arquitectura +
e-ISSN: 2518-2943
Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Arquitectura

VOLUMEN 8 | NÚMERO 16 | DICIEMBRE 2023 |pp.70-92 |ARTÍCULOS
URL: https://www.lamjol.info/index.php/arquitectura
DOI: https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423
e-mail: rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

Exploración de las relaciones entre morfología urbano-edilicia y vegetación en ciudades ubicadas en zonas áridas. Caso Ciudad de Mendoza, Argentina

Exploration of the relationships between urban-building morphology and vegetation in cities located in arid regions. Case study: City of Mendoza, Argentina

Arboit, Mariela Edith [1]
Maglione, Dora Silvia [2]
[1] Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INCIHUSA- CONICET), Mendoza, Argentina
[2] Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), Río Gallegos, Argentina
[1] marboit@mendoza-conicet.gob.ar | https://orcid.org/0000-0003-1929-5382
[2] dmaglione@uarg.unpa.edu.ar | https://orcid.org/0000-0003-4708-7089
Recibido el 06 de Octubre de 2023, aprobado el 20 de Diciembre de 2023

RESUMEN | El crecimiento exponencial de la población mundial y la expansión urbana han afectado la vegetación en las ciudades, especialmente en regiones áridas. El objetivo del trabajo es comprender la relación entre la morfología urbano-edilicia y la vegetación en 36 manzanas, ubicadas a lo largo del zanjón Frías en la Ciudad de Mendoza, Argentina. Metodológicamente se emplearon sistemas de información geográfica y se realizó un análisis estadístico de datos para estudiar las correlaciones entre las variables urbano-edilicias, el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y las variables del arbolado urbano para los casos de estudio. Posteriormente, se identificaron y analizaron las manzanas con valores extremos en el índice de vegetación. Los resultados obtenidos señalan un impacto negativo de la huella edilicia sobre el índice de vegetación, siendo la variable más fuertemente correlaciona. El análisis de manzanas con valores extremos en los índices de vegetación identificó oportunidades para la incorporación de vegetación autóctona y la promoción de una identidad más naturalizada. Como conclusión las manzanas analizadas poseen potencialidades para su renaturalización y ofrecen una oportunidad, basada en la morfología urbano-edilicia, en el arbolado y en la proximidad a la infraestructura aluvional, para la regeneración de un corredor ecológico. Finalmente, en un contexto de escasez hídrica y vulnerabilidad al cambio climático, surge el desafío de renaturalizar espacios urbanos insertos en un modelo de "ciudad oasis" a fin de mejorar la calidad de vida y la resiliencia urbana.

PALABRAS CLAVE | Análisis-estadístico, hábitat, morfología-urbano-edilicia, renaturalizar, vegetación.

ABSTRACT | The exponential growth of the world's population and urban expansion have affected vegetation in cities, especially in arid regions. The objective of the work is to understand the relationship between urban-building morphology and vegetation in 36 blocks, located along the Frías ditch in the City of Mendoza, Argentina. Methodologically, we worked with geographic information systems and a statistical analysis of data and the correlations between the urban-building variables, the normalized difference vegetation index (NDVI) and the urban tree variables were studied for the study cases.

© Copyright 2023. Universidad Nacional de Ingeniería

Subsequently, blocks with extreme values in the vegetation index were identified and analyzed. The results obtained indicate a negative impact of the building footprint on the vegetation index, with the variable being the most strongly correlated. The analysis of blocks with extreme values in the vegetation indices identified opportunities for the incorporation of native vegetation and the promotion of a more naturalized identity. In conclusion, the blocks analyzed have potential for renaturalization and offer an opportunity, based on the urban-building morphology, the trees and the proximity to the alluvial infrastructure, for the regeneration of an ecological corridor. Finally, in a context of water scarcity and vulnerability to climate change, the challenge arises of renaturalizing urban spaces inserted in an "oasis city" model in order to improve quality of life and urban resilience.

KEYWORD | Habitat, renature, statistical-analysis, urban-building-morphology, vegetation.

1. Introducción

Durante los últimos 50 años la población mundial ha experimentado un crecimiento exponencial, siendo tres veces mayor que a mediados del siglo XX, y se estima que alcanzaría los 9700 millones de personas en 2050 (Naciones Unidas, 2023). Este rápido crecimiento demográfico ha dado lugar a un proceso de urbanización generalizado. Las ciudades se están expandiendo en todo el mundo lo que ha generado un aumento de áreas impermeables, alterando el balance de radiación (Givoni, 1998; Ferreira y Duarte, 2019; Li, Zhao y Hu, 2023; Oke, 1973; Owens, S. 1986; Stewart y Oke, 2012). La urbanización, además, tiene efectos ambientales asociados como: la isla de calor, la contaminación del agua y del aire, la contaminación acústica y lumínica, la pérdida de cobertura vegetal y la introducción de especies no autóctonas (Benedetti, et al. 2023; Theodorou, 2022). De hecho, el crecimiento urbano ha tenido el segundo mayor impacto (en términos de superficie) a nivel mundial, durante el período de 1992 a 2000, en el bioma de los desiertos que incluye matorrales xerófilos o semidesérticos (Nature in the Urban Century, 2018).

Además, las ciudades ubicadas en zonas áridas, que históricamente se han adaptado al entorno y a la escasez de recursos, se enfrentan a desafíos cada vez más complejos, con la degradación del suelo, la crisis hídrica, los fenómenos climáticos extremos, los patrones de expansión urbana dispersa y consumo, los cuales ponen en riesgo la sostenibilidad del hábitat, agravando las desigualdades existentes.

En este contexto, la relación entre morfología urbano-edilicia y vegetación en las ciudades ha sido ampliamente investigada por diversos autores (Artmann, Inostroza y Fan, 2019; Hua et al 2022; Li, Jia, Li y Feng, 2023; Wu, Liang y Li, 2019).

La morfología urbano-edilicia puede ser un factor determinante en la presencia y distribución de la vegetación urbana, así como de la biodiversidad en paisajes urbanos áridos (Litteral y Wu, 2012; Uchida et al., 2021). Existen diversas variables que influyen en la morfología urbano-edilicia (Arboit, Diblasi, Fernández Llano, y de Rosa, 2008; Demuzere et al., 2020), como la configuración de las manzanas, el ancho de calles, la huella edilicia, el factor edilicio total, la altura edilicia, la separación entre edificaciones, la densidad edilicia, entre otras. Estudios han demostrado como una mayor huella de construcción (es decir, casas más grandes en relación al tamaño de la parcela) puede llevar a una disminución de la vegetación (Barbosa et al., 2007; Parton, 2023). Además, los nuevos proyectos de construcción en terrenos naturales eliminan y fragmentan la vegetación, agregan superficies impermeables e introducen especies de vegetación no autóctonas (Bar-Massada, Radeloff y Stewart, 2014). Otros estudios han demostrado que, por lo general, la cobertura vegetal está inversamente relacionada con una mayor población y densidad de viviendas (Duncan y Boruff, 2023; Heynen y Lindsey, 2003; Troy et al., 2007).

E-ISSN:2518-2943| **WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

En adición, la vegetación en áreas urbanas ha sido estudiada utilizado el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), entre otros índices. El NDVI permite estimar la actividad fotosintética vegetal y, posteriormente, relacionarla a escala urbana, con cambios en la cobertura del suelo urbano, uso del suelo, crecimiento urbano, calidad del ambiente, superficies impermeables, microclima e impacto de la urbanización en ciudades de desierto (Zhou et al., 2023; Gandhi, Parthiban, Thummalu y Christy, 2015; Ruiz Durán et al., 2017; Santana Rodríguez, Escobar Jaramillo y Capote, 2010; Shahabi, Ahmad, Mokhtari, y Zadeh, 2012; Fan et al., 2017; Skougaard Kaspersen, Fensholt, y Drews, 2015; Davis, Jung, Pijanowski y Minor, 2016; Yeager et al., 2023; Dangulla, Abd Manaf y Ramli, 2023).

Metodológicamente se ha utilizado teledetección (Persson, Lindberg y Reese, 2018) y grandes conjuntos de datos para estudiar la vegetación y la forma urbano-edilicia a través de sistemas de información geográfica (SIG), permitiendo la aplicación de métodos estadísticos de análisis de gran cantidad de datos (Arboit y Maglione, 2022; Domingo, Van Vliet y Hersperger, 2023; Huang, Lu y Sellers, 2007; Huete et al., 2002).

En el presente estudio, se postula la existencia de relaciones entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI); las variables morfológicas urbano-edilicia y el arbolado urbano. El objetivo principal de este trabajo fue explorar dichas relaciones en 36 manzanas urbanas seleccionadas en la Ciudad de Mendoza. Los objetivos específicos planteados fueron los siguientes:

(i) determinar las correlaciones entre el NDVI, las variables urbano-edilicias y las variables del arbolado urbano de las 36 manzanas seleccionadas de la Ciudad de Mendoza,

(ii) identificar y llevar a cabo un análisis morfológico de las manzanas que presenten valores extremos en el índice de vegetación.

Explorar estas relaciones no solo permitirá comprender la condición actual de la vegetación urbana en las manzanas estudiadas, sino también, proporcionará datos relevantes a los planificadores urbanos y responsables de la toma de decisiones, con el objetivo de mejorar la cobertura vegetal en diferentes entornos urbanos. Esto podría facilitar la futura renaturalización de las manzanas urbanas seleccionadas, mediante la introducción de especies autóctonas.

Caso de Estudio. El Área Metropolitana de Mendoza, es el conglomerado urbano más importante de la región y está integrada por seis departamentos administrativos: Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Luján de Cuyo y Maipú. Alberga aproximadamente 1.200.000 habitantes y abarca una amplia diversidad territorial, que incluye áreas de oasis, tierras no irrigadas, zonas urbanas, rurales y una zona natural protegida (Figura 1).

