambiental local como es el formato vectorial a partir de los polígonos de los barrios. Por lo tanto, en este contexto, el presente trabajo plantea dos objetivos centrales. El primero es cuantificar el arbolado de la ciudad de Mar del Plata a través del programa *i-Tree Canopy*, desarrollado por el Servicio Forestal de Estados Unidos con la finalidad de proporcionar análisis de silvicultura urbana y rural y herramientas de evaluación de beneficios. El segundo es determinar el NDVI para cada uno de los barrios a los fines de establecer la variabilidad espacial de la vegetación y servir, a la vez, como un instrumento de gestión a partir de la cartografía elaborada.

Es para destacar como en pocos años la tecnología ha favorecido un cambio sustancial en el estudio del arbolado urbano de manera que la información obtenida habitualmente en trabajos de campo pueda ser complementada, mejorada y actualizada con relativa rapidez a través de la utilización de distintas herramientas que son cada vez más sencillas de utilizar. Mientras que el uso de imágenes satelitales requiere conocimientos técnicos específicos, el programa *i-Tree Canopy* permite de manera sencilla, con mayor precisión y de forma online obtener superficies de coberturas con alto nivel de detalle cuyos resultados pueden ser actualizados con relativa facilidad.

El área de estudio son los barrios consolidados de la ciudad de Mar del Plata, quedando excluidos aquellos correspondientes al periurbano de la localidad, tal como lo define recientemente Daga et al. (2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

El *i-Tree Canopy* realiza la estimación de cobertura en el área de interés por medio de un estimativo estadístico, dado que el usuario cuenta con la posibilidad de escoger diferentes tipos de clasificación de cobertura (por ejemplo: árboles, áreas impermeables, agua, arbustos, pastos, entre otros). Una vez que se han seleccionado los tipos, la clasificación se hace sobre imágenes satelitales de Google Map y la confiabilidad de los resultados depende de la cantidad de puntos que sean identificados por el usuario. La identificación se realiza manualmente ya que el usuario clasifica los puntos que el programa muestra aleatoriamente sobre las imágenes de Google Map que presenta *i-Tree Canopy* en su sitio web.

Es importante remarcar dos consideraciones sobre el *i-Tree Canopy*. El primero y más importante es el número de puntos seleccionados y analizados por el usuario, ya que cuanto mayor sean estos la precisión de la estimación de *i-Tree Canopy* será mucho mejor, reduciendo así el error estándar en el modelo. El manual de usuario del programa recomienda la ubicación de entre 500 y 1000 puntos por área estudiada (entre los 5 a 20 km²). La segunda consideración está relacionada directamente con la capacidad del usuario de identificar acertadamente el tipo de cobertura, algunas veces dificultada por la calidad de las imágenes (Barbosa Gómez, 2015).

Para el presente estudio se establecieron dos clases: Árboles (Trees -T-) y Sin Árboles (No Trees -NT-) y se clasificaron 510 puntos.

Al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se lo define como la diferencia entre la reflectancia en el infrarrojo cercano y la reflectancia en el rojo y está vinculado con varios parámetros que describen el estado de la cubierta vegetal y es considerado como una buena medida del grado de desarrollo y vigor de la vegetación (Meneses Tovar, 2011).

El NDVI se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Donde IRC es la reflectividad en el infrarrojo cercano (banda 5 del Landsat 8) y R es la reflectividad en el rojo (banda 4 del Landsat 8). El rango de valores del índice está delimitado por el rango -1 y 1 y cuánto más cercano está a 1 mayor es la presencia de vegetación saludable en un lugar. De acuerdo al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2021) las áreas de roca estéril, arena o nieve suelen mostrar valores de NDVI muy bajos (por ejemplo: 0,1 o menos). La vegetación escasa, como arbustos y pastizales o cultivos envejecidos, puede dar como resultado valores moderados de NDVI (aproximadamente 0,2 a 0,5). Los valores altos de NDVI (aproximadamente 0,6 a 0,9) corresponden a una vegetación densa como la que se encuentra en los bosques templados y tropicales o cultivos en su etapa de crecimiento máximo.

