

SITUACIÓN ACTUAL Y CAMBIOS RECIENTES EN LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN (VIS) EN CIUDADES FORESTADAS CON CLIMAS SECOS¹

CASO ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA, ARGENTINA

THE CURRENT SITUATION AND RECENT CHANGES IN VEGETATION INDICES (VIS) IN FORESTED CITIES
WITH DRY CLIMATES: THE CASE OF THE MENDOZA METROPOLITAN AREA, ARGENTINA

MARIELA EDITH ARBOIT ²
DORA SILVIA MAGLIONE ³

- 1 El desarrollo de esta investigación contó con el financiamiento de los proyectos PPI-FAUD-Universidad de Mendoza; PIP-11220130100407 (CONICET); UE CONICET 2017-2022/22920170100036 y los aportes de M. Masiokas (IANIGLA-CONICET); G. Mutani y M. Fontanive (Politecnico di Torino); G. Molina y R. Cohn (INCIHUSA- CONICET); C. Cucchiatti y J. Morales (Universidad de Mendoza).
- 2 Doctora en Arquitectura
Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
Investigadora Adjunta.
<https://orcid.org/0000-0003-1929-5382>
marboit@mendoza-conicet.gov.ar
- 3 Magíster en Estadística Aplicada
Instituto de Trabajo, Economía y Territorio Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Argentina.
Docente investigadora
<https://orcid.org/0000-0003-4708-7089>
dmaglione@uarg.unpa.edu.ar



Las ciudades insertas en tierras secas se han adaptado a la escasez de recursos y a la complejidad antrópico-cultural del hábitat. La vegetación urbana es un elemento clave para la mitigación de los cambios climáticos y la resiliencia frente a la compleja problemática energético-ambiental relacionada con las morfologías urbano-edilicias. El objetivo del presente trabajo es estudiar las condiciones actuales y los cambios recientes en la vegetación urbana, analizando la variabilidad temporal y espacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) en el área metropolitana de Mendoza (AMM).

Metodológicamente, se determinaron los índices en sistemas de información geográfica (SIG) del análisis de imágenes satelitales Landsat 5 (1986-2011) y Landsat 8 (2013-2017) y se realizó un análisis estadístico de estimación de tendencias y correlaciones.

Los resultados obtenidos indican una pendiente general descendente en los valores medios NDVI y SAVI en el período 1986-2011. Maipú y Guaymallén muestran las pendientes descendentes mayores, con prioridad de intervención en la toma de decisiones para resolver la tendencia, seguidos por Luján de Cuyo y Las Heras. Capital es el departamento con menor pendiente de descenso. En el período 2013-2017 se determinaron correlaciones positivas muy altas entre departamentos. Godoy Cruz es el departamento prioritario a intervenir en la estrategia de aumento en los índices de vegetación, considerando los resultados por departamento y por manzanas urbanas, para la totalidad de los años de estudio.

Finalmente, los espacios verdes públicos del AMM prioritarios a intervenir se ubican en Las Heras para las estrategias de aumento en los valores de índices de vegetación y de aumento de superficie de espacios verdes públicos.

Palabras clave: variación de la vegetación, SIG, teledetección, infraestructura verde urbana.

Cities in drylands have adapted to the scarcity of resources and the anthropic-cultural complexity of the habitat. Urban vegetation is a key element for resilience and the mitigation of climate changes when faced with the complex energy-environmental issues related to urban-building morphologies. The objective of this research is to study the current conditions and recent changes in urban vegetation in the 6 municipalities of the Mendoza Metropolitan Area (MMA) by analyzing the temporal and spatial variability of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Methodologically, the indices were determined using geographic information systems (GIS) from the analysis of satellite images from Landsat 5 (1986-2011) and Landsat 8 (2013-2017), and a statistical analysis was carried out to estimate trends and correlations. The results obtained indicate a generally decreasing slope in the mean NDVI and SAVI values during the 1986-2011 period. The municipalities of Maipú and Guaymallén show the greatest decreasing slopes, and should be given priority for intervention in decision-making to resolve this trend, followed by Luján de Cuyo and Las Heras. Capital is the municipality with the most gradual decreasing slope. During the 2013-2017 period, very high positive correlations were found between municipalities. The municipality of Godoy Cruz is the priority for intervention with the increasing vegetation indices strategy, considering the results by municipality and by urban block for the entirety of the years studied. Lastly, the public green spaces of the MMA that are the priority for intervention are located in Las Heras for the increasing vegetation indices and increasing the surface area of public green spaces strategies.

Keywords: variation of vegetation, GIS, remote sensing, urban green infrastructure.

I. INTRODUCCIÓN

Las principales condicionantes de las ciudades insertas en tierras secas son su aridez, escasos recursos hídricos, condiciones climáticas extremas en ambas estaciones del año, elevada irradiación solar, condiciones de cielos claros con grandes oscilaciones de temperatura y alta luminancia del cielo diurno. Se suman a la problemática los aspectos antrópicos: crecimiento de la población, elevadas tasas de urbanización, modelos imperantes de expansión dispersa y consumo, degradación de la tierra y del suelo, deterioro del sistema de riego, falta de gobernanza y planificación urbana, todos los cuales afectan gravemente los recursos ambientales de los que dependen los habitantes para su salud y bienestar.

La UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification) define las tierras secas según su índice de aridez, definido como la proporción entre la precipitación anual media (P) y la evapotranspiración potencial media anual (PET), con una relación P/PET inferior a 0,65. Gran parte de las tierras secas se encuentran entre los 20° y 35° de latitud, cubren ~ 41.5% de la superficie terrestre y albergan un tercio la población mundial, enfrentándose a la presión del cambio climático de la actividad humana y la fragmentación del hábitat (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008; Miles *et al.*, 2006). La preocupación por la problemática en estas regiones ha dado como resultado un estudio reciente sobre la extensión de los bosques en los biomas de tierras secas que ha permitido determinar la cobertura vegetal y cuantificar la superficie boscosa en tierras áridas a nivel mundial mediante el uso de datos satelitales (Bastin *et al.*, 2017).

El estudio de la infraestructura verde a escala urbana es un tema relevante en la planificación y políticas públicas, además, el arbolado y las superficies verdes juegan un importante rol en el mejoramiento de la calidad del ambiente urbano y proveen grandes beneficios sociales y ambientales que favorecen la calidad de vida en las ciudades, como el llamado efecto de "isla fría diurna" en tierras secas (Pearlmutter, Bitan y Berliner, 1999), la promoción de la biodiversidad, la protección de hábitats y especies (McPherson *et al.*, 2017; Santamouris *et al.*, 2018).

En cuanto a los aspectos metodológicos, la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) tienen amplias áreas de aplicación. Son importantes los trabajos sobre la determinación del NDVI que proporciona la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (Monteith, 1973), el funcionamiento en el ecosistema (Virginia y Wall, 2001), la identificación de ecorregiones (Ramsey, Falconer y Jensen, 1995) y el seguimiento de patrones fenológicos con los cambios estacionales y de crecimiento (Huete y Liu, 1994), análisis de comportamiento y tendencias del vigor de la vegetación (Salinas-Zavala, Martínez-Rincón y Morales-Zárate, 2017).

Investigaciones similares sobre la actividad fotosintética vegetal calculada mediante el NDVI han sido relacionadas a escala urbana con: microclima (Davis *et al.*, 2016), uso del suelo urbano (Gandhi, Parthiban y Thummalu, 2015; Ruiz Durán *et al.*, 2017); crecimiento urbano (Shahabi *et al.*, 2012), calidad del ambiente urbano (Santana-Rodríguez, Escobar-Jaramillo y Capote, 2010), superficies impermeables (Kaspersen, Fensholt y Drews, 2015), clasificación de ciudades verdes (Gärtner, 2017), efecto oasis e impacto de la urbanización en ciudades subtropicales del desierto (Fan *et al.*, 2017), y con la identificación de la infraestructura verde y su distribución en relación a parámetros administrativos y urbanísticos en las ciudades.

El objetivo del presente trabajo es estudiar los índices de vegetación (VIs) de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8, a fin de determinar las condiciones actuales y los cambios recientes en la vegetación urbana, analizando la distribución espacial de los VIs en el AMM, Argentina. La investigación permitió elaborar líneas de tendencia, completar resultados y extraer conclusiones de importancia para determinar prioridades de intervención y estrategias. Se espera que la metodología permita a futuro el monitoreo continuo de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en el AMM.

Presentación del Caso de Estudio

La provincia de Mendoza se extiende en el centro-oeste argentino y se sitúa entre los -32° y -37°35' de latitud y los -66°30' y -70°35' de longitud (Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina, 2017), con una superficie de 150.839 km² y una población de 1.741.610 habitantes. Se localiza en una zona templada, con clima árido a semiárido y un promedio de precipitaciones entre 200 y 250mm anuales. La superficie de los oasis ⁴ de cultivo de la provincia constituye alrededor del 4,5% de la superficie total (Figura 1). El 98,5% de la población se concentra en los oasis irrigados. La zona definida como universo de análisis es el AMM ubicado en el oasis norte (Figura 2) y conformado por seis departamentos administrativos (Figura 3).