La ciudad primitiva se estableció en una extensa llanura aluvional, al pie de la precordillera de los Andes (Figura 2), donde la actividad hídrica en ciertas épocas del año, generaba torrentes aluvionales que desembocaban en ciénagas. La región se caracteriza por su aridez, resultado de los bajos niveles de precipitación, alta insolación e importantes variaciones estacionales y diarias de temperatura. El promedio anual de heliofanía relativa es alto, superando las 8 horas diarias y la nubosidad muestra valores anuales por debajo del 40% de cielo cubierto, con una radiación solar global media anual de 18,06 MJ/m^2 día.

E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

Figura 1
Zona natural de Mendoza

Nota. Repositorio digital del Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA - CONICET), http://incihusa.mendoza-conicet.gob.ar/id/

Figura 2
Precordillera de los Andes

Nota. Repositorio digital del Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA - CONICET), http://incihusa.mendoza-conicet.gob.ar/id/

La Ciudad de Mendoza es conocida como la "ciudad oasis", el diseño de la “ciudad nueva” posterior al terremoto de 1861 a cargo de Julio Ballofet, la llegada del ferrocarril entre 1883 y 1885 y la obra de Carlos Thays, el “Parque del Oeste” en 1896, resultaron en el diseño de plazas y espacios públicos, así como en la plantación de árboles y especies exóticas. Este proceso se benefició de una red hídrica de acequias que canaliza las aguas de deshielo, cuyos orígenes se remonta a la época precolombina. Es posible que la influencia del diseño urbano del siglo XIX francés e inglés, haya sido una fuente de inspiración de avenidas, parques y espacios verdes. Siendo la vegetación uno de los componentes principales actuales de la morfología de la ciudad (Arboit y Maglione, 2022), (Figura 3 y 4).

Figura 3
Parque Central en la Ciudad de Mendoza

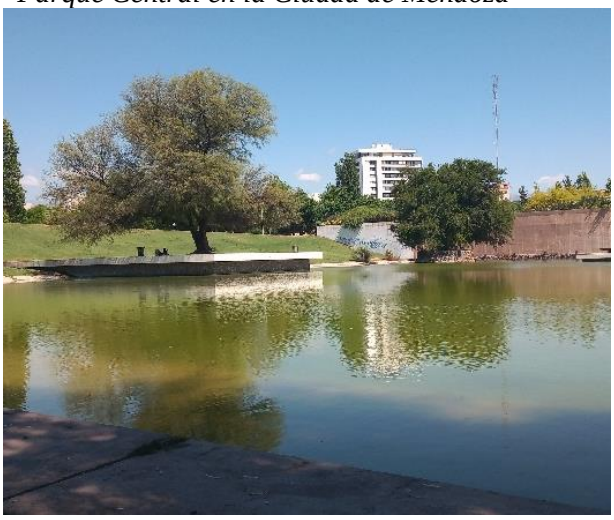


Figura 4
Entorno urbano en la Ciudad de Mendoza

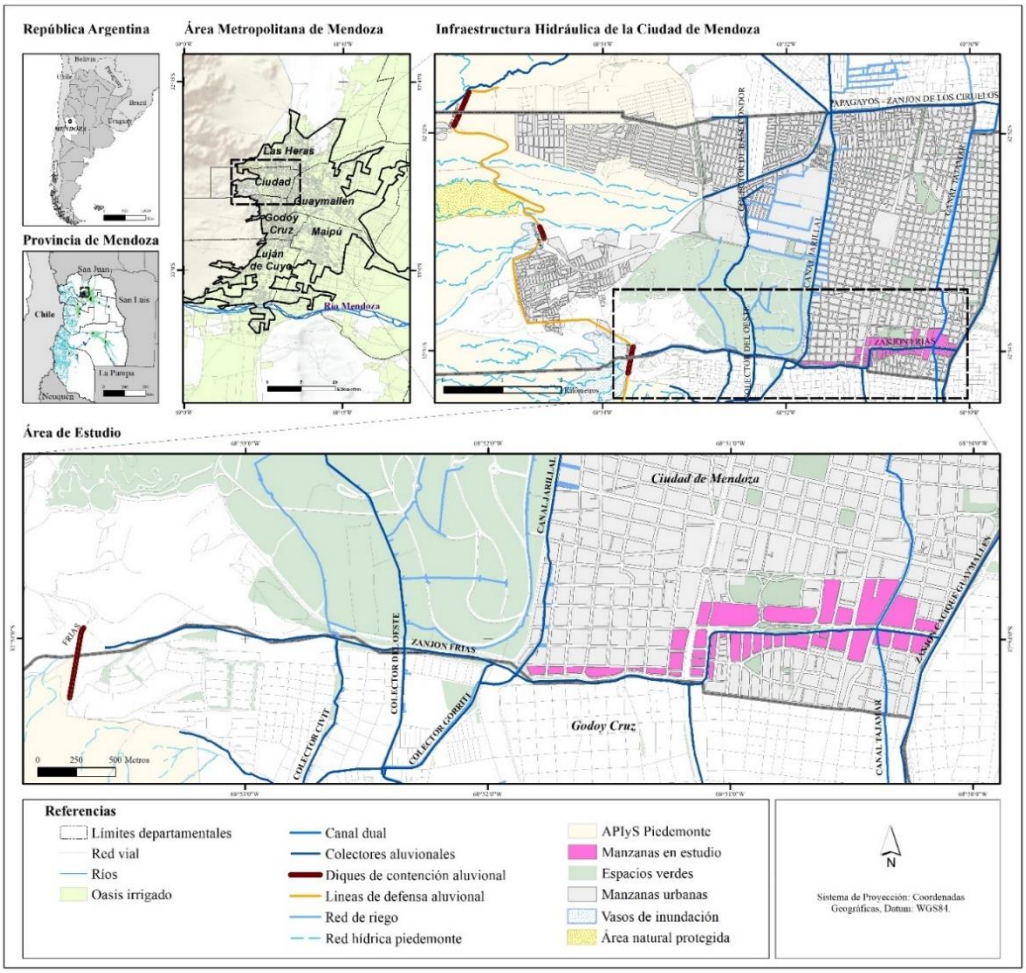
E-ISSN:2518-2943| **WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

Sin embargo, durante las últimas décadas, la expansión de la superficie urbanizada ha superado el crecimiento demográfico, resultando en una reducción significativa de cobertura vegetal y una extensa expansión sobre áreas pedemontanas y rurales. En adición, la expansión sobre áreas rurales ha conllevado a la pérdida de valiosos recursos económicos agrícolas y al agotamiento de los suelos más fértiles destinados a la producción de alimentos con derecho a riego. De mantenerse esta tendencia, se prevé un deterioro aún mayor del hábitat a futuro (Molina et al., 2020).

Dado lo expuesto anteriormente, se han seleccionado 36 manzanas construidas ubicadas junto a la infraestructura aluvional del zanjón Frías, en el departamento de Ciudad de Mendoza. El corredor aluvional está atravesado por causes de riego como los canales Civit, del Oeste, Jarillal y Tajamar, donde eventualmente desembocan otras acequias urbanas. El área se eligió considerando el papel que desempeñan los cuerpos de agua en la planificación urbana (Xie et al., 2022) y su posición estratégica que posibilitaría la vinculación entre el paisaje natural pedemontano y la planicie urbanizada (Figura 5). Estas manzanas se extienden desde la Calle Boulogne Sur Mer en el lado oeste hasta el zanjón Cacique Guaymallén en el lado este.

Figura 5

Ubicación de la zona de estudio en la Ciudad de Mendoza y selección de manzanas urbanas en estudio



Nota. Por R. Cohn, M. Arboit y D. Maglione, 2023.

E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

2. Desarrollo Metodológico

El análisis de las características de la morfología de las manzanas en estudio se realizó a partir de la selección de variables urbano-edilicias, del índice de vegetación y de datos disponibles sobre el arbolado urbano. La recopilación de información catastral disponible (Instituto Geográfico Nacional IGN, 2023; Dirección General de Catastro, 2023; Infraestructura Datos Espaciales Mendoza IDE, 2023; Sistema de Información Territorial y Ambiental, 2023; Municipalidad de la Ciudad de Mendoza, 2023) y los mapeos se efectuaron utilizando los softwares ArcGIS y QGIS (ArcGIS. Esri, 2023; QGIS.org, 2023).

Variables urbano-edilicias, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y variables del arbolado urbano. Aunque se han abordado previamente las características urbano-edilicias y la vegetación, a escala macro en publicaciones anteriores, se proporciona un resumen de variables e índice de vegetación. Además del desarrollo metodológico utilizado en el presente trabajo.

Variables urbano-edilicias. Se ofrece una descripción del grupo de variables de la morfología urbano-edilicia:

1. Forma de las manzanas (FManz): relación entre los lados de manzanas.

2. Ancho de Calles (AC): distancia entre manzanas (con corrección de datos nulos y excluyendo manzanas no construidas mayores a 30.000 m^2).

3. Huella Edilicia (HE): relación entre el área edilicia construida en planta baja y la superficie total construible del terreno.

4. Factor Edilicio Total (FET): relación entre el área total construida y la superficie total del terreno, expresada como fracción.

5. Altura Edilicia (AE): elevación promedio de las construcciones calculada como el número de niveles por la alzada promedio de los niveles (3 m), se calculó el valor medio de la manzana.

6. Separación Edilicia (SE): distancia entre edificios calculada como la distancia media de un edificio en un radio de 100m en relación a los 30 edificios más cercanos.

7. Relación Altura Edilicia/Separación Edilicia (AE/SE): cociente entre la altura del edificio y la separación media de los edificios del entorno.

8. Relación Altura Edilicia/Altura Edilicia media (AE/AEm) relación entre la altura de un edificio y la altura media de los edificios del entorno (en un radio de influencia de 40 m).