Las imágenes fueron obtenidas del sitio web Glovis (<https://glovis.usgs.gov/>) perteneciente al Servicio Geológico de los Estados Unidos y procesadas y transformadas de formato ráster a vectorial (barrios) con el programa QGIS. Las imágenes corresponden al 22 de abril de 2019 y son de calidad L1T, con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas, utilizando para ello puntos de control terrestre (GCP) o información de posición integrada a bordo para entregar una imagen registrada a una proyección cartográfica, referenciada a WGS84. Entre las bandas también está presente la pancromática (banda 8), que posee una resolución espacial mayor (15 m) y que se utilizará para visualizar situaciones detalladas que surjan de la presente investigación.

Por otro lado, el archivo vectorial correspondiente a los barrios de la ciudad de Mar del Plata fue descargado del sitio de Datos Abiertos perteneciente a la Municipalidad de General Pueyrredón (<https://datos.mardelplata.gob.ar/?q=dataset/barrios>). Es importante destacar que el proceso de conversión de ráster a vectorial del NDVI requiere promediar todos los píxeles presentes dentro de cada polígono para obtener un único valor para cada barrio.

RESULTADOS

La clasificación a través del *i-Tree Canopy* para la ciudad de Mar del Plata muestra que la cobertura arbórea alcanza un 14,90% del total del territorio, con un error muestral de +/-1,58, cubriendo un total de 13,72 km². Por lo tanto, un 85,10% corresponde al área no arbolada y abarca el resto de la superficie de la localidad (Figura 1).

Por su parte, el mapa en formato ráster (Figura 2) muestra como el NDVI es menor en la zona construida y mayor en las zonas rurales de la zona, donde abundan los cultivos y pasturas. El valor máximo registrado para el índice es de 0,487.

A continuación, el mapa con el NDVI correspondiente para cada barrio (Figura 3), permite reconocer como el índice disminuye esperablemente desde el centro

hacia la periferia de Mar del Plata. No obstante, se observa algunas excepciones, tal es el caso de los Barrios Divino Rostro, San Carlos y Playa Grande. La mayor parte de la localidad se encuentra en el cuartil más bajo que contiene al centro y barrios aledaños. Los siguientes dos cuartiles se encuentran bastante alejados de las zonas centrales y constituyen el área de transición hacia el último cuartil que posee los valores más altos y que se localiza, como es de esperar, en la periferia de la ciudad. La mediana del NDVI para toda la ciudad es de 0,171 y constituye el umbral por el que se encuentran los cuartiles inferiores (1 y 2) y los superiores (3 y 4). Asimismo, cabe destacarse que la conversión de ráster a vectorial, y su consiguiente promedio de píxeles, genera un rango de valores menor al observado en la figura anterior, alcanzando en este caso un registro mínimo de 0,071 y otro máximo de 0,329.

La presentación en formato tabular (Tabla 1) permite reconocer con más claridad los valores para cada barrio a partir de la presentación por cuartiles. El barrio con el puntaje más bajo corresponde al más densamente poblado de la ciudad (Barrio Centro), seguido por la Estación Terminal. Entre los valores más altos se encuentran barrios predominantemente periféricos, con algunas excepciones como Divino Rostro, San Carlos y Playa Grande. Los motivos por los cuales hay predominio de barrios periféricos