II. METODOLOGÍA

Datos de referencia. Metodológicamente, se prepararon los antecedentes cartográficos en entorno SIG. Los datos fueron obtenidos de archivos catastrales y municipales (Dirección General de Catastro, 2010 y Municipalidad de Capital, 2010). Se analizaron imágenes satelitales provenientes de Landsat 5, Landsat 8 (United States Geological Survey, 2016) e imágenes de contaminación lumínica (Earth Observation Group, 2017). En la Figura 4, se presenta un resumen metodológico de los pasos seguidos.

⁴ “[...] La palabra “oasis” deriva de los términos coptos *ueh* (habitar) y *saa* (beber). En las diversas regiones áridas del mundo, los oasis son los únicos lugares permanentemente habitados por el hombre” (Abraham, 2017).

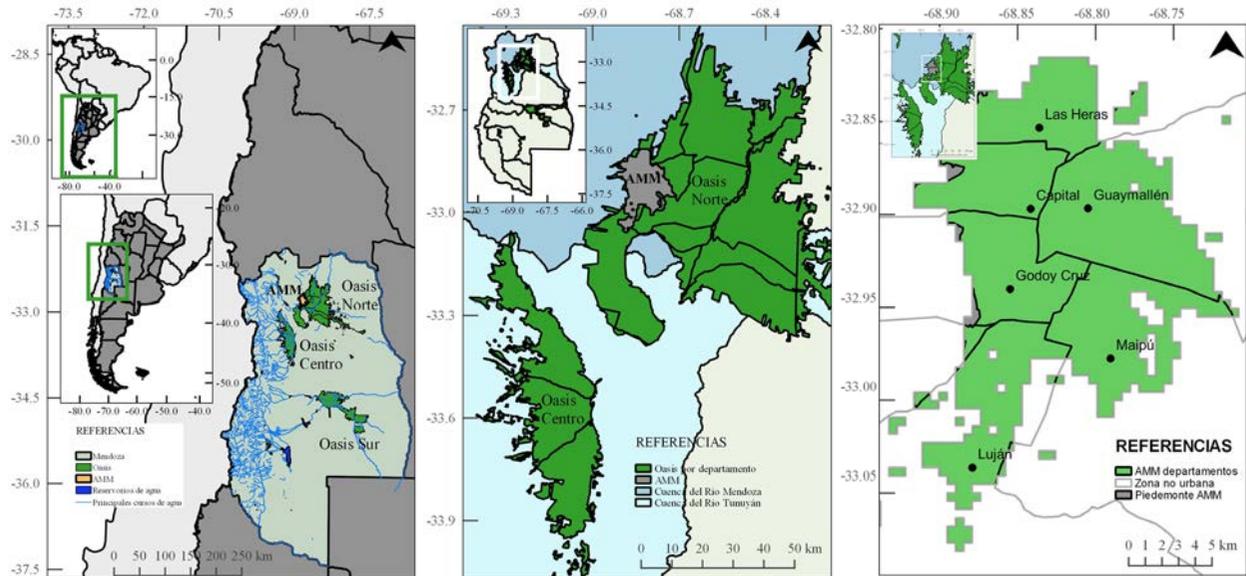


Figura 1. Ubicación de los oasis de cultivo con aprovechamiento hídrico. Fuente: Elaboración de Arboit, M.
 Figura 2. Oasis de cultivo Norte, Centro y AMM. Fuente: Elaboración de Arboit, M.
 Figura 3. Departamentos del AMM. Fuente: Elaboración de Arboit, M.

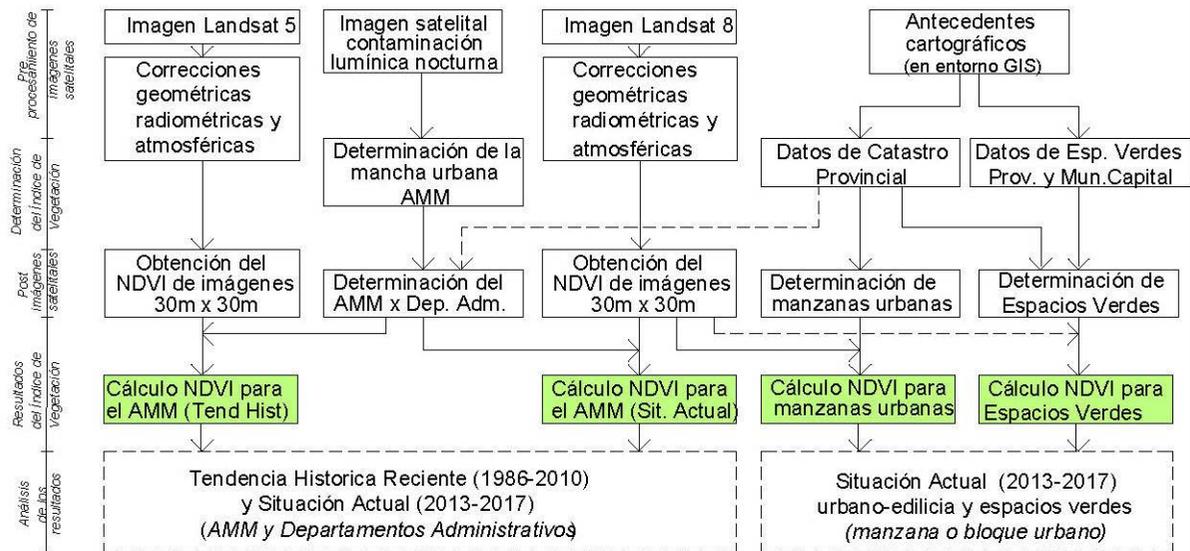


Figura 4. Cuadro del diseño metodológico. Fuente: Elaboración de Arboit, M.

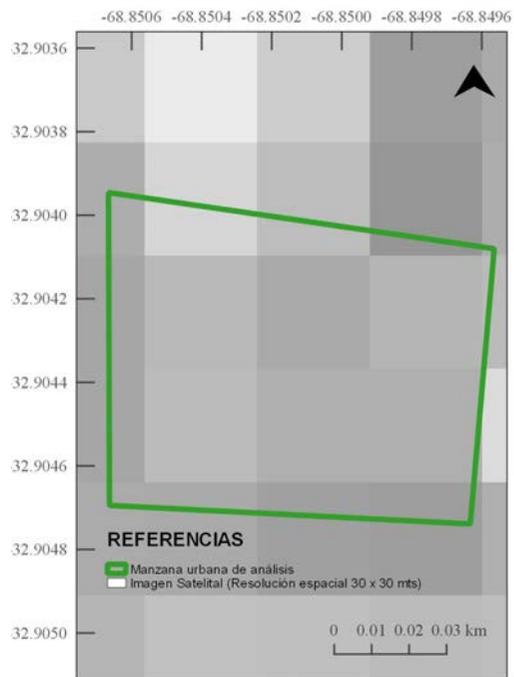
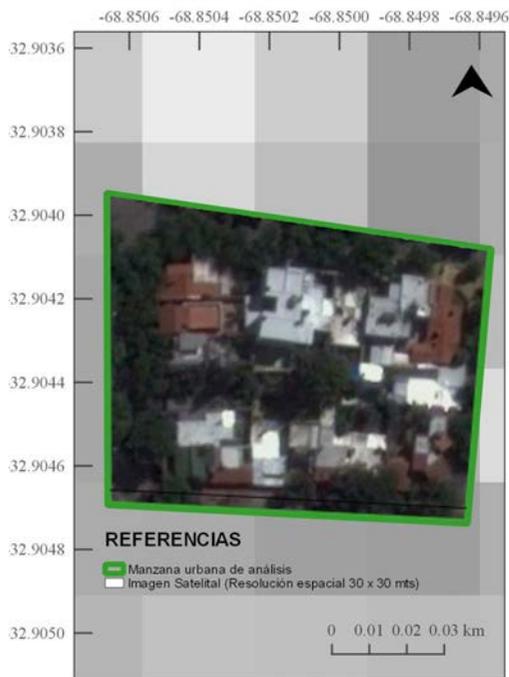
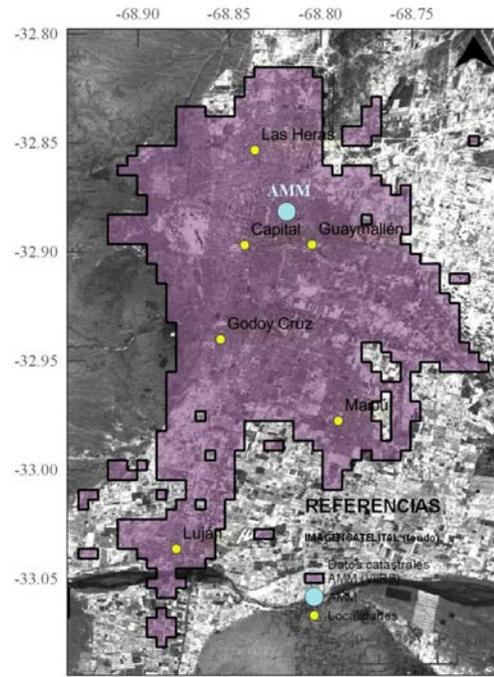
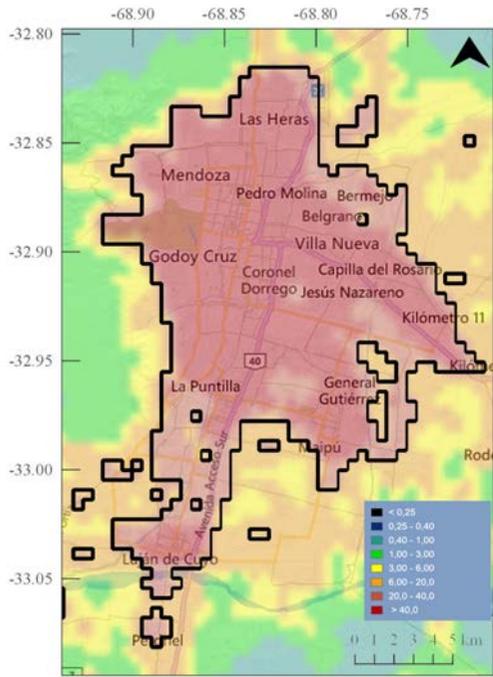