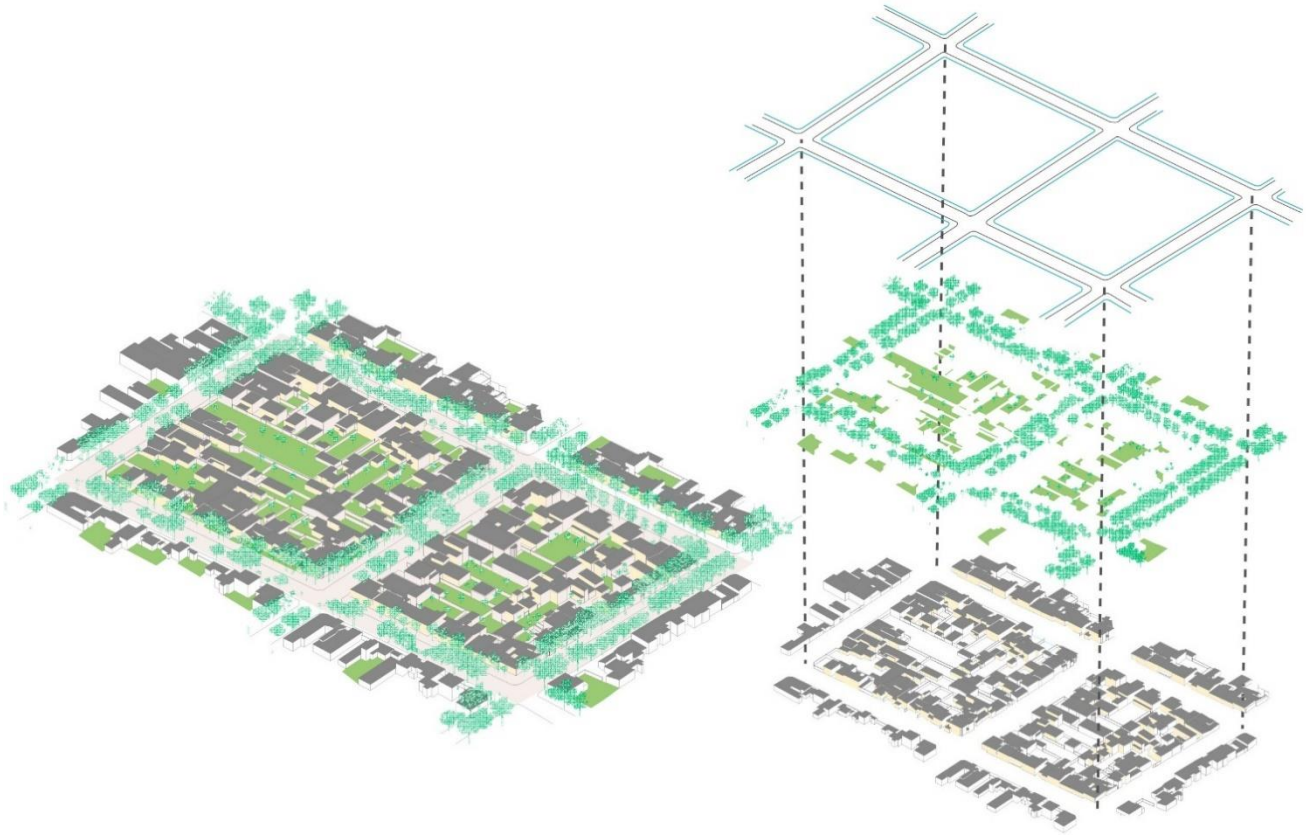
9. Densidad Edilicia (DE): relación entre el volumen edificado sobre la manzana y el área de la manzana (m^3/m^2).

10. Relación Superficie/Volumen (SExp1/V y SExp/V): relación entre el área expuesta (vertical + horizontal) de la envolvente de un edificio y su volumen (m^3/m^2), considerando una superficie horizontal (techos) (SExp1/V) y dos superficies horizontales (pisos y techos), (SExp/V).

E-ISSN:2518-2943| **WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

Se consideró como unidad de estudio la manzana urbana (delimitada por veredas y calles en todos sus lados), (Figura 6). Se procedió al cálculo de las variables relacionadas a la morfología urbano-edilicia (Arboit y Maglione, 2022)

Figura 6
Esquema superposición de análisis de elementos espaciales en manzanas de baja densidad



Nota. Adaptado de *Sistema funcional de la ciudad oasis* de E. Bórmida, 2014. Por M. Caminos, M. Arboit y D. Maglione, 2023.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El índice de vegetación NDVI ofrece una descripción de la actividad fotosintética de la infraestructura verde a nivel urbano. Este indicador se calcula como la relación normalizada entre las bandas espectrales del rojo y el infrarrojo cercano (Huete, Jackson y Post, 1985; Rouse et al., 1974). Para este estudio, se emplearon datos mensuales procedentes de imágenes satelitales de los satélites Landsat 5 (1992-2011) y Landsat 8 (2013-2017) (United States Geological Survey, 2023). La unidad de análisis se definió como la manzana urbana, abarcando desde eje de calle a eje de calle en el cálculo del NDVI. Esta metodología, permitió incluir la vegetación pública urbana. Posteriormente, se relacionaron los valores del índice con el límite interior de la manzana (se calcularon medias anuales, invierno y verano), (Arboit y Maglione, 2018).

En las Figura 7 y 8 se presenta la cartografía de dos escenas elegidas como representativas (invernal y estival) que permiten observar comparativamente la distribución espacial de los valores medios de NDVI por manzana de la Ciudad de Mendoza.

E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

Figura 7
Valores NDVI invierno de las manzanas urbanas de Ciudad de Mendoza, julio de 2014.

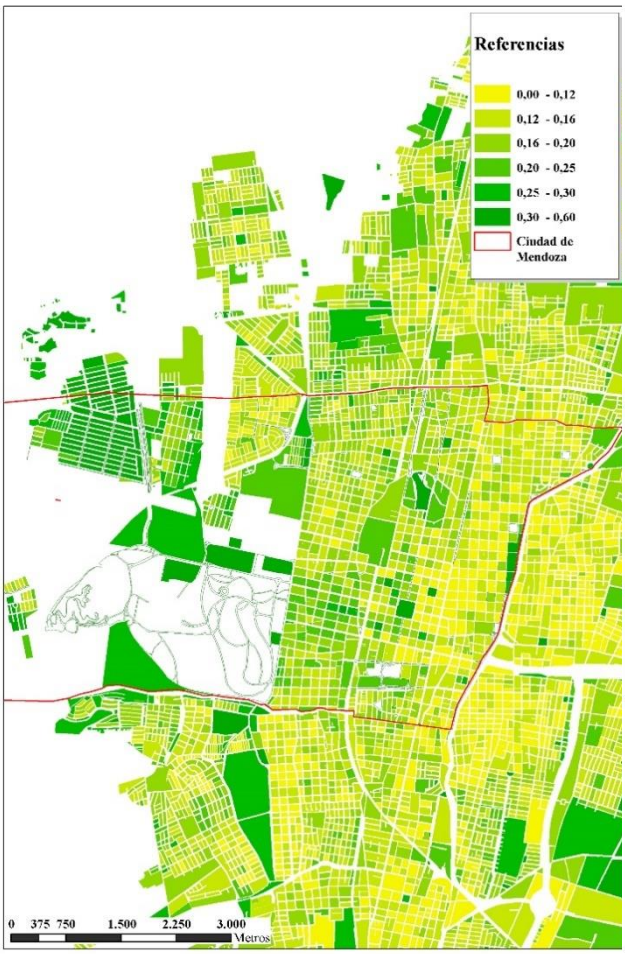
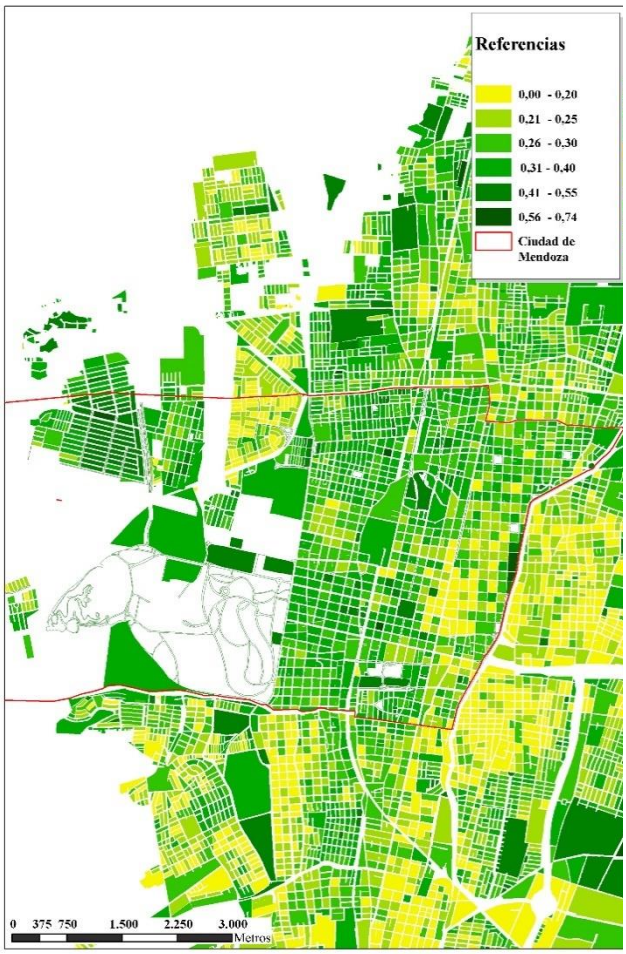


Figura 8
Valores NDVI verano de las manzanas urbanas del Ciudad de Mendoza, febrero de 2015.



Nota. Adaptado de *Impacto edilicio y del arbolado sobre el índice de vegetación en el área metropolitana de Mendoza, Argentina.* de M. Arboit y D. Maglione, 2019.

Arbolado urbano. Se ha trabajado con datos cartográficos de la Dirección General de Catastro (2010) y con el censo digital georreferenciado del arbolado público de la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza (2012). Se ha estudiado la distribución espacial de las especies contemplando tres subgrupos de variables: Magnitud, Completamiento y Transmisividad.