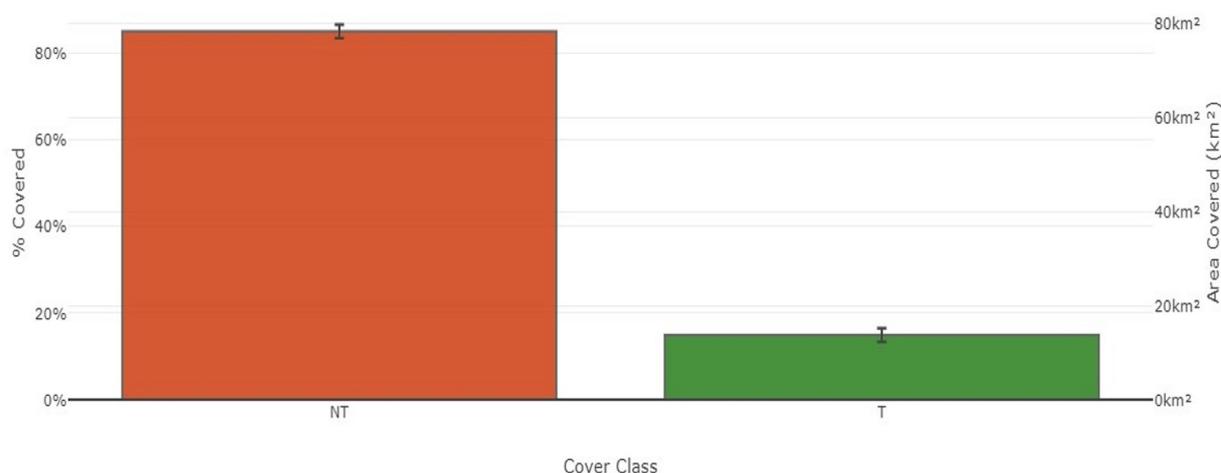


Figura 1. Porcentaje y superficie de cobertura Arbolada (Tree)/No Arbolada (No Tree) para la ciudad de Mar del Plata. Fuente: elaboración propia a partir del programa *i-Tree Canopy*.

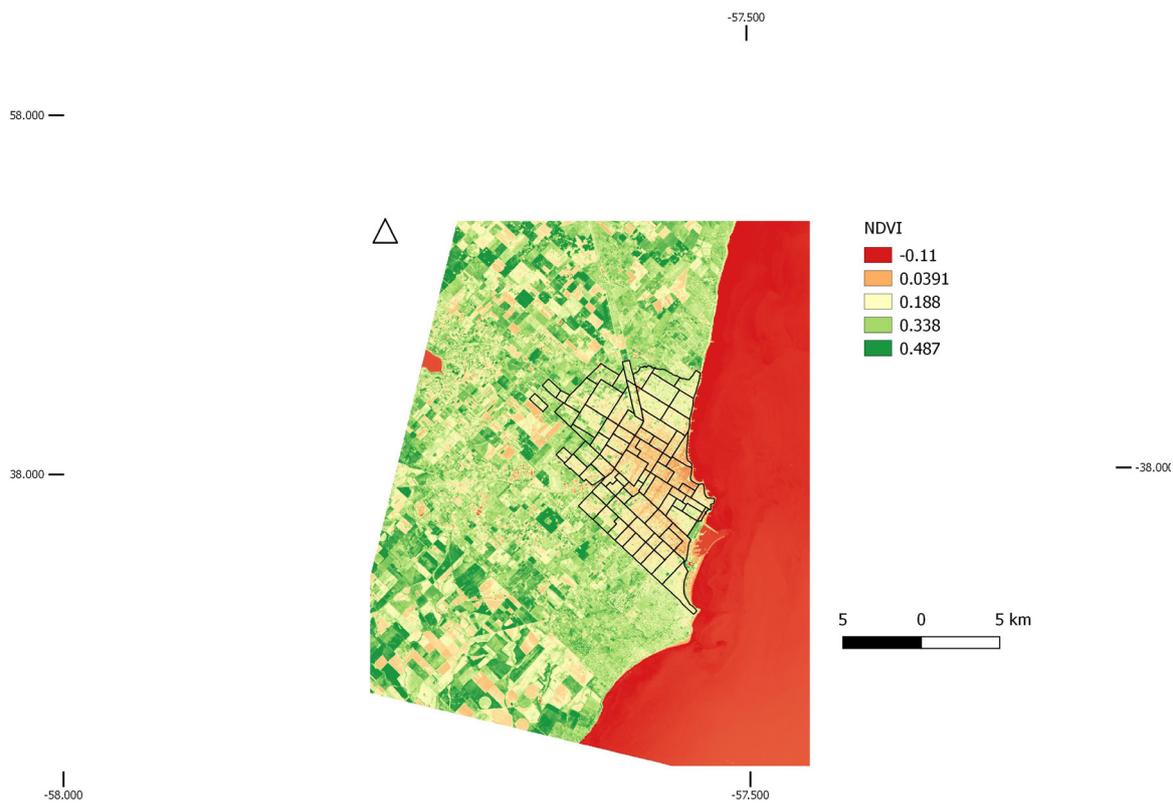


Figura 2. NDVI para Mar del Plata y zonas aledañas. Fuente: elaboración propia.