Figura 5. Imagen de contaminación lumínica: superposición con polígono considerando como límite una radiancia mayor a 20 ($10^{-9}W/cm^2\cdot sr$). Fuente: Lightpollutionmap, 2016.
Figura 6. imagen satelital: superposición con el archivo en formato SIG generado de la imagen de contaminación nocturna. Fuente: Landsat Science, 2016.
Figura 7. Imagen de una manzana urbana de análisis. Fuente: Google maps, 2016.
Figura 8. Superposición de la imagen satelital y del perímetro de la manzana urbana Escena: 27/02/2011. Fuente: Elaboración de Arboit, M.

	Bandas	Resolución espectral Longitud de onda (µm)	Resolución espacial (m)
Landsat 5	Banda 3 – Rojo (R)	0.63-0.69	30
	Banda 4 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.76-0.90	30
Landsat 8	Band 4 – Rojo (R)	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30

Tabla 1. Resolución espectral y espacial. Landsat 5 y Landsat 8 ⁵. Fuente: Earth Observation Group, 2017.

Determinación de superficies de estudio. La superficie de análisis del AMM (252km²) se determinó a partir de imágenes de contaminación lumínica nocturna ⁶ (Earth Observation Group, 2017), considerándose como límite una radiancia mayor a 20 (10-9W/cm²-sr), para luego generar un archivo en formato SIG (Figuras 5 y 6). Se identificaron los departamentos administrativos y sus superficies de superposición de las cartografías para la provincia de Mendoza (agencia provincial de ordenamiento territorial).

Las manzanas urbanas se definieron considerando la superficie desde eje de calle a eje de calle, con el propósito de incluir el arbolado urbano y cobertura vegetal estratificada correspondiente a cada manzana (Figuras 7 y 8).

Los datos de base para la cartografía de los espacios verdes públicos se obtuvieron de antecedentes SIG municipales y provinciales y se consideró la superficie interna del perímetro del espacio verde público.

Imágenes satelitales y clasificación multiespectral. Se realizó el estudio de imágenes satelitales provenientes de Landsat 5, que fue desarrollado para el estudio y monitoreo de los recursos terrestres, de sensores remotos, con disponibilidad de imágenes desde 1984 a 2011. Para la situación actual se analizaron imágenes Landsat 8 (sensor con disponibilidad de imágenes desde 2013 a la fecha). Las resoluciones espaciales y espectrales se detallan en la Tabla 1. La repetición de cobertura de datos es cada 16 días lo que da su resolución temporal.

El análisis de los cambios recientes no es comparable con el análisis de la situación actual en valores absolutos por las características de los datos satelitales (Tabla 1). El estudio

combinado nos permite obtener conclusiones sobre los cambios de la actividad fotosintética vegetal en 25 años (1986-2011) y profundizar el conocimiento sobre la situación actual (2013-2017) con un mayor grado de detalle en cuanto a escalas espaciales y temporales. El estudio mensual y estacional, permitirá ampliar a futuro el conjunto de estrategias para maximizar la eficiencia energética-ambiental en las distintas estaciones del año.

A partir de lo anterior, se seleccionaron y descargaron imágenes satelitales desde el catálogo del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), para la estación de verano de Landsat 5 (23 escenas) y mensuales de Landsat 8 (38 escenas), con un porcentaje medio estimado de cobertura de nubes menor al 12% en toda la escena de Landsat (de existir dicho porcentaje de nubosidad, se localiza fuera del área de estudio). Posteriormente, se realizó la georeferenciación para el área de análisis, para lo cual se utilizó WGS 84 / UTM zone 19S, EPSG:32719 y, sobre puntos de control claramente identificables en las imágenes y elementos estables del paisaje, se realizaron ajustes.

Pre- procesamiento de imágenes satelitales. Las imágenes satelitales, al ser obtenidas de sensores remotos, adquieren cierto tipo de interferencias. Para eliminar las perturbaciones se pre-procesaron las imágenes efectuando correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas (Morán *et al.*, 1992). No se consideraron los impactos de los cambios en la órbita de Landsat 5 (Zhang y Roy, 2016).

Índices de vegetación. Se ha considerado el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).

⁵ Landsat son satélites desarrollados para el estudio y monitoreo de los recursos terrestres, a partir de sensores remotos (teledetección multiespectral). El número de canales espectrales que es capaz de captar el sensor da como resultado la resolución espectral. Las imágenes Landsat 5 captadas por el sensor Thematic Mapper (TM), están compuestas por 7 bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros x 30 para las bandas 1 a 5 y 7; la resolución espacial de la banda 6 (infrarrojo térmico) es de 120 metros. El Landsat 8 posee dos sensores transportados por el satélite (Operational Land Imager –OLI– y Thermal Infrared Sensor –TIRS–) que completan 11 bandas espectrales; OLI provee acceso a nueve bandas espectrales (0.433 µm - 1.390 µm) y TIRS a dos (10.30µm -12.50µm). La resolución espacial es de 30 metros para las Bandas 1 a 7 y 9. Las bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas superficiales. En la Tabla 1 se observan algunas de las especificaciones técnicas para las bandas espectrales de rojo e infrarrojo cercano útiles para el cálculo de NDVI y SAVI (Landsat 5 y Landsat 8).

⁶ Se utilizaron datos del radiómetro satelital diseñado especialmente para luces nocturnas VIIRS (Kyba *et al.*, 2017), que determina la superficie artificialmente iluminada de la Tierra por la noche, el aumento en brillo y extensión (disponibilidad desde 2011). Esto permitirá a futuro que los resultados sean relacionados con el consumo energético y vincularlo con consecuencias negativas para la flora, la fauna y el bienestar humano. Las imágenes de la tierra en la noche y los datos geográficos complementan el estudio de las escenas satelitales diurnas.

1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El índice NDVI ha demostrado su utilidad para el estudio de características de la vegetación (Chuvienco, 2002) y como índice cuantitativo del funcionamiento de los ecosistemas. Resulta del cociente normalizado entre bandas espectrales (rojo e infrarrojo cercano). El índice permite identificar la vegetación de otras superficies. El NDVI varía entre -1 y +1: valores altos revelan alta actividad fotosintética de la cubierta vegetal (fenología foliar) y una estrecha relación con la evapotranspiración; valores bajos indican situaciones de escasa o nula cubierta vegetal y baja actividad fotosintética; y valores negativos corresponden principalmente a nubes, agua y nieve. El NDVI se obtiene de la siguiente ecuación (Rouse *et al.*, 1974):

$$NDVI = (NIR - R) \div (NIR + R)$$

- (1) Dónde:
NIR = Infrarrojo Cercano
R = Rojo

2. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI). Entre los factores que modifican el comportamiento del NDVI está la proporción de vegetación/suelo observada por el sensor en zonas áridas. Por lo que Huete desarrolló el índice de vegetación con un parámetro "L", que ajusta el índice a una reflectividad promedio del fondo (Huete, Jackson y Post, 1985). Este índice se calcula como la diferencia normalizada entre la banda roja (R) y la banda del infrarrojo cercano (NIR) ajustado con un factor "L" (entre 0 y 1) con un valor utilizado en el trabajo de 0.5, que permite el ajuste a todo tipo de cobertura (Comisión Nacional de Actividades Espaciales, 2016). La siguiente ecuación responde al índice:

$$SAVI = [(NIR - R) \div (NIR + R + L)] \cdot (1 + L)$$

- (2) Donde:
L: es un factor de ajuste
NIR = infrarrojo cercano
R = rojo

Cálculo de índices de vegetación y post procesamiento de imágenes satelitales. Se combinaron las bandas espectrales en entorno SIG, calculando las ecuaciones 1 y 2 (para Landsat 5 -banda 3 y 4-, para Landsat 8 -bandas 4 y 5-. Ver Tabla 1). Cabe señalar que las imágenes Landsat cubren grandes áreas. Para facilitar los cálculos en la cartografía georreferenciada fue necesario combinar los archivos .shp de las áreas de estudio y los valores resultantes de la combinación de las bandas (Figuras 9-11). Se calcularon, entonces, los valores medios de los índices para cada polígono correspondiente al AMM, a los departamentos administrativos, los espacios verdes públicos y las manzanas urbanas del AMM.