Magnitud: su valor se encuentra determinado por las dimensiones y características físicas del ejemplar arbóreo. Completamiento: se refiere a la cantidad de árboles presentes en el perímetro de una manzana en relación al número máximo posible de plantar en esa misma manzana, teniendo en cuenta la distancia adecuada entre los árboles, expresado como un porcentaje.

Transmisividad: se hace referencia a la fracción de radiación global media que atraviesa el follaje y las ramas de los árboles en relación con la cantidad total de radiación global en el mismo período, sin

E-ISSN:2518-2943| **WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

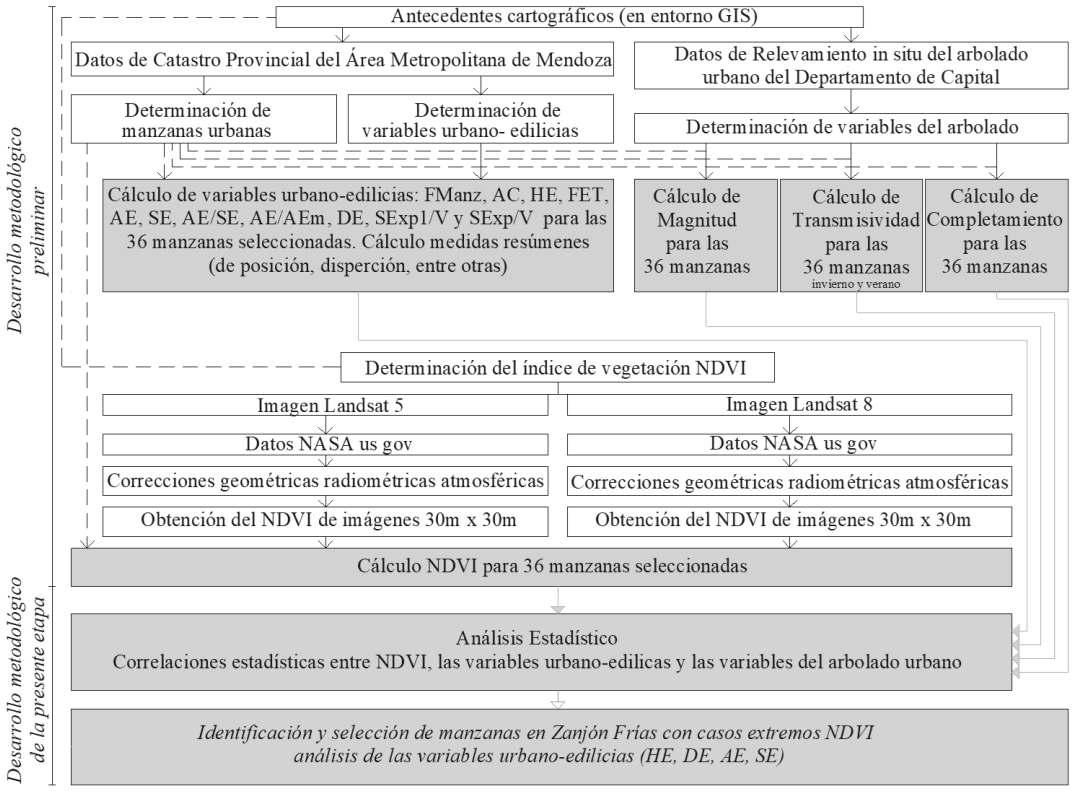
ninguna obstrucción adicional (Cantón, Mesa, Cortegoso y de Rosa, 2003). Se calcularon las variables del arbolado para las manzanas urbanas seleccionadas (Arboit y Maglione 2019).

Análisis estadístico. **S**e calcularon distintas medidas resúmenes (de posición y dispersión, entre otras) para las variables urbano-edilicias para las 36 manzanas de estudio. Adicionalmente, se exploraron las correlaciones existentes entre la variable dependiente (NDVI) y las variables independientes (urbano-edilicias y las vinculadas al arbolado urbano). El análisis estadístico de datos que incluye el cálculo de correlaciones, se efectuó utilizando los softwares InfoStat (Di Rienzo et al.,2020).

La presencia de correlación refleja el grado de similitud o variación conjunta entre dos variables. A medida que el valor de correlación se aproxima a 1, indica una relación directa o positiva entre las variables, es decir, cuando una variable aumenta, la otra también lo hace. Por otro lado, valores cercanos a -1 sugieren una relación inversa o negativa, donde el aumento en una variable se relaciona con una disminución en la otra. Los valores de correlación (r) se categorizaron de la siguiente manera: perfecta si $|r|=1$, muy alta si $0.9\leq|r|<1$, alta si $0.7\leq|r|<0.9$, moderada si $0.4\leq|r|<0.7$, baja si $0.2\leq|r|<0.4$, muy baja si $0.01\leq|r|<0.2$ y nula $|r|=0$.

Identificación y selección de casos extremos. Se observaron los valores de NDVI, derivados del análisis estadístico. Se eligieron las manzanas que presentaban el valor más alto y más bajo de NDVI, en consecuencia, se llevó a cabo un análisis específico de las variables relacionadas con la morfología urbano-edilicia en dichas manzanas. Se presenta en la Figura 9 el esquema metodológico.

Figura 9
Cuadro del diseño metodológico



E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

3. Resultados

Variables urbano-edilicias. En la Tabla 1 se presentan las medidas resumen correspondientes a las variables urbano-edilicias para las 36 manzanas que se analizaron en el departamento de Ciudad de Mendoza.

Tabla 1

Medidas resumen de las variables urbano-edilicias de las 36 manzanas urbanas analizadas en el departamento de Ciudad de Mendoza.

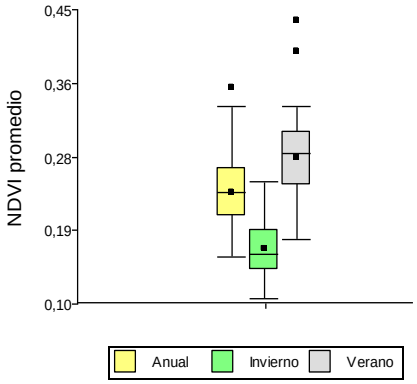
Variable	Nº	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
FManz	36	1,91	1,30	1,07	8,60	1,59	1,21	1,85
AC	36	18,36	4,29	7,04	33,08	18,62	16,28	19,8
HE	36	0,57	0,15	0,16	0,78	0,62	0,50	0,66
FET	36	0,89	0,24	0,40	1,64	0,85	0,74	1,01
AE	36	6,23	3,71	3,25	22,86	5,19	4,58	6,05
SE	36	20,43	8,25	10,98	46,40	17,5	15,05	22,55
AE/SE	36	0,38	0,15	0,21	1,02	0,36	0,26	0,42
AE/AEm	36	1,00	0,07	0,85	1,17	1,00	0,96	1,03
DE	36	2,52	0,80	0,74	4,91	2,45	2,10	2,91
SExp/V	36	0,88	0,14	0,51	1,14	0,90	0,79	0,98
SExp1/V	36	0,66	0,16	0,47	1,45	0,66	0,6	0,69

Los resultados obtenidos de las variables urbano-edilicias destacan varios aspectos importantes. La huella edilicia (HE) muestra un valor medio de 0,57 lo que indica que el 43% del terreno en estas manzanas no está construido. La altura edilicia (AE) de las manzanas tiene una media de 6,23 metros, equivalente aproximadamente a 2 niveles edilicios. Además, se encontró que la densidad edilicia (DE), que refleja la relación entre el volumen edificado sobre la manzana y su área, presenta un valor medio de 2,52 (m^3/m^2). Respecto al ancho medio de las calles (AC) en las manzanas analizadas, se registra un valor de 18,36m.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). En esta sección se expondrán y analizarán los resultados obtenidos a través del NDVI. La Figura 10 muestra los valores promedio de NDVI para las manzanas seleccionadas, permitiendo comparar los resultados para las estaciones de invierno, verano y anuales. Las medidas resumen para las 36 manzanas se presentan en la Tabla 2.

Figura 10

Box-Plot de NDVI promedio para las 36 manzanas en estudio (comparativa anual, invierno y verano)



Nota. InfoStat, 2023.

E-ISSN:2518-2943| **WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

Tabla 2

Medidas resumen NDVI de las 36 manzanas urbanas analizadas en el departamento de Ciudad de Mendoza

Variable	NDVI anual	NDVI invierno	NDVI verano
Nº	36	36	36
Media	0,23	0,17	0,27
D.E.	0,04	0,03	0,06
Mín	0,16	0,11	0,18
Máx	0,36	0,25	0,44
Mediana	0,23	0,16	0,28
Q1	0,2	0,14	0,24
Q3	0,26	0,19	0,3

Nota. InfoStat, 2023.

Arbolado. Los resultados obtenidos sugieren que más del 75% del arbolado público existente en las 36 manzanas es de 2da magnitud, y la cantidad de árboles en el perímetro de la manzana en relación al número admisible en la misma manzana teniendo en consideración la separación apropiada entre vegetación arbórea es del 83,59%. En relación a la variable transmisividad en el periodo estival la porción de radiación global media que traspasa ramaje y follaje disminuye en más de un 50%, esta característica es favorable en entornos expuestos a elevada irradiancia solar en verano (Tabla 3).

Tabla 3

Medidas resumen de las variables del arbolado de las 36 manzanas urbanas analizadas en el departamento de Ciudad de Mendoza.

Variable	Nº	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
Magnitud	36	1,75	0,55	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Completamiento	36	83,59	23,68	30,99	137,16	84,72	67,77	96,36
Transmisividad invierno	36	27,98	14,17	0,00	42,18	34,02	22,08	38,69
Transmisividad verano	36	12,20	6,13	0,00	18,10	15,32	8,78	16,56

Correlaciones. Las correlaciones entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), las variables urbano-edilicias y las variables del arbolado urbano para las 36 manzanas bajo estudio se presentan en la Tabla 4.