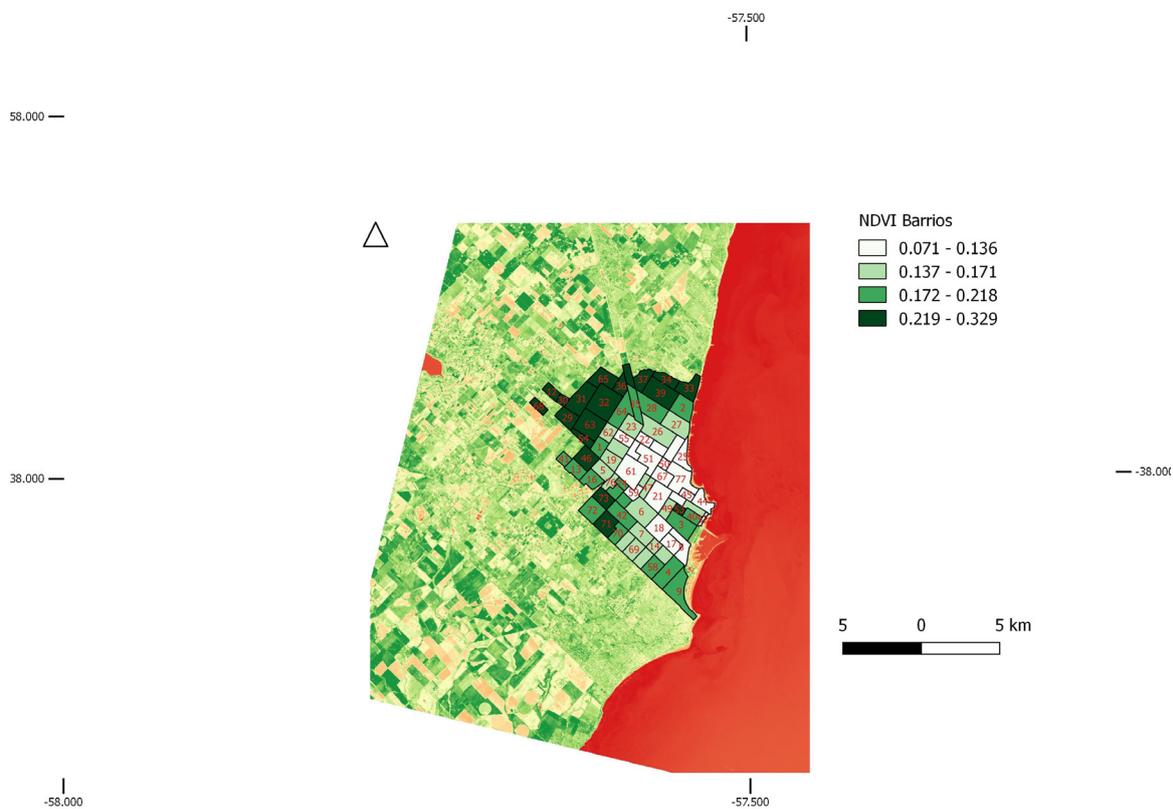


Figura 3. NDVI por barrio para la ciudad de Mar del Plata. Fuente: elaboración propia.

se debe a dos razones: el primero y principal corresponde a zonas de borde con alta densidad de población y edificación, con grandes superficies baldías, tal es el caso de Florentino Los Tilos (65) y Virgen de Luján (36), por ejemplo. En segundo lugar, están los barrios que son reservas forestales: La Florida (38), Montemar-El Grosellar (34). La Figura 4 permite

mostrar como en el borde noroeste de la ciudad coexisten estos dos tipos de barrios que, aunque presentan NDVI altos, los motivos de esos registros son totalmente distintos.