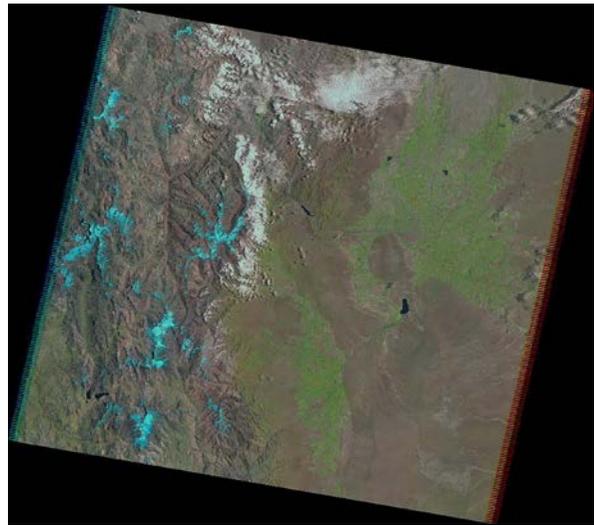


Figura 9. Imagen satelital. 27/02/2011. Path (232) Row (83) para la zona de análisis. Fuente: Elaboración de Arboit, M.

III. RESULTADOS

Cambios recientes del NDVI y SAVI para el período 1986-2011.

El valor medio NDVI obtenido en el AMM es de 0.287, con un valor NDVI mínimo de 0.22 calculado para 2003; el valor medio de SAVI para el mismo período es de 0.180. En el caso de SAVI, el menor valor, de 0.15, se observa en 2003, 2006 y 2010, y el valor máximo, de 0.21, en 1986 y 1993. Además, el análisis temporal de los resultados, indica una tendencia general descendente para los valores medios de NDVI y SAVI en el AMM (Figura 13), ya que al realizar el ajuste por medio de una recta de regresión lineal, todas las pendientes resultan ser significativamente distintas de cero para ambos índices en el AMM (p-valor < 0.0001 en los dos casos). En particular, se estimó el valor para la pendiente de descenso del NDVI en -0.0045; y en -0.0018, para la pendiente de descenso del SAVI. Además, existe una correlación fuerte entre los índices NDVI y SAVI en el AMM (r=0.953).

Si se analizan los resultados de los seis departamentos ubicados en el AMM, puede afirmarse que los valores medios anuales de NDVI y SAVI son distintos en los departamentos (con la excepción de Guaymallén y Maipú que presentan valores similares). En Luján de Cuyo se observa el valor medio NDVI más alto (0.337), seguido por Maipú y Guaymallén (0.310 y 0.304); mientras las áreas urbanas de Las Heras (0.271) y Capital (0.244) presentan valores inferiores. El departamento

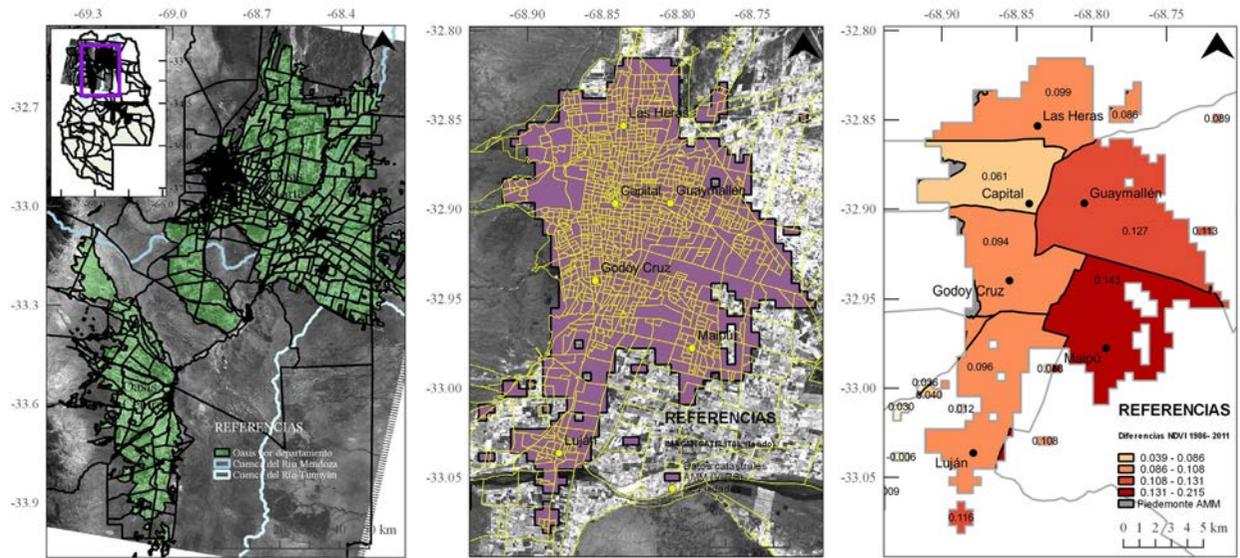


Figura 10. Imagen satelital en superposición con datos cartográficos secciones catastrales. Fuente: Elaboración de Arboit, M.
 Figura 11. Imagen satelital en superposición con datos cartográficos del AMM y secciones catastrales. Fuente: Elaboración de Arboit, M.
 Figura 12. Distribución espacial de la diferencia de los valores medios de NDVI por departamento, para la unidad espacial AMM. Diferencia entre los años 1986 y 2011. Fuente: Elaboración de Arboit, M.

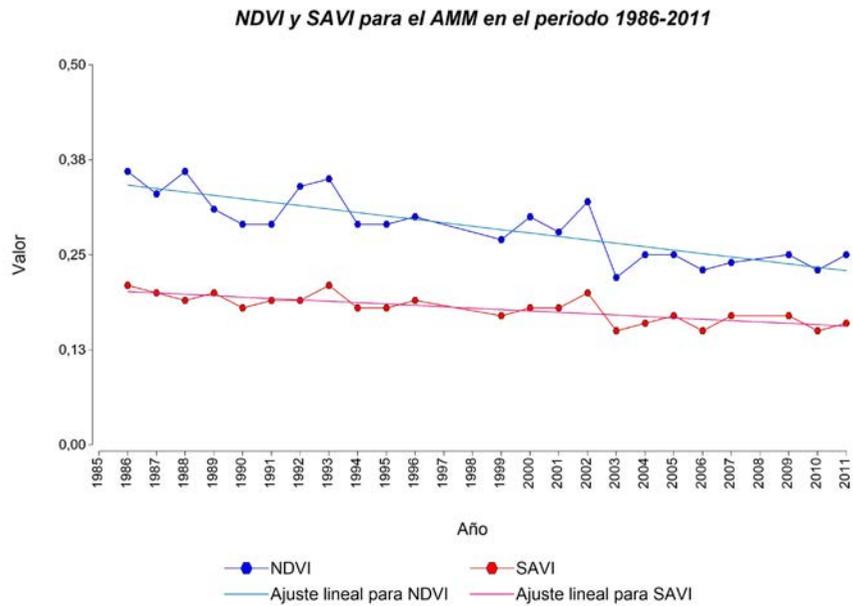


Figura 13. Distribución de los valores medios NDVI y SAVI para el período 1986-2011 en AMM. Fuente: Elaboración de Maglione, D.