Al analizar los p-valores del test de Pearson, se observó una correlación positiva muy alta entre el NDVI anual, el NDVI invierno y el NDVI verano. Al explorar las correlaciones con las variables urbano-edilicias se identificaron correlaciones moderadas negativas con Huella Edilicia (HE) y Densidad Edilicia (DE), lo que sugiere que un incremento en la ocupación del terreno y la densidad de construcciones está asociado con una reducción de la vegetación presente en las manzanas estudiadas. En contraste, se encontraron correlaciones moderadas positivas con la Altura Edilicia (AE) y la Separación Edilicia (SE).

Al examinar las correlaciones con las variables del arbolado urbano, se registraron correlaciones negativas moderadas con transmisividad de verano. Además, se hallaron correlaciones negativas bajas con magnitud del arbolado, lo que indica que en las manzanas con valores elevados de NDVI existe presencia de árboles de mayor tamaño (1ra Magnitud).

E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

Tabla 4

Correlaciones para las manzanas en estudio entre NDVI y las restantes variables de la morfología urbano-edilicia y las variables del arbolado urbano

	NDVI			Variables urbano-edilicias											Arbolado		
	NDVI anual	**NDVI invierno**	**NDVI verano**	**FManz**	**AC**	**HE**	**FET**	**AE**	**SE**	**AE/SE**	**AE/AEm**	**DE**	**SExp/V**	**SExp1/V**	**Magnitud**	**Completamiento**	**Transmisividad verano**
NDVI Annual	1	0,97	0,99	-0,11	0,05	-0,63	-0,23	0,56	0,53	0,11	-0,03	-0,46	0,29	-0,13	-0,38	0,21	-0,47
NDVI Invierno		1	0,95	-0,08	0,02	-0,66	-0,35	0,46	0,49	0	0	-0,53	0,28	-0,12	-0,34	0,16	-0,41
NDVI Verano			1	-0,1	0,04	-0,62	-0,21	0,56	0,55	0,11	-0,05	-0,45	0,3	-0,17	-0,39	0,22	-0,49

La variable que establece la relación entre el área edilicia construida en planta baja y la superficie total construida del terreno, representada por la huella edilicia (HE), ha demostrado ser la más fuertemente correlaciona con NDVI. Esta sólida correlación resalta el impacto significativo de la ocupación edilicia del suelo urbano y, por ende, el sellamiento de las superficies sobre la actividad fotosintética vegetal basado en el NDVI. En resumen, el análisis estadístico de los resultados a través de estimación de correlaciones demostró un impacto negativo de la HE sobre el NDVI en las manzanas analizadas.

Los resultados ponen de manifiesto diferencias en los valores NDVI entre las manzanas estudiadas. Al considerar los valores medios mensuales de cada escena, se observa que las manzanas con valores más altos de NDVI se localizan en la zona Especial Barrio Cívico y comprende tres manzanas de las estudiadas, con un valor medio anual de NDVI de 0,28.

Casos extremos basados en los valores de NDVI. Si se analizan los valores medios por manzana, el valor máximo calculado para la media del NDVI anual fue de 0,36, y el valor máximo de la media del NDVI en verano fue de 0,44 para la manzana donde se ubica la Casa de Gobierno de la Provincia de Mendoza (Figura 11 A). En la imagen se aprecian espacios vegetados en la manzana, y en la Tabla 5 pueden verificarse los valores de HE, DE y de SE. La altura edilicia (AE), al combinarse con los indicadores previamente mencionados se correlaciona positivamente con los valores NDVI.

Tabla 5

Comparativa para 2 casos extremos de valores medios de: Índice de Vegetación, Huella Edilicia, Densidad Edilicia, Altura Edilicia y Separación Edilicia.

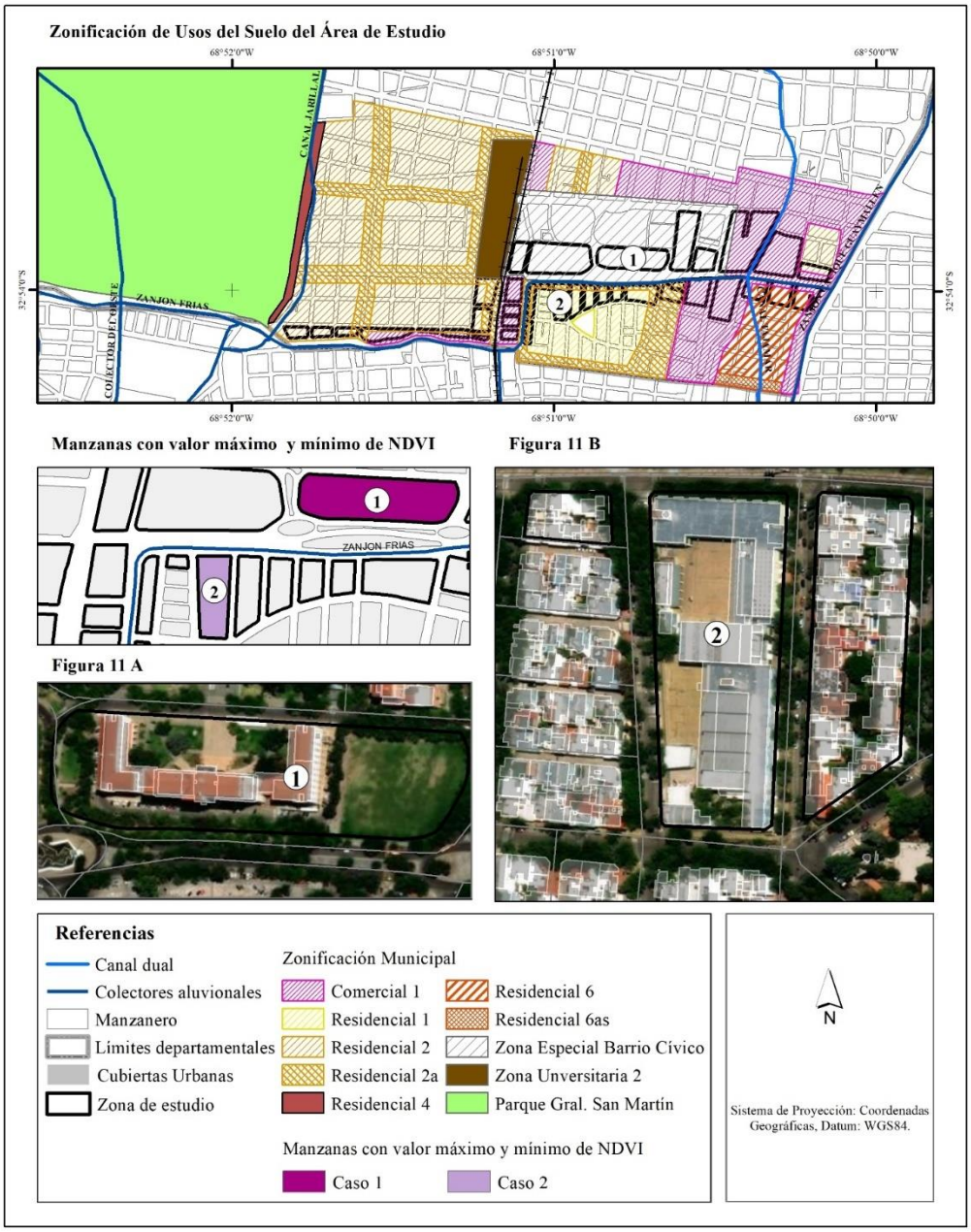
	NDVI anual	**NDVI invierno**	**NDVI verano**	**HE**	**DE**	**AE**	**SE**
Caso 1 (Casa de Gobierno de la Provincia de Mendoza)	0,36	0,24	0,44	0,16	0,74	22,86	46,40
Caso 2 (Escuela Ing. Pablo Nogués)	0,16	0,11	0,18	0,57	2,38	4,76	26,14

Por otro lado, el valor mínimo calculado para el índice de vegetación fue de 0.11 en invierno, correspondiente a una manzana urbana ubicada en el Barrio Bombal, entre las calles Santa Cruz, 25 de mayo, Isabel la Católica y Suárez, donde se emplaza el Escuela Ing. Pablo Nogués (Figura 11 B y Tabla 5). La imagen muestra sellamiento de suelo (mineralización de las superficies).

E-ISSN:2518-2943| **WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

Figura 11

Manzana caracterizada por el valor máximo y mínimo NDVI.



Nota. Por R. Cohn, M. Arboit y D. Maglione, 2023. ArcGIS y QGIS.

4. Conclusiones y discusión

La rápida urbanización y el crecimiento demográfico han generado cambios en el paisaje de las ciudades, dando lugar a diversos desafíos ambientales y de sostenibilidad. Específicamente el trabajo se centró en analizar la relación entre la morfología y la vegetación, utilizando variables urbano-edilicias, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y variables asociadas al arbolado urbano, en 36 manzanas urbanas del departamento de Ciudad de Mendoza, ubicadas junto al zanjón Frías, una infraestructura aluvional de importancia hacia la renaturalización, mediante la introducción de especies

E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

autóctonas. A través del análisis estadístico de los datos, se pudieron extraer conclusiones entre las que se destacan:

Variables urbano-edilicias. En general, los resultados de las variables urbano-edilicias indican que las manzanas en estudio presentan una huella edilicia (HE) del 43%, densidad edilicia (DE) de 2,52 (m^3/m^2), además la mayoría de las edificaciones en la zona poseen una altura edilicia (AE) relativamente baja y las calles en las manzanas analizadas tienen un ancho promedio de 18,36 metros. Dichos datos proporcionan información valiosa sobre la configuración urbano-edilicia y la disponibilidad de espacio abierto público y privado.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El análisis de del índice NDVI para las manzanas en estudio permitió comprender la actividad fotosintética vegetal en diferentes estaciones del año. Las 36 manzanas en estudio tienen un NDVI anual (0,23) similar al del Área Metropolitana de Mendoza (0,23) y Ciudad de Mendoza (0,22), (Arboit y Maglione, 2018). Sin embargo, los índices de vegetación de las 36 manzanas evidencian diferencias y necesidades puntuales a atender, principalmente en aquellas manzanas con valores bajos si se pretende avanzar hacia una ciudad equitativa en términos vegetativos (Grabowski, McPhearson y Pickett, 2023; Zhang y Tan, 2023).