Los valores correspondientes a los cuartiles 3 y 4 presentes en barrios no periféricos, y cercanos al centro de la ciudad (Divino Rostro, San Carlos, Playa



Figura 4. Detalle de barrios con alto NDVI en el borde noroeste de la ciudad de Mar del Plata. Fuente: elaboración propia en base a imagen Landsat 8 (banda pancromática).

Grande) abren nuevos interrogantes acerca del vínculo entre nivel socioeconómico y abundancia de vegetación. Hay autores que plantean la correlación positiva entre nivel de ingreso y educación con la vegetación urbana (Schwarz et al., 2015; Nestbitt et al., 2019) y con la antigüedad del barrio (Lowry et al., 2012).

El promedio general para todos los barrios es de 0,179 mientras que la media de NDVI por cuartil es la siguiente:

- Cuartil 1: 0,107 (19 barrios)
- Cuartil 2: 0,157 (22 barrios)
- Cuartil 3: 0,193 (14 barrios)
- Cuartil 4: 0,249 (22 barrios)

Tabla 1 (Continúa en la siguiente página). Clasificación de NDVI de los barrios de la ciudad de Mar del Plata por cuartil. Fuente: elaboración propia.

BARRIO	NDVI PROMEDIO	ID	CUARTIL
AREA CENTRO	0,071	77	1
ESTACION TERMINAL	0,078	45	1
LOS ANDES	0,090	11	1
LEANDRO N. ALEM	0,092	52	1
DON BOSCO	0,092	51	1
DEL PUERTO	0,096	8	1
SAN JOSE	0,096	21	1
LA PERLA	0,097	25	1
SAN JUAN	0,097	50	1
PLAZA PERALTA RAMOS	0,102	67	1
SARMIENTO DOMINGO FAUSTINO	0,118	22	1
VILLA LOURDES	0,120	17	1
GENERAL ROCA	0,123	75	1
ESTACION NORTE	0,123	24	1
LAS AVENIDAS	0,124	18	1
NUEVA POMPEYA	0,126	10	1
SANTA MONICA	0,129	59	1
RIVADAVIA BERNARDINO	0,129	61	1
SAN CAYETANO	0,135	55	1
LOMAS DE STELLA MARIS	0,137	44	2
PRIMERA JUNTA	0,146	49	2
CERRITO SUR	0,150	57	2
VILLA PRIMERA	0,150	26	2
EL GAUCHO	0,153	76	2
SANCHEZ FLORENCIO	0,154	56	2
PERALTA RAMOS OESTE	0,155	6	2
TERMAS HUINCO	0,156	15	2
LAS LILAS	0,156	20	2
EL PROGRESO	0,157	7	2
GENERAL SAN MARTIN	0,160	69	2
LOS TRONCOS	0,160	66	2
PINOS DE ANCHORENA	0,162	48	2
CERRITO Y SAN SALVADOR	0,163	14	2
LAS AMERICAS	0,163	5	2
CORONEL DORREGO	0,164	62	2
NUEVE DE JULIO	0,165	23	2
REGIONAL	0,170	19	2
FUNES Y SAN LORENZO	0,171	47	2
PARQUE LURO	0,171	27	2
JURAMENTO	0,174	58	2
SAN CARLOS	0,179	3	2

Tabla 1 (Continúa de la página anterior). Clasificación de NDVI de los barrios de la ciudad de Mar del Plata por cuartil. Fuente: elaboración propia.