Valor de NDVI para los departamentos del AMM en el periodo 1986-2011

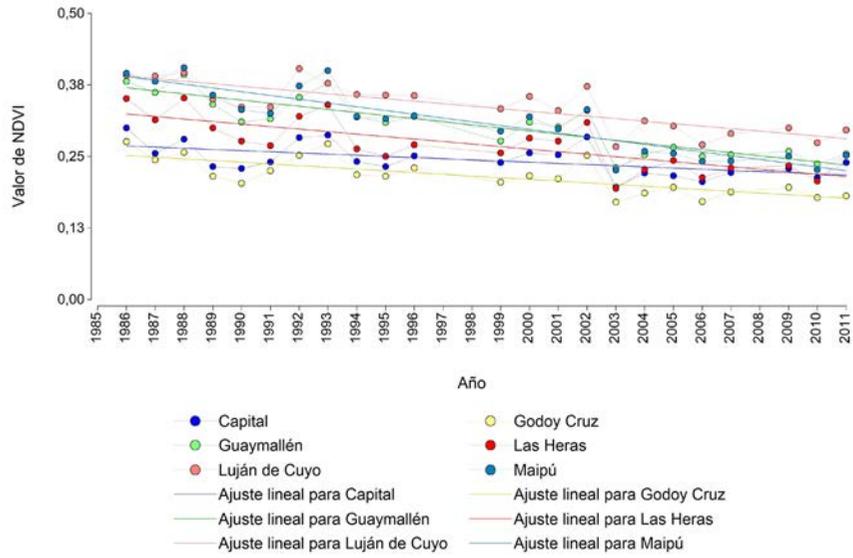


Figura 14. Distribución de los valores medios de la serie temporal del NDVI para los departamentos del AMM, en el periodo 1986-2011. Fuente: Elaboración de Maglione, D.

NDVI por departamento					
Godoy Cruz	Capital	Las Heras	Guaymallén	Maipú	Luján de Cuyo
0.216 < 0.244 < 0.271 < 0.304 = 0.310 < 0.337					

Tabla 2. Valores medios de NDVI por departamento y resultados del test LSD Fisher para p-valor>0.1 Fuente: Elaboración de Maglione, D.

SAVI por departamento					
Godoy Cruz	Capital	Las Heras	Guaymallén	Maipú	Luján de Cuyo
0.138 < 0.148 < 0.172 < 0.193 = 0.193 < 0.209					

Tabla 3. Valores medios de SAVI por departamento y resultados del test LSD Fisher para p-valor>0.1 para la igualdad estadística Fuente: Elaboración de Maglione, D.

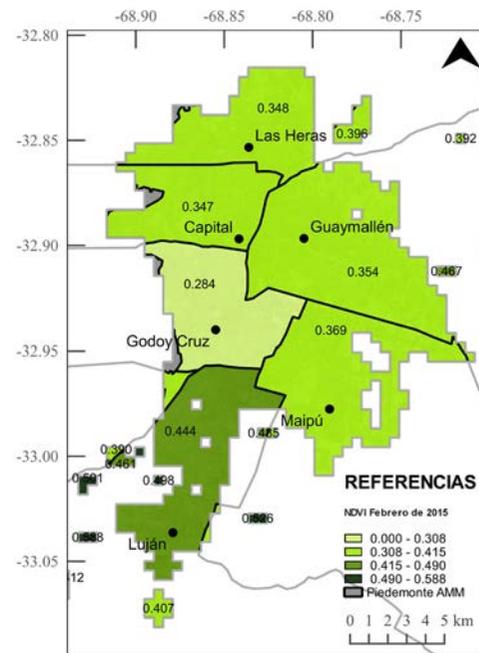


Figura 15. Distribución espacial de los valores medios NDVI por departamento para el AMM (febrero de 2015). Fuente: Elaboración de Arboit, M.

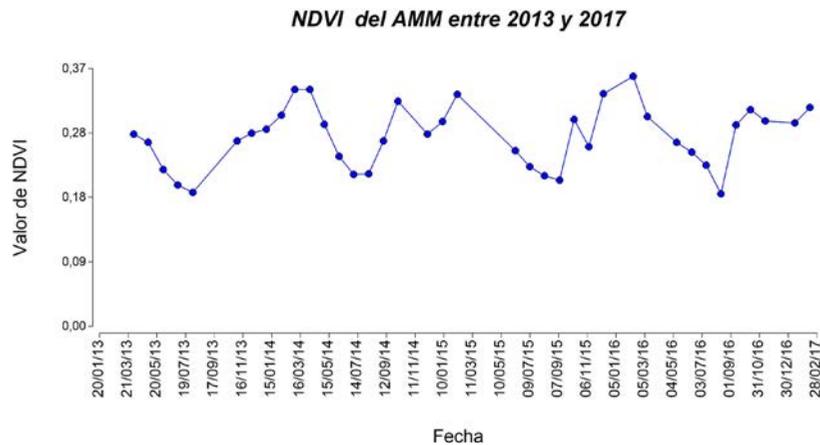


Figura 16. Distribución multitemporal del NDVI en el AMM, para el periodo 2013-2017.
Fuente: Elaboración de Maglione, D.

de Godoy Cruz es el que posee los valores medios NDVI más bajos (0.216). Al realizar el test LSD de Fisher, éste indica que los valores medios NDVI de Maipú y Guaymallén son significativamente iguales (Tabla 2); los resultados para SAVI, que presentan un comportamiento similar, pueden observarse en la Tabla 3.

Al realizar el ajuste mediante una recta de regresión lineal por departamento para el período 1986-2011, todas las pendientes resultan ser significativamente distintas de cero para NDVI y SAVI (Figuras 12 y 14). Los valores estimados para las pendientes de descenso NDVI, considerando el período 1986-2011, son: Maipú = -0.0066 (p-valor < 0.0001); Guaymallén = -0.0054 (p-valor < 0.0001); Luján de Cuyo = -0.0044 (p-valor < 0.0001); Las Heras = -0.0044 (p-valor < 0.0001); Godoy Cruz = -0.0030 (p-valor < 0.0001); Capital = -0.0020 (p-valor = 0.0040). Asimismo, las pendientes resultan ser diferentes entre sí, salvo para Luján de Cuyo y Las Heras (p-valor = 0.9507). El mismo comportamiento se da para SAVI.

Situación actual del NDVI período abril 2013 - febrero 2017.

El valor medio de NDVI para la totalidad del AMM en el período 2013-2017 es de 0.272. Se observa un rango de valores para NDVI en el AMM entre un máximo de 0.359 en febrero de 2016 y un mínimo de 0.190 en agosto de 2016. En la Figura 16 se ofrece un resumen de estos resultados: puede observarse que en el período 2013-2017 no se evidencian cambios significativos en los valores medios de NDVI, ya que la pendiente de la recta que ajusta esos puntos no es significativamente distinta de cero. Esto también sucede si se analizan los distintos departamentos del AMM, sus espacios verdes o sus manzanas, en forma independiente.

Analizando comparativamente los seis departamentos del AMM (Figura 17), el valor medio NDVI más alto (0.320) se ubicó en Luján de Cuyo. Capital pasó del quinto lugar, en orden ascendente (período 1986-2011), al segundo lugar (2013-2017), con un valor medio de NDVI de 0.284, seguida por Maipú, Guaymallén y Las Heras (0.276 y 0.272, 0.257). En valores absolutos, el área urbana más comprometida en relación al NDVI para la situación actual es Godoy Cruz (0.225). En la Figura 15 se ilustra la escena de febrero de 2015. El test LSD de Fisher indica que los valores medios NDVI de Luján de Cuyo y Godoy Cruz son significativamente distintos al resto de los departamentos. De los 228 resultados obtenidos por departamento administrativo, el índice más alto (0.444) se dio en el departamento de Luján de Cuyo, en febrero de 2016, y el valor mínimo (0.157), en Godoy Cruz, en agosto de 2013.

Espacios verdes públicos del AMM. Del total de superficie del AMM (252km²) definida en el estudio, el 2.41% (6.07 km²) corresponde a espacios verdes públicos y el 63.94%, a las manzanas urbanas (10390 manzanas cuya superficie neta es 161.12 km², sin incluir calles, veredas u otros). Al relacionar la superficie de los espacios verdes públicos del AMM y la superficie neta de las manzanas urbanas, el 1.47% lo ocupan los espacios verdes y el 98.53% las manzanas urbanas estudiadas. Del análisis porcentual de superficies de espacios verdes públicos por departamento, Capital ocupa el primer lugar, con un 46.02% (2.84 km²), seguido por Maipú, con 14.64% (0.90 km²), Guaymallén, con 14.30% (0.88 km²) y Godoy Cruz, con 12.29% (0.76 km²). Los departamentos que poseen menor porcentaje de espacios verdes respecto al total de los espacios del AMM son Luján de Cuyo, con 5.65% (0.35km²) y Las Heras, con 5.46% (0.34km²). Otros espacios verdes no considerados en el estudio de NDVI representaron el 1.64% (0.10) (Figura 19).