En el ámbito de las investigativas futuras, se propone implementar un protocolo automatizado, para el seguimiento a largo plazo del NDVI en las manzanas urbanas, especialmente antes y después de implementar intervenciones específicas. En términos metodológicos, el grupo de trabajo espera robustecer el estudio utilizando cámara multiespectral en vehículo aéreo no-tripulado (UAV) para capturar imágenes de alta resolución. También se prevé incorporar en estudios futuros, el análisis de las relaciones entre vegetación, densidad poblacional y variables socioeconómicas.

Correlaciones. En el presente estudio, se han identificado correlaciones entre las variables urbano-edilicias, el índice de vegetación y las variables del arbolado urbano, tras analizar el conjunto de 36 manzanas. Los resultados obtenidos revelaron un impacto negativo moderado de la variable huella edilicia (HE) y la densidad edilicia (DE), sobre la vegetación circundante. Además, se observaron correlaciones moderadas y positivas entre NDVI, Altura Edilicia (AE) y Separación Edilicia (SE).

Por otro lado, en áreas urbanas con valores elevados de HE y DE, se han registrados valores NDVI altos en relación con las características de la morfología urbano-edilicia. En tales casos el arbolado urbano muestra correlaciones positivas entre el NDVI de la variable completamiento del arbolado en las manzanas y correlaciones negativas con la transmisividad y magnitud. Los hallazgos sugieren que una mayor presencia, tamaño y frondosidad del arbolado están asociados con un aumento en la cobertura vegetal en el entorno urbano.

Se ofrecen a continuación algunos comentarios para las variables urbano-edilicias más correlacionadas con el NDVI:

Huella Edilicia (HE): la principal contribución de este estudio es el reconocimiento de que un 43% de las superficies al interior de las manzanas urbanas analizadas se encuentran libres de edificación, mientras que el restante 57% restante, correspondiente a áreas edificadas son cubiertas infrautilizadas, ya que presentan escasa o nula vegetación. Además, resulta crucial identificar para dichas cubiertas, pendientes y posibilidades de accesibilidad futura para la renaturalización y/o producción de alimentos. Esto destaca

E-ISSN:2518-2943| **WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

la potencialidad vegetativa de las cubiertas y patios dentro de la ciudad, que permitirían interconectar el margen del zanjón Frías con las manzanas construidas, y propiciar futuras actuaciones en las proximidades de la infraestructura aluvional para asegurar continuidad e interconexión de zonas verdes.

Asimismo, investigaciones previas locales han señalado el potencial de los jardines privados para mejorar la vegetación urbana (Arboit y Maglione, 2018). Tanto las características específicas a nivel de la parcela, que incluyen patios frontales e internos, como las particularidades urbanas: morfológicas, presencia del arbolado y espacios verdes públicos, han sido identificadas como factores predictores de la configuración de la vegetación en entornos urbanos (Ossola, Locke, Lin y Minor, 2019).

Conscientes de la relevancia de la Huella Edilicia (HE) para la vegetación, podemos tomar decisiones que favorezcan la conservación, la renaturalización y producción de alimentos, conectando zonas verdes y mejorando la vegetación urbana.

Altura Edilicia (AE): otro aspecto crucial es la importancia de las diferentes alturas edilicias, lo que posibilitaría una interconexión espacial estratificada de la vegetación. La combinación de terrazas y fachadas vegetadas en los edificios permitiría el aprovechamiento de diversas alturas para la incorporación de vegetación. Estudios han demostrado que un paisaje urbano heterogéneo puede brindar beneficios para la actividad de polinizadores y aves (Rajbhandari et al., 2023).

Sin embargo, la heterogeneidad de la Altura Edilicia, podría afectar negativamente la vegetación, por ejemplo, en entornos consolidados de baja altura donde se construyen torres, este cambio morfológico podría alterar la distribución espacial y diversidad de las plantas. Considerar esta variable asociada a la altura media de los edificios circundantes (AE/AEm) y a la Separación Edilicia (AE/SE), es crucial para una adecuada planificación urbana, conservación de la biodiversidad y protección de los ecosistemas urbanos existentes.

Separación Edilicia (SE): existe una potencialidad morfológica para aumentar la vegetación a través de la Separación Edilicia en las manzanas urbanas analizadas, ya que alcanza una distancia de 20,43 metros. La variable de Separación Edilicia, al igual que la variable de Altura Edilicia, juegan un papel crucial en la generación de sombras (Capeluto, Yezioro, Bleiberg y Shaviv, 2006) y la regulación del flujo de aire (Li, Liu, Feng y Gao, 2022).

Una menor separación entre manzanas podría afectar el acceso solar, la ventilación y la iluminación natural, lo que a su vez tendría un impacto en el crecimiento y el desarrollo de algunas especies vegetales. En este sentido, resulta clave, la elección adecuada de ejemplares considerando los recursos disponibles en cada entorno urbano y las necesidades específicas de asoleamiento, entre otras, de cada especie para su óptimo desarrollo vegetal.

Se puede mencionar que, en algunos entornos urbanos de baja densidad en el área metropolitana de Mendoza, el 36.02% de áreas a nivel de piso son públicas (fuera línea de edificación: calles, veredas, acequias, otros), mientras que el 63.98 % de las superficies son privadas (dentro de la línea de edificación de las manzanas), con una tendencia de sellamiento de suelo en ambos casos. En este contexto, cobra relevancia la co-gestión entre el municipio y la ciudadanía, de incorporar la vegetación en espacios privados (Swan et al. 2021) y en aquellos de acceso público que puedan articularse a los zanjones, cauces y acequias

E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

que atraviesan la ciudad. Es importante prestar atención a la Separación Edilicia en las distintas densidades de construcción permitidas, especialmente en media y alta densidad.

Densidad Edilicia (DE): esta variable juega un papel fundamental al permitir la implementación de diversas estrategias para aprovechar al máximo las áreas expuestas al sol, especialmente las superficies horizontales, como cubiertas y techos, en entornos de baja densidad y las superficies verticales en entornos de altas densidades, donde la disponibilidad de superficie de fachadas es mayor (Zhu et al., 2023). El recurso solar ofrece un gran potencial, contribuye a procesos esenciales de fotosíntesis, al balance de agua y energía, también en la regulación del florecimiento y la producción de frutos. Asimismo, abre la posibilidad de combinar estrategias energéticas sostenibles, como la calefacción activa y pasiva de espacios, el calentamiento de agua para uso doméstico y la generación fotovoltaica. Sin embargo, se ha notado una disminución en la cantidad de áreas soleadas disponibles a medida que aumenta la densidad de edificios en la zona (Arboit y Maglione, 2022).

Arbolado: el arbolado público brinda una amplia gama de beneficios ambientales y también contribuye a la habitabilidad y la calidad de vida de la comunidad (Coleman, Eisenman, Locke y Harper, 2023; Nowak et al., 2016). El estudio ha evidenciado que el arbolado público ha tenido un efecto beneficioso al atenuar el impacto negativo de ciertas variables urbano-edilicias, especialmente en relación con la transmisividad del arbolado durante la estación de verano (especies con mayor capacidad de proyectar sombra) y la magnitud del arbolado (ejemplares de mayor envergadura). Algunos autores han identificado la densidad de copa de los árboles como impulsora de los diferentes mecanismos de enfriamiento en áreas urbanas. En adición, se ha observado que la evapotranspiración de los árboles plantados sobre matorrales o herbáceas puede ser mayor en comparación con un árbol plantado en zonas impermeabilizadas en la ciudad (Rahman et al., 2020).

En las 36 manzanas, aquellas con valores medios superiores a la media de Ciudad de Mendoza y del área metropolitana de Mendoza en términos de Huella Edilicia (HE), Factor Edilicio Total (FET), Altura Edilicia (AE), Densidad Edilicia (DE), Relación Altura Edilicia/Separación Edilicia (AE/SE) y valores medios inferiores de Ancho de Calles (AC), la implementación de infraestructura vegetal ha mostrado mayores valores en los índices de vegetación NDVI durante la estación cálida (Arboit y Maglione, 2022). Sin embargo, ha negado en su conceptualización la incorporación de especies autóctonas o especies con impacto positivo en la producción de alimentos.

En las manzanas analizadas, además de la estrategia de conservación y protección de la vegetación existente, son importantes las estrategias de aumentar la cobertura vegetal y completar del arbolado faltante en las áreas públicas (aproximadamente un 14,41%), considerando la selección de especies apropiadas. En investigaciones futuras, se espera: 1) incorporar al presente estudio los datos georreferenciados del nuevo censo de arbolado, parcialmente disponible a través de Mi Árbol (https://www.mendoza.gov.ar/unicipio/miarbol/); 2) identificar las especies adecuadas para su incorporación en entornos urbanos de ciudades áridas andinas. Un aspecto clave podría ser la plantación de forestales autóctonos; en este contexto, la presencia de arbolado de mayores dimensiones puede favorecer escenarios con mayor porcentaje de superficies mineralizadas y menor porcentaje de áreas verdes arbustivas y herbáceas. Además, es importante identificar aquellas especies caducifolias que permitan un acceso solar adecuado durante la estación de invierno, cuando la demanda energética es alta en Mendoza, y que presenten un menor valor de transmisividad en verano (para que produzcan la mayor cantidad de sombra).