BARRIO	NDVI PROMEDIO	ID	CUARTIL
BOSQUE ALEGRE	0,180	74	3
GENERAL BELGRANO	0,183	13	3
LOS PINARES	0,185	28	3
SAN ANTONIO	0,187	43	3
PUNTA MOGOTES	0,193	9	3
MALVINAS ARGENTINAS	0,197	64	3
CONSTITUCION	0,200	2	3
EL MARTILLO	0,200	70	3
AUTODROMO	0,206	41	3
DE LA PLAZA FORTUNATO	0,206	42	3
COLINAS DE PERALTA RAMOS	0,207	4	3
DON EMILIO	0,207	16	3
DE LAS HERASJUAN GREGORIO	0,212	72	3
PLAYA GRANDE	0,213	40	3
LOPEZ DE GOMARA	0,215	35	4
SANTA RITA	0,218	60	4
ROLDAN BELISARIO	0,218	1	4
ESTRADA JOSE MANUEL	0,220	39	4
LIBERTAD	0,221	32	4
DIVINO ROSTRO	0,222	53	4
ZACAGNINI JOSE MANUEL	0,228	33	4
BOSQUE GRANDE	0,231	73	4
AEROPARQUE	0,234	37	4
SAN JORGE	0,236	30	4
NEWBERY JORGE	0,240	63	4
GENERAL PUEYRREDON	0,244	71	4
HIPODROMO	0,244	68	4
AMEGHINO FLORENTINO	0,255	31	4
LA FLORIDA	0,257	38	4
LA HERRADURA	0,261	12	4
JOSE HERNANDEZ	0,271	46	4
VIRGEN DE LUJAN	0,277	65	4
SANTA ROSA DE LIMA	0,286	29	4
PARQUE MONTEMAR-EL GROSELLAR	0,286	34	4
LOS TILOS	0,290	36	4
CARIBE	0,329	54	4
PROMEDIO NDVI	0,179		

Por lo tanto, con la excepción del Cuartil 4 que registra valores moderados de acuerdo a la clasificación del Servicio Geológico de Estados Unidos para el NDVI, el resto de los cuartiles está dentro de la categoría de valores bajos. Además, 22 barrios se encuentran dentro de la categoría de valores moderados (superiores a 0,2). No obstante, hay que tener en cuenta que dicha clasificación no está orientada específicamente a usos urbanos.

CONSIDERACIONES FINALES

La vegetación urbana aporta varios beneficios que mejoran tanto la calidad del ambiente como la salud humana. Es por ello que es importante conocer cómo se distribuye la vegetación en el interior de las localidades, su variabilidad espacial y su vínculo con otros indicadores socioeconómicos. A pesar de su relevancia, los estudios orientados a la vegetación urbana son aún escasos en nuestro país. En este marco, este trabajo hace un aporte inicial para conocer la cobertura del arbolado y la distribución de la vegetación en los barrios de la ciudad de Mar del Plata.

Para la escala urbana, una forma de aproximarse al estudio de la vegetación es a través de la integración de los datos vectoriales y de imágenes de sensores remotos que ayudan a reconocer la diferenciación espacial dentro de las ciudades. Aunque los datos presentados en formato vectorial y la información de teledetección se recopilan con distintas finalidades, pueden combinarse para obtener cartografía útil para la gestión ambiental urbana. Es por ello que este trabajo recurre al barrio como unidad de análisis ya que permite vincular la información obtenida sobre la vegetación con otras características propias de los barrios. Además, trabajar a escala barrial favorece una mejor interpretación de los resultados que el dato a escala de pixel no proporciona. Así, el mapa de salida resulta una herramienta concreta de gestión, de fácil comprensión. En este caso, la cartografía muestra como el NDVI tiende a aumentar desde el centro hacia las zonas de borde de la localidad, con algunas excepciones en barrios, tal es el caso de Divino Rostro, San Carlos y Playa Grande. Los valores más altos se registran en barrios periféricos, con menor densidad edilicia y en las reservas forestales urbanas. Por su

parte, el arbolado tiene una cobertura del 14,90% para toda la ciudad. Los resultados indican que los valores más bajos se encuentran en las zonas más céntricas, y es en esos lugares donde el municipio debería implementar medidas para aumentar su presencia. Por ejemplo, se podría incentivar la instalación de cubiertas verdes en terrazas y techos de edificios, comenzando por los públicos.