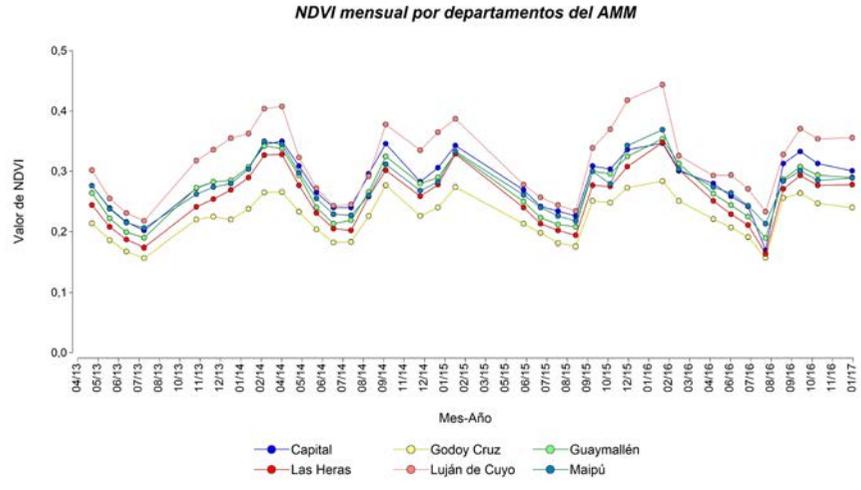


Figura 17. Distribución multitemporal de los valores NDVI por departamento del AMM, para el periodo 2013-2017. Fuente: Elaboración de Maglione, D.

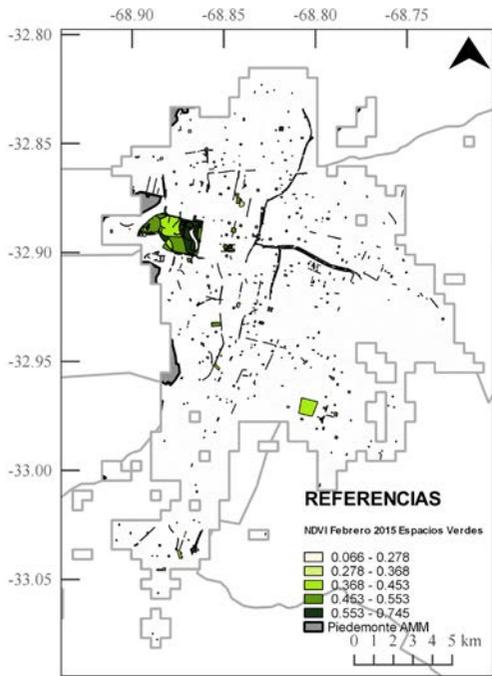


Figura 18. Distribución espacial de los valores medios NDVI en los espacios verdes públicos del AMM (febrero de 2015). Fuente: Elaboración de Arboit, M.

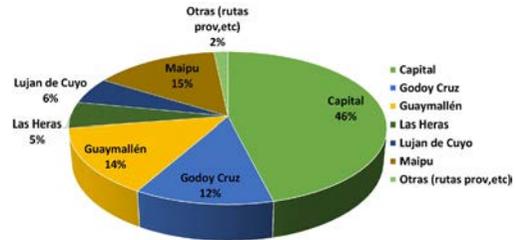


Figura 19. Porcentaje de espacios verdes públicos por departamento. Referencia: Dirección General de Catastro y Datos Cartográficos Municipales. Fuente: Elaboración de Arboit, M.

El valor promedio NDVI para la totalidad de los espacios verdes públicos del AMM es de 0.374 (considerando 28.808 resultados de 1.144 espacios verdes públicos). En el departamento de Godoy Cruz, se observa el valor promedio NDVI más alto (0.44), seguido por los espacios verdes de Capital (0.38), Luján de Cuyo (0.34), Guaymallén (0.33) y Maipú (0.32); los espacios verdes del departamento de Las Heras poseen el valor promedio NDVI más bajo 0.31 para el período 2013-2017. Tras realizar el test LSD de Fisher, éste indica que los valores promedios NDVI de los espacios verdes públicos de Capital y Godoy Cruz son significativamente distintos a los espacios verdes públicos del resto de los departamentos (Figuras 18 y 20). Posteriormente, al

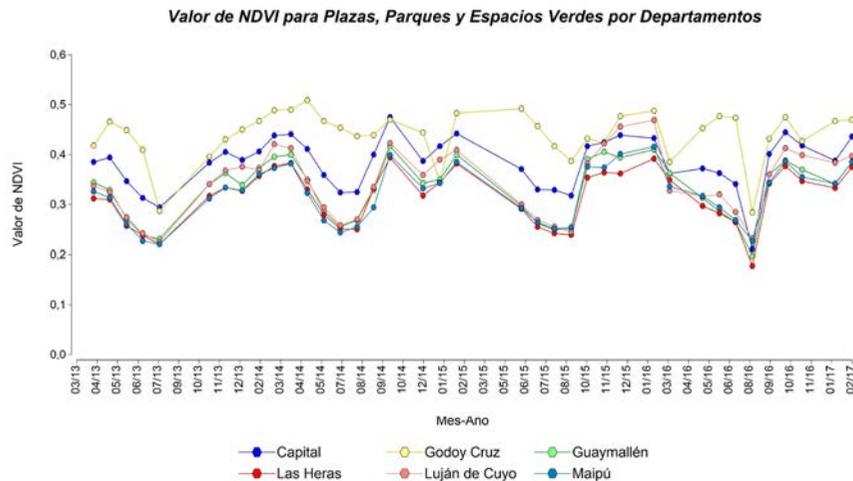


Figura 20. Distribución multitemporal, para el periodo 2013-2017, de los valores NDVI en los espacios verdes públicos, por departamento del AMM. Fuente: Elaboración de Maglione, D.

correlacionar ⁷ el NDVI de los espacios verdes públicos del AMM, todos los índices muestran una correlación positiva muy alta entre departamentos, con excepción de los espacios verdes públicos de Godoy Cruz que poseen una correlación positiva moderada con los restantes espacios verdes públicos departamentales, lo cual evidencia que el comportamiento de índice es similar en todos los departamentos a lo largo del periodo, salvo en el de Godoy Cruz donde, si bien el valor es mayor que en los demás departamentos en cuanto al índice NDVI de espacios verdes públicos, se han producido algunos descensos/ascensos que no siguen el patrón de las demás jurisdicciones.

Manzanas urbanas del AMM. El índice NDVI se ha calculado y cartografiado para cada manzana urbana del AMM por departamento administrativo. El valor NDVI considera la superficie de la manzana urbana desde eje de calle a eje de calle (Figura 9 y 10). Luego, se ha relacionado dicho valor al límite interior de la manzana, de forma que la cartografía permita visualizar las zonas más comprometidas desde el punto de vista del vigor vegetativo. Del total de manzanas analizadas 10.390, se han considerado 10.332 para el estudio y 38 escenas que representan los distintos meses de los años de estudio, para cada una de las manzanas (392616 resultados para el periodo 2013-2017). Seguidamente, el análisis de los resultados indica un valor promedio NDVI para la totalidad de las manzanas urbanas de 0.241. En las Figuras 21 y 22 se presenta la cartografía de dos escenas elegidas como representativas en este sentido (estival e invernal).

Considerando las manzanas urbanas por departamento, Luján de Cuyo posee el valor medio más alto (0.29), seguido por Capital (0.25), Maipú (0.24) y Las Heras (0.24). Los departamentos que presentan valores medios más bajos son Guaymallén (0.22) y Godoy Cruz (0.21). El NDVI se ve explicado por la cobertura forestal (arbolado público y privado), por la cobertura vegetal a nivel de suelo (superficies parqueadas) y en los demás estratos vegetales. El test LSD de Fisher indica que el valor medio NDVI de las manzanas urbanas de Luján de Cuyo es significativamente distinto al del resto de las manzanas del AMM (Figura 23).

De la comparación del NDVI entre las manzanas urbanas de los diferentes departamentos, se desprende que los índices NDVI tienen una correlación positiva muy alta, lo que evidencia un patrón muy similar en la evolución de dicho índice.

IV. CONCLUSIONES

El presente trabajo formuló un análisis de la actividad fotosintética vegetal en base a los índices NDVI y SAVI en el AMM. El análisis estadístico de los resultados reveló que, en el período de estudio 1986-2011, se produjo una pendiente significativa descendente de los valores medios de NDVI y SAVI en el AMM y que, en los seis departamentos analizados, existe una correlación positiva de muy alta a moderada. Las correlaciones de Capital con Guaymallén, Luján de Cuyo y Maipú fueron menores. A futuro se espera estudiar la evolución

⁷ La presencia de correlación indica el grado de parecido o variación conjunta entre dos variables. Mientras mayor sea la correlación, mayor es el parecido entre ellas. Los índices de correlación considerados varían entre 1 y -1: valores cercanos a 1 indican una relación directa o positiva entre las variables (cuando una crece la otra también) y valores cercanos a -1, una relación inversa o negativa (cuando una crece la otra decrece). Se han categorizado los valores de la correlación ρ , como: perfecta si $|\rho|=1$, muy alta si $0.9 \leq |\rho| < 1$, alta si $0.7 \leq |\rho| < 0.9$ y moderada si $0.4 \leq |\rho| < 0.7$.