E-ISSN:2518-2943| **WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

El arbolado urbano, tanto nativo como no nativo, genera servicios ecosistémicos culturales, a excepción de la noción de "patrimonio autóctono", que también enfrenta desafíos asociados a polinizadores (Tallamy, Narango y Mitchell, 2021) y la escasez hídrica en el segundo. Sin embargo, para ambos, existe una fuerte probabilidad de que su importancia aumente en el futuro con el cambio climático (Spotswood et al., 2021). La comprensión de los beneficios de la renaturalización puede llevar a una mayor adopción de prácticas comunitarias de paisajismo que incluyan especies nativas, esto puede ayudar a mantener la resiliencia del paisaje urbano ante posibles desafíos futuros.

En el ámbito normativo, resulta de suma importancia establecer ordenanzas que promuevan la incorporación de vegetación autóctona en el entorno urbano y algunas restricciones para la introducción única de plantas no nativas.

Casos extremos basados en los valores de NDVI. En el presente estudio, se ha examinado también las diferencias significativas identificando aquellas con mayor y menor índice de vegetación entre las distintas manzanas (36), y destacando su potencial como ejemplos para futuras intervenciones en el contexto urbano. Dos manzanas en particular, la que alberga la Casa de Gobierno de la Provincia de Mendoza y la que contiene la Escuela Ing. Pablo Nogués, se presentan como casos relevantes para abordar procesos de regeneración de espacios con vegetación.

La primera manzana, donde se localiza la Casa de Gobierno de la Provincia de Mendoza ofrece una oportunidad para su regeneración a partir de la incorporación de vegetación autóctona, enfocándose en una articulación con el zanjón Frías. Por otro lado, la segunda manzana, que alberga la Escuela Ing. Pablo Nogués representa un desafío en la introducción de vegetación tanto en los espacios interiores como exteriores. En este sentido, podría mencionarse, que la vegetación fomenta la convivencia y enriquece la experiencia educativa del alumnado, promoviendo una identidad más naturalizada y beneficiando la salud física y mental, así como la autoestima y confianza (Kaushik, Tiwari y Manisha, 2022). La integración de la vegetación nativa en el paisaje urbano no solo puede contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático, sino que también puede fomentar la cohesión social y generar un sentido de pertenencia y cuidado hacia el entorno en el que habitamos.

En resumen, en el contexto del cambio climático y urbanización, la Ciudad de Mendoza posee capacidades de adaptación y mitigación incorporadas en su morfología urbano-edilicia. La ciudad ha acumulado un valioso capital cultural que se refleja en el entorno construido. Sin embargo, también conlleva una elevada fragilidad y vulnerabilidad ante nuevos desafíos. En el presente trabajo, el zanjón Frías ha sido reconocido como un área de relevancia para la promoción de la vegetación autóctona, basándose en la premisa de que este zanjón aluvional establece una conexión única entre el paisaje natural y el paisaje cultural construido con múltiples intervenciones antrópicas. Este entorno proporciona una oportunidad para la reintroducción de vegetación autóctona que aspira a la regeneración de un corredor ecológico.

El abordaje efectivo de los desafíos identificados en el estudio, requiere la colaboración activa y multidimensional entre diversas instituciones y organismos especializados.

Finalmente, en el contexto de la escasez de recursos hídricos, se plantea el desafío de cómo llevar a cabo la renaturalización de los espacios urbanos de manera integral. Este enfoque urbano, busca compatibilizarse con la morfología presente, que proporciona acceso al sol durante la estación invernal, corrientes nocturnas de aire fresco en el verano y zonas frescas durante las horas centrales del día, gracias

E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

a los beneficios de la vegetación en la estación cálida. Se argumenta que la consideración de aspectos relacionados con la morfología urbano-edilicia, la ecología urbana y una aproximación transdisciplinaria son elementos fundamentales para abordar las diversas oportunidades y restricciones que se presentan en el camino hacia la sostenibilidad, todo ello teniendo en cuenta el contexto cultural y patrimonial.

5. Agradecimientos

Se agradece el trabajo y elaboración cartográfica de Ricardo Cohn (CPA INCIHUSA-CONICET), la colaboración gráfica de María Cecilia Caminos Diez (CPA INCIHUSA-CONICET) y la colaboración de Manuela Fontanive (Politecnico di Torino), con experticia en SIG como parte de prácticas profesionales supervisadas realizadas (2017) en INCIHUSA-CONICET.

6. Financiamiento

Esta investigación se enmarca en los proyectos: 1. “Patrimonio cultural de Mendoza. Registro, análisis y prospectiva de bienes cultural-ambientales como recurso de desarrollo local e innovación socio-cultural” 2017- 2022 PUE CONICET 22920170100036; 2. “Nuevos espacios verdes en la Ciudad de Mendoza: articulación entre urbanización y recuperación de biodiversidad nativa”. SIIP TIPO 4. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo; 3. “Renaturalización del paisaje de los ríos temporarios del piedemonte de la Ciudad de Mendoza: Introducción del paisaje nativo en el Zanjón Frías”. Fondo verde para la sostenibilidad ambiental; Soluciones científico-tecnológicas para el área metropolitana con especial énfasis en la Ciudad de Mendoza. Municipalidad de la Ciudad de Mendoza.

7. Referencias

Arboit, M., Diblasi, A., Llano, J. F., y de Rosa, C. (2008). Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates: The case of the city of Mendoza, in Argentina. *Renewable Energy*, 33(8), 1733-1748. https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.11.007

Arboit, M., y Maglione, D. (2018). Situación actual y cambios recientes en los índices de vegetación (vis) en ciudades forestadas con climas secos. Caso área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Urbano*, 21 (38), 18–35. https://doi.org/10.22320/07183607.2018.21.38.02

Arboit, M., y Maglione, D. (2019). Impacto edilicio y del arbolado sobre el índice de vegetación en el área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Proyección*. Recuperado de: https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/proyeccion/article/view/2836

Arboit, M., y Maglione, D. (2022). Análisis de componentes principales de la morfología urbano edilicia del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Urbano*, 25(46), 106-121. https://doi.org/10.22320/07183607.2022.25.46.09

ArcGIS. Esri [en línea] (2023). Environmental Systems Research Institute, Inc. Disponible en: www.esri.com

Artmann, M., Inostroza, L. y Fan, P. (2019). Urban sprawl, compact urban development and green cities. How much do we know, how much do we agree?. *Ecological indicators*, 96, 3. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.059

Barbosa, O., Tratalos, J. A., Armsworth, P. R., Davies, R. G., Fuller, R. A., Johnson, P. y Gaston, K. J. (2007). Who benefits from access to green space? A case study from Sheffield, UK. *Landscape and Urban planning*, 83(2-3), 187-195. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.04.004

Bar-Massada, A., Radeloff, V. C., y Stewart, S. I. (2014). Biotic and abiotic effects of human settlements in the wildland–urban interface. *Bioscience*, 64(5), 429-437. https://doi.org/10.1093/biosci/biu039

Benedetti, Y., Callaghan, C. T., Ulbrichová, I., Galanaki, A., Kominos, T., Abou Zeid, F., ... y Morelli, F. (2023). EVI and NDVI as proxies for multifaceted avian diversity in urban areas. *Ecological Applications*, 33 (3), e2808. https://doi.org/10.1002/eap.2808

Bórmida, E. (2014). Mendoza, una ciudad oasis. *Revista de la Universidad de Mendoza*, (4/5), 131-137. Recuperado de: https://www.um.edu.ar/ojs2019/ index.php/RUM/article/view/189

Cantón, M. A., Mesa, A., Cortegoso, J. L., y de Rosa, C. (2003). Assessing the solar resource in forested urban environments: results from the use of a photographic-computational method. *Architectural Science Review*, *46*(2), 115-123. https://doi.org/10.1080/00038628.2003.969697

Capeluto, I. G., Yezioro, A., Bleiberg, T., y Shaviv, E. (2006, September). Solar rights in the design of urban spaces. In Comunicación presentada en la 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. (Vol. 23).

Coleman, A. F., Eisenman, T. S., Locke, D. H., y Harper, R. W. (2023). Exploring links between resident satisfaction and participation in an urban tree planting initiative. *Cities*, *134*, 104195. https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104195

Dangulla, M., Abd Manaf, L., y Ramli, M. F. (2023). Determining the response of vegetation to urbanization and land use/land cover changes using NDVI and NDBI differencing techniques. *Research Square*. Prepint (Version 1). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3050037/v1

Davis, A. Y., Jung, J., Pijanowski, B. C., y Minor, E. S. (2016). Combined vegetation volume and "greenness" affect urban air temperature. *Applied Geography*, *71*, 106-114. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.04.010

Demuzere, M., Hankey, S., Mills, G., Zhang, W., Lu, T., y Bechtel, B. (2020). Combining expert and crowd-sourced training data to map urban form and functions for the continental US. *Scientific Data*, 7, 264. https://doi.org/10.1038/s41597-020-00605-z

Dirección General de Catastro [en línea] (2023). Disponible en: https://www.atm.mendoza.gov.ar/portalatm/zoneTop/catastro/catastro.jsp

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de: http://www.infostat.com.ar

Domingo, D., Van Vliet, J., y Hersperger, A. M. (2023). Long-term changes in 3D urban form in four Spanish cities. *Landscape and Urban Planning*, *230*, 104624. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104624

Duncan, J. M., y Boruff, B. (2023). Monitoring spatial patterns of urban vegetation: A comparison of contemporary high-resolution datasets. *Landscape and Urban Planning*, *233*, 104671. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104671

Fan, C., Myint, S. W., Kaplan, S., Middel, A., Zheng, B., Rahman, A., ... y Blumberg, D. G. (2017). Understanding the impact of urbanization on surface urban heat islands—A longitudinal analysis of the oasis effect in subtropical desert cities. *Remote Sensing*, *9*(7), 672. https://doi.org/10.3390/rs9070672

Ferreira, L. S., y Duarte, D. H. S. (2019). Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. *Urban Climate*, *27*, 105-123. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.002

Gandhi, G. M., Parthiban, B. S., Thummalu, N., y Christy, A. (2015). Ndvi: Vegetation change detection using remote sensing and gis–A case study of Vellore District. *Procedia computer science*, *57*, 1199-1210. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415

Givoni, B. (1998). Climate considerations in building and urban design. John Wiley & Sons.