Por último, los resultados del trabajo serán ampliados a partir de un seguimiento temporal del NDVI y de la cobertura arbórea que permitirán un diagnóstico más preciso de la vegetación en la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbosa Gómez, G. A. (2015). *Valorización Ambiental de la cobertura vegetal afectada según diseños previos de planificación del corredor ALO (Avenida Longitudinal del Occidente)*. Tesis de maestría. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá, Colombia.
- Daga, D. Y., Zulaica, L., & Vázquez, P. (2020). El periurbano de Mar del Plata (Argentina): clasificación digital de los usos del suelo y análisis de las transformaciones en el cinturón hortícola. *Revista Geográfica de América Central*. Vol. 65, pp. 175-206.
- Lowry, J. H., Baker, M. E., & Ramsey, R. D. (2012). Determinants of urban tree canopy in residential neighborhoods: household characteristics, urban form, and the geophysical landscape. *Urban Ecosystems*. Vol. 15(1), pp. 247-266.
- Lu, L., Weng, Q., Guo, H., Feng, S., & Li, Q. (2019). Assessment of urban environmental change using multi-source remote sensing time series (2000–2016): A comparative analysis in selected megacities in Eurasia. *Science of the Total Environment*. Vol. 684, 567-577.
- Meneses Tovar, C. (2011). NDVI as indicator of degradation. *Unasylva*. Vol. 62(238), pp.39-46.
- Municipalidad de General Pueyrredón. Datos abiertos (2021). <https://datos.mardelplata.gob.ar/> (Consultado en agosto, 2021).
- Nesbitt, L., Meitner, M. J., Girling, C., Sheppard, S. R., & Lu, Y. (2019). Who has access to urban vegetation? A spatial analysis of distributional green equity in 10 US cities. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 181, pp. 51-79.
- Nowak D., Dwyer J. & Childs G. (1998). Los beneficios y los costos del enverdecimiento urbano.

- En Krishnamurthi L, Rente Nascimento J (Eds.) *Áreas verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe* (pp. 17-38). Ciudad de México: Editorial Universidad Autónoma de Chapingo.
- Nowak, D. J. (2018). Quantifying and valuing the role of trees and forests on environmental quality and human health. In van den Bosch, M, Bird W (Eds.) *Nature and Public Health. Oxford textbook of nature and public health* (pp. 312-316). Oxford: Oxford University Press.
- Parmehr, E. G., Amati, M., Taylor, E. J., & Livesley, S. J. (2016). Estimation of urban tree canopy cover using random point sampling and remote sensing methods. *Urban Forestry & Urban Greening*. Vol. 20, pp. 160-171.
- Pinheiro, M. A., & Silva, J. M. O. (2019). Análise da temperatura de superfície e a Relação Com o Ndzi da zona urbana do Município Do Crato/ Ceará 2017. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)*. Vol. 21(2), pp. 334-347.
- Schwarz, K., Fragkias, M., Boone, C. G., Zhou, W., McHale, M., Grove, J. M., ... & Cadenasso, M. L. (2015). Trees grow on money: urban tree canopy cover and environmental justice. *PLoS ONE*, Vol. 10(4), e0122051.
- Soto, M. (2010). *Revisión de los modelos CITYgreen, i-Tree Tools ECO e i-Tree Tools Streets, como herramientas para la cuantificación de los servicios ecosistémicos prestados por el arbolado urbano de Bogotá*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Bogotá, Colombia.
- Soto-Estrada, E. (2019). Estimation of the urban heat island in Medellín, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*. Vol. 35(2), pp. 421-434.
- USDA Forest Service. (2021) <https://www.itreetools.org> (Consultado en agosto, 2021).
- USGS. (2021). NDVI, The Foundation for Remote Sensing Phenology https://www.usgs.gov/core-science-systems/eros/phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (Consultado en agosto, 2021).
- Wang, R., Feng, Z., Pearce, J., Yao, Y., Li, X., & Liu, Y. (2021). The distribution of greenspace quantity and quality and their association with neighbourhood socioeconomic conditions in Guangzhou, China: A new approach using deep learning method and street view images. *Sustainable Cities and Society*. Vol. 66, 102664.