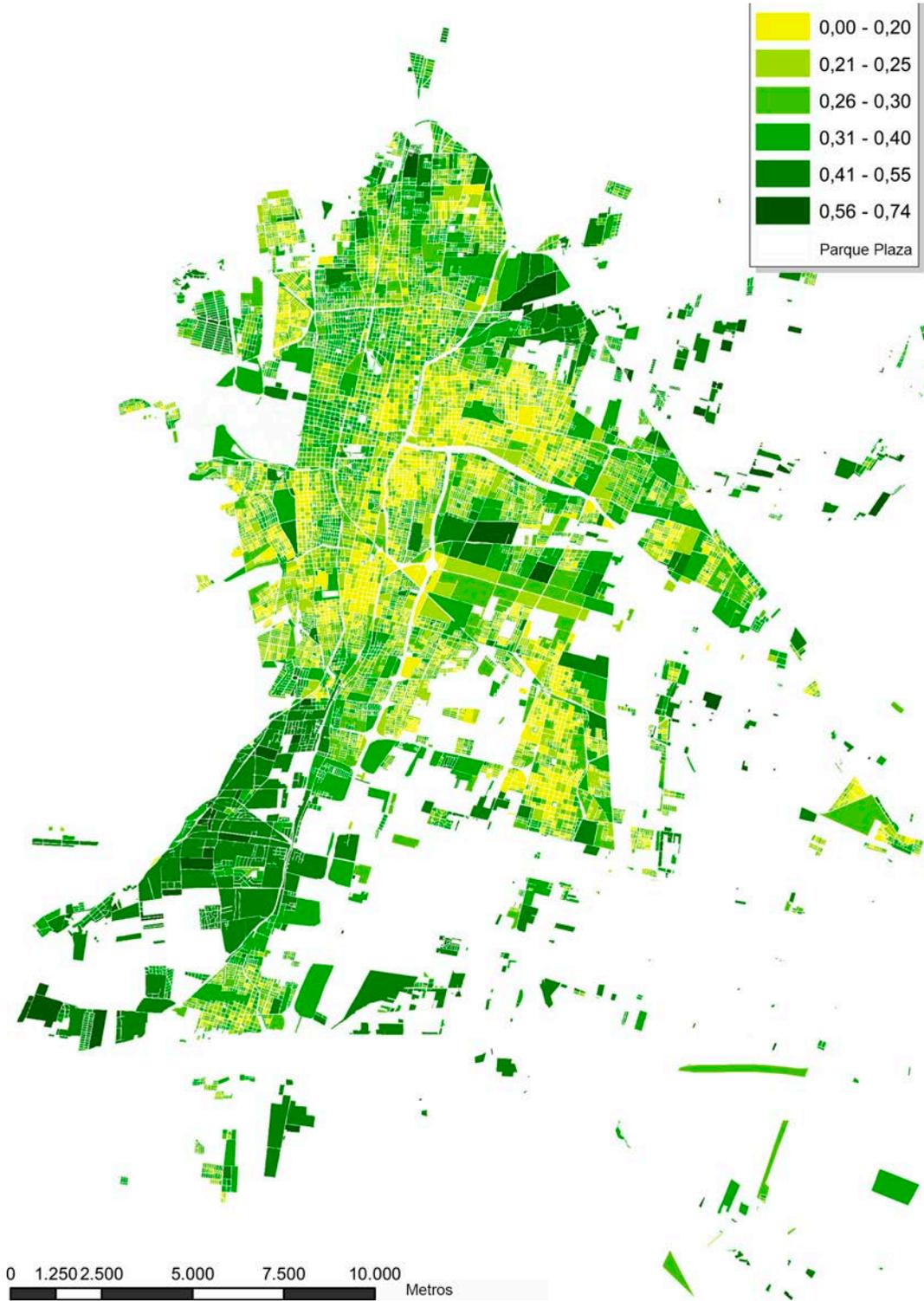


Figura 21. Valores NDVI en las manzanas urbanas del AMM para la estación de verano (febrero de 2015). Fuente: Elaboración de Arboit, M., con colaboración de Fontanive M.; Cucchiatti, C y Morales, J.

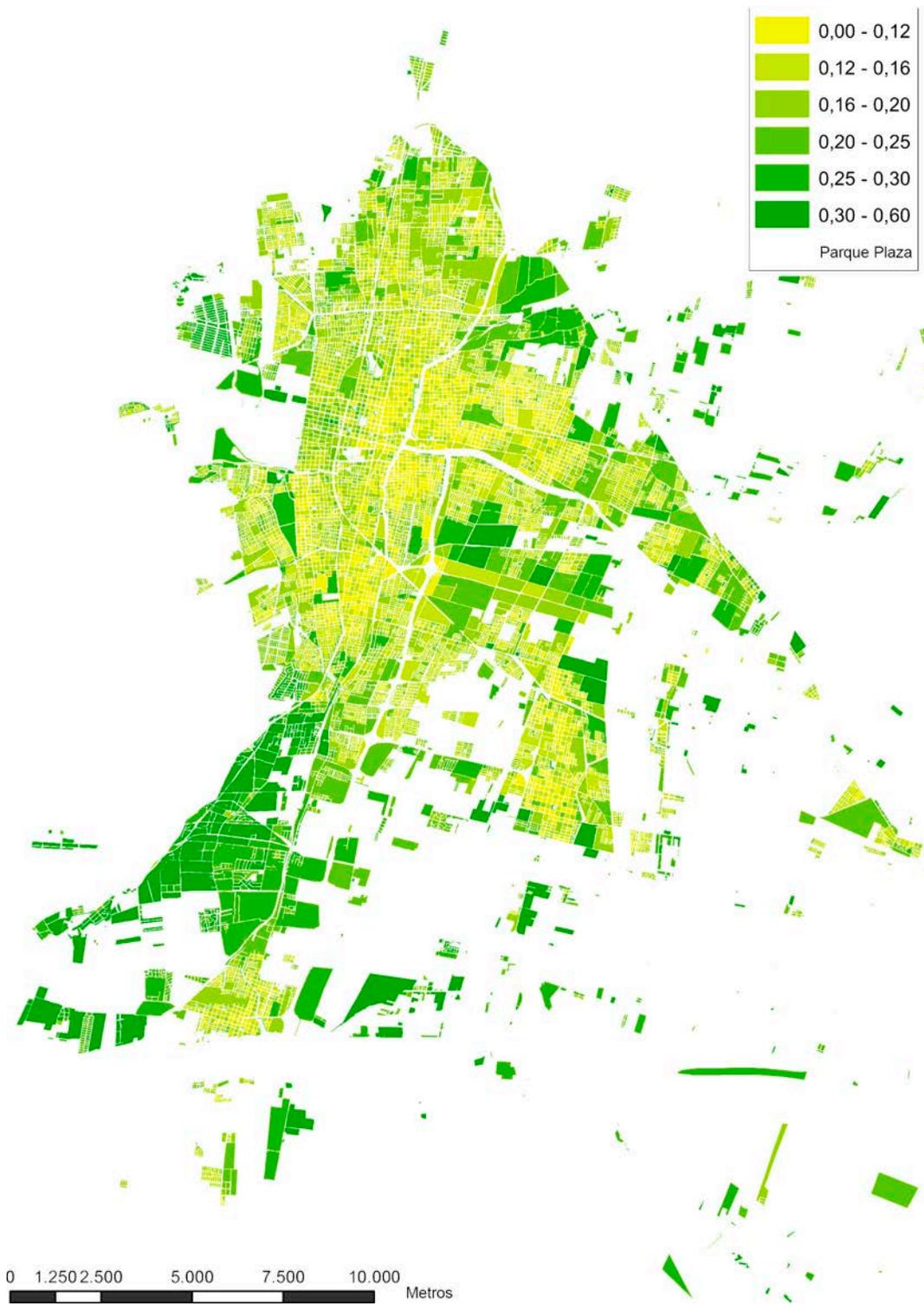


Figura 22. Valores NDVI en las manzanas urbanas del AMM para la estación de invierno, julio de 2014. Fuente: Elaboración de Arboit, M., con colaboración de Fontanive M.; Cucchiatti, C y Morales, J.