Grabowski, Z. J., McPhearson, T., y Pickett, S. T. (2023). Transforming US urban green infrastructure planning to address equity. *Landscape and Urban Planning*, *229*, 104591. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104591

Heynen, N. C., y Lindsey, G. (2003). Correlates of urban forest canopy cover: implications for local public works. *Public Works Management & Policy*, *8*(1), 33-47. https://doi.org/10.1177/1087724X03008001004

Hua, J., Cai, M., Shi, Y., Ren, C., Xie, J., Chung, L. C. H., ... y Webster, C. (2022). Investigating pedestrian-level greenery in urban forms in a high-density city for urban planning. *Sustainable Cities and Society*, *80*, 103755. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103755

Huang, J., Lu, X. X., y Sellers, J. M. (2007). A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing. *Landscape and urban planning*, *82*(4), 184-197. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.010

Huete, A. R., Jackson, R. D., y Post, D. F. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote sensing of environment*, *17*(1), 37-53. https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90111-7

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., y Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, *83*(1-2), 195-213. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2

Infraestructura Datos Espaciales Mendoza IDE [en línea] (2023). Disponible en: https://www.mendoza.gov.ar/idem/

Instituto Geográfico Nacional IGN [en línea] (2023). Disponible en: https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG

Kaushik, M., Tiwari, S., y Manisha, K. (2022). Habitat patch size and tree species richness shape the bird community in urban green spaces of rapidly urbanizing Himalayan foothill region of India. *Urban Ecosystems*, 25(2), 423-436. https://doi.org/10.1007/s11252-021-01165-9

Li, R., Liu, Z., Feng, L. y Gao, N. (2022). Simulación dinámica de fluidos rápidos de las distribuciones de flujo de aire en áreas residenciales urbanas. *Energía y Edificios*, 255, 111635. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111635

Li, X., Jia, B., Li, T. y Feng, F. (2023). Studying the spatial evolutionary behavior of urban forest patches from the perspective of pattern-process relationships. *Urban Forestry y Urban Greening*, 81, 127861 https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127861

Li, Z., Zhao, Y., y Hu, D. (2023). Evaluating the impacts of three-dimensional building morphology on urban near-surface energy fluxes: A case study in Beijing, China. *Energy and Buildings*, *279*, 112690. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112690

Litteral, J. y Wu, J. (2012). Urban landscape matrix affects avian diversity in remnant vegetation fragments: evidence from the Phoenix metropolitan region, USA. *Urban Ecosystems*, 15, 939-959. https://doi.org/10.1007/s11252-012-0245-4

Molina, G., Arboit, M., Maglione, D., Sedevich, A. y Mutani, G. (2020). Estudio de expansión urbana, crecimiento poblacional, consumos energéticos e índices de vegetación en el Área Metropolitana de Mendoza. *ÁREA*, 26(1), 1-21. Recuperado de https://area.fadu.uba.ar/area-2601/molina-et-al/

Municipalidad de la Ciudad de Mendoza [en línea] (2023). https://ciudaddemendoza.gob.ar/secretaria-planificacion-infraestructura-y-ambiente/obras-privadas/mapas/

Naciones Unidas. (2023). Recuperado de: https://www.un.org/es/desa-es/la-poblaci%C3%B3n-mundial-llegar%C3%A1-8000-millones-en-2022#:~:text=Las%20%C3%BAltimas%20proyecciones%20de%20las,y%209700%20millones%20en%202050.

Nature in the Urban Century. (2018). The Nature Conservancy Robert I. McDonald, M'Lisa Colbert, Maike Hamann, Rohan Simkin, Brenna Walsh.

Nowak, D. J., Hoehn, R. E., Bodine, A. R., Greenfield, E. J., y O'Neil-Dunne, J. (2016). Urban forest structure, ecosystem services and change in Syracuse, NY. *Urban Ecosystems*, *19*, 1455-1477. https://doi.org/10.1007/s11252-013-0326-z

Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. Atmospheric Environment (1967), 7(8), 769-779. https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6

Ossola, A., Locke, D., Lin, B., y Minor, E. (2019). Yards increase forest connectivity in urban landscapes. *Landscape Ecology*, *34*, 2935-2948. https://doi.org/10.1007/s10980-019-00923-7

E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni

Owens, S. (1986). *Energy planning and urban form*. London: Pion Ltd.

Parton, L. C. (2023). Measuring the effects of public land use change: An analysis of greenways in Raleigh, North Carolina. *Land Use Policy*, *131*, 106689. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106689

Persson, M., Lindberg, E. y Reese, H. (2018). Tree species classification with multi-temporal Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 10(11), 1794. https://doi.org/10.3390/rs10111794

QGIS.org [en línea] (2023). Sistema de Información Geográfica QGIS. Asociación QGIS. Disponible en: http://www.qgis.org

Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K. H., Rötzer, T., ... y Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Building and Environment*, *170*, 106606. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606

Rajbhandari, A., Matteson, K., Katz, E., LeBuhn, G., y Johnson, E. (2023). Bee visitation to flowers throughout New York City. *Landscape and Urban Planning*, *233*, 104689. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104689

Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., y Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation* (No. E75-10354). Final Report. Texas A&M Univ. College Station, TX, United States.

Ruiz Durán, M. E.; Orozco Hernández, M. E.; Granados Ramírez, R. y Álvarez Arteaga, G. (2017). Cambio de uso de suelo e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Subcuenca del río Salado, México. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 9, 39-50. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.11799/68525

Santana Rodríguez, L. M., Escobar Jaramillo, L. A. y Capote, P. A. (2010). Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. Revista de Geografía Norte Grande, (45), 77-95. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000100006

Shahabi, H., Ahmad, B. B., Mokhtari, M. H. y Zadeh, M. A. (2012). Detection of urban irregular development and green space destruction using normalized difference vegetation index (NDVI), principal component analysis (PCA) and post classification methods: A case study of Saqqez city. *International Journal of the Physical Sciences*, *7*(17), 2587-2595. Recuperado de: https://academicjournals.org/article/article1380617438_Shahabi%20et%20al.pdf

Sistema de Información Territorial y Ambiental [en línea] (2023) Disponible en: https://www.mendoza.gov.ar/ambiente/organismos/siat/mapas-siat/

Skougaard Kaspersen, P., Fensholt, R., y Drews, M. (2015). Using Landsat vegetation indices to estimate impervious surface fractions for European cities. *Remote Sensing*, *7*(6), 8224-8249. https://doi.org/10.3390/rs70608224

Spotswood, E. N., Beller, E. E., Grossinger, R., Grenier, J. L., Heller, N. E., y Aronson, M. F. (2021). The biological deserts fallacy: cities in their landscapes contribute more than we think to regional biodiversity. *Bioscience*, *71*(2), 148-160. https://doi.org/10.1093/biosci/biaa155

Stewart, I. D., y Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *93*(12), 1879-1900. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1

Swan, C. M., Brown, B., Borowy, D., Cavender-Bares, J., Jeliazkov, A., Knapp, S., ... y Sol, D. (2021). A framework for understanding how biodiversity patterns unfold across multiple spatial scales in urban ecosystems. *Ecosphere*, *12*(7), e03650. https://doi.org/10.1002/ecs2.3650

Tallamy, D. W., Narango, D. L., y Mitchell, A. B. (2021). Do non-native plants contribute to insect declines?. *Ecological Entomology*, 46(4), 729-742.

Theodorou, P. (2022). The effects of urbanisation on ecological interactions. Current Opinion in Insect Science, 100922. https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.100922

Troy, A. R., Grove, J. M., O'Neil-Dunne, J. P., Pickett, S. T., y Cadenasso, M. L. (2007). Predicting opportunities for greening and patterns of vegetation on private urban lands. *Environmental management*, *40*, 394-412. https://doi.org/10.1007/s00267-006-0112-2

Uchida, K., Blakey, R. V., Burger, J. R., Cooper, D. S., Niesner, C. A., y Blumstein, D. T. (2021). Urban biodiversity and the importance of scale. *Trends in Ecology & Evolution*, *36*(2), 123-131. https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.10.011

United States Geological Survey (USGS), Earthexplorer [en línea] (2023). Disponible en: https://earthexplorer.usgs. gov/

Wu, S., Liang, Z. y Li, S. (2019). Relationships between urban development level and urban vegetation states: A global perspective. *Urban Forestry y Urban Greening*, 38, 215-222. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.12.010

Xie, S., Marzluff, J. M., Su, Y., Wang, Y., Meng, N., Wu, T., ... y Ouyang, Z. (2022). The role of urban waterbodies in maintaining bird species diversity within built area of Beijing. *Science of The Total Environment*, *806*, 150430. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150430

Yeager, R., Browning, M. H., Breyer, E., Ossola, A., Larson, L. R., Riggs, D. W., ... y Bhatnagar, A. (2023). Greenness and equity: Complex connections between intra-neighborhood contexts and residential tree planting implementation. *Environment International*, *176*, 107955. https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107955

Zhang, J., y Tan, P. Y. (2023). Assessment of spatial equity of urban park distribution from the perspective of supply-demand interactions. *Urban Forestry & Urban Greening*, *80*, 127827. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127827

Zhou, H., Xu, C., Pu, H., Nie, Y., y Sun, J. (2023). Influence of urban surface compositions on outdoor thermal environmental parameters on an urban road: A combined two-aspect analysis. *Sustainable Cities and Society*, *90*, 104376. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104376

Zhu, R., Kwan, M. P., Perera, A. T. D., Fan, H., Yang, B., Chen, B., ... y Yan, J. (2023). GIScience can facilitate the development of solar cities for energy transition. *Advances in Applied Energy*, 100129. https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100129

E-ISSN:2518-2943|**WEB:** https://www.camjol.info/index.php/arquitectura | **DOI:** https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i16.17423 | **E-MAIL:** rvarqui.mas@farq.uni.edu.ni