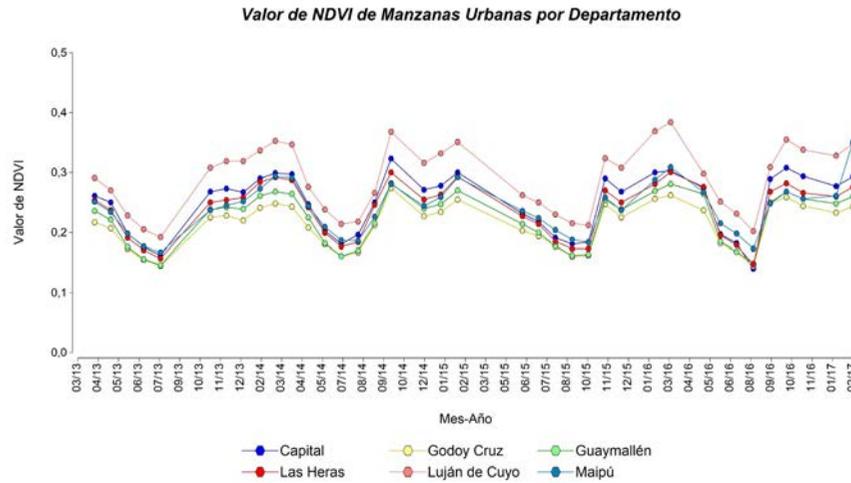


Figura 23. Distribución multitemporal, para el periodo 2013-2017, de los valores NDVI en las manzanas urbanas, por departamento del AMM. Fuente: Elaboración de Maglione, D.

de los valores NDVI y SAVI en relación a la evolución de factores antrópicos y de expansión urbano-edilicia, con el fin de detectar posibles asociaciones o similitudes.

Se concluye que en el AMM la prioridad de intervención en la toma de decisiones para resolver la tendencia de la pendiente significativa descendente en la actividad fotosintética vegetal, debería centrarse en Maipú y Guaymallén, seguido de Luján de Cuyo y Las Heras. Capital es el departamento que mejor ha conservado el modelo de ciudad forestada, con una pendiente descendente menor en los índices de vegetación urbana. En este caso, los esfuerzos de silvicultores urbanos, gestores públicos y privados por el mantenimiento del arbolado, acequias, sistema de riego y espacios verdes se refleja en los resultados alcanzados.

Considerando los cambios recientes y la situación actual, Godoy Cruz constituye el departamento prioritario a considerar en las estrategias de planificación y mejora en los índices de vegetación, ya que presenta los valores medios más bajos para ambos índices y para la totalidad de los años estudiados. La estrategia debe priorizar un aumento de NDVI y SAVI en las manzanas urbanas, tomando en cuenta la correlación positiva muy alta (0.960) entre el NDVI del departamento de Godoy Cruz y el NDVI de las manzanas urbanas del mismo departamento. Incrementos progresivos en la cobertura vegetal deberían efectivamente implementarse.

Los espacios verdes públicos son determinantes en los valores medios NDVI de los departamentos, por lo que a medida que el NDVI de los espacios verdes públicos aumenta también aumenta el NDVI del departamento, en el siguiente orden de correlación: Luján de Cuyo (0.984), Guaymallén (0.972), Las Heras (0.967), Capital (0.961), Maipú (0.936) y Godoy Cruz, este último con una correlación positiva moderada (0.517).

La prioridad de intervención para la estrategia de aumento de los índices de vegetación en los espacios verdes públicos departamentos es: Las Heras, Maipú, Guaymallén y Luján de Cuyo. Debe sumarse, además, la estrategia de aumento de la cantidad de superficie de espacios verdes públicos en los departamentos de Las Heras y Luján de Cuyo. En definitiva, es el departamento de Las Heras, según el estudio de ambas estrategias, la jurisdicción del AMM que más requiere la intervención de los espacios verdes públicos.

Las manzanas urbanas son determinantes del índice de vegetación del departamento en el siguiente orden: Las Heras (0.881), Luján de Cuyo (0.875), Capital y Godoy Cruz (0.884), Guaymallén (0.882) y Maipú (0.798). La prioridad de intervención con la estrategia de aumento de arbolado y superficies vegetadas, en el ámbito público y privado (fuera y dentro de la línea de edificación municipal) corresponde al departamento de Godoy Cruz (mencionado anteriormente), seguido por los departamentos de: Guaymallén, Maipú, Las Heras y Capital. En las manzanas urbanas existe, asimismo, una correlación entre la cobertura vegetal del suelo en prados y jardines -especialmente aquella altamente irrigada- y los valores NDVI, que determinan una mayor o menor actividad vegetativa.

Para el departamento de Capital, y de acuerdo a las correlaciones resultantes de la investigación, la estrategia debería priorizar en una primera etapa un aumento en los valores de los índices de vegetación de los espacios verdes públicos, seguida por la estrategia de aumento de cobertura vegetal pública y privada de las manzanas urbanas.

Los municipios enfrentan grandes retos en la legislación de indicadores verdes para los códigos de edificación urbana. Dicha legislación, a partir de lo aquí expuesto, debería contemplar condiciones especiales para las unidades cultivadas en zonas

urbanas y periurbanas vulnerables, la expansión urbana sobre las tierras agrícolas hacia el este (Maipú, Guaymallén, Luján) y hacia el norte (Las Heras) y la expansión de la mancha urbana sobre el piedemonte hacia el oeste; considerando, además, la disponibilidad del recurso hídrico. Otro desafío es concretar un modelo consensado y sostenible mediante la incorporación de especies de bajo consumo hídrico y, de igual forma, resolver la modernización de la infraestructura de riego del arbolado público con diseños de sistemas más eficientes, acordes al modelo de oasis y factibles de ser implementados en ciudades en vías de desarrollo. Modificaciones incrementales y progresivas de áreas verdes superficiales y cubiertas arbóreas en el ámbito público y privado podrían efectivamente concretarse para mejorar los niveles de sostenibilidad ambiental y energética del parque edilicio urbano en la región.

En lo referente a la metodología utilizada en esta investigación, es importante señalar que esta permitió determinar los índices NDVI y SAVI para un periodo de 25 años (1986-2011) y para la situación actual (2013-2017), a partir de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 y, consecuentemente, definir la distribución temporal y espacial de los índices de vegetación en el AMM, Argentina. Así

también, fue posible elaborar una base de datos y documentos cartográficos de consulta. Las conclusiones, por su parte, lograron establecer prioridades de intervención y estrategias en cuanto a los espacios públicos, cobertura vegetal del suelo y arbolado de manzanas urbanas, como se detallara anteriormente. A nivel de la resolución espacial, cabe destacar la identificación de diversas coberturas llevada a cabo.

Finalmente, se aspira a profundizar en el estudio de las distintas variables urbano-edilicias, con el propósito de complementar investigaciones vinculadas al diseño de la morfología en tierras secas. En el mismo sentido, se espera que la metodología permita a futuro el monitoreo continuo de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en el AMM, como también que pueda implementarse en otras ciudades forestadas con climas secos.

En suma, el estudio ha permitido disponer de mayor información sobre los índices de vegetación, ahondar en la comprensión de las transformaciones, la dinámica del territorio y la infraestructura verde urbana, en aras de aportar conocimiento base para mejorar la gestión del patrimonio “cultural-ambiental” mendocino.

		NDVI Situación actual 2013-2017 (Valores medios)																					
		AMM							DEPARTAMENTOS							ESPACIOS VERDES PÚBLICOS				MANZANAS URBANAS			
Año	Mes	AMM	Capital	Godoy Cruz	Guaymallén	Las Heras	Luján de Cuyo	Maipú	Capital	Godoy Cruz	Guaymallén	Las Heras	Luján de Cuyo	Maipú	Capital	Godoy Cruz	Guaymallén	Las Heras	Luján de Cuyo	Maipú			
2013-04	0.28	0.28	0.22	0.28	0.26	0.32	0.29	0.39	0.42	0.34	0.31	0.34	0.33	0.26	0.22	0.24	0.25	0.29	0.25				
2013-05	0.26	0.28	0.21	0.26	0.24	0.30	0.28	0.39	0.47	0.33	0.31	0.33	0.31	0.25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.23				
2013-06	0.23	0.24	0.19	0.22	0.21	0.26	0.24	0.35	0.45	0.27	0.26	0.27	0.26	0.20	0.17	0.18	0.19	0.23	0.20				
2013-07	0.20	0.22	0.17	0.20	0.19	0.23	0.22	0.31	0.41	0.24	0.24	0.24	0.23	0.18	0.16	0.16	0.17	0.21	0.18				
2013-08	0.19	0.20	0.16	0.19	0.17	0.22	0.21	0.29	0.29	0.23	0.22	0.23	0.22	0.16	0.15	0.15	0.16	0.19	0.17				
2013-11	0.27	0.27	0.22	0.27	0.24	0.32	0.26	0.38	0.40	0.34	0.32	0.34	0.31	0.27	0.23	0.24	0.25	0.31	0.24				
2013-12	0.28	0.28	0.23	0.28	0.25	0.34	0.27	0.41	0.43	0.36	0.33	0.37	0.33	0.27	0.23	0.24	0.25	0.32	0.25				
2014-01	0.28	0.29	0.22	0.29	0.27	0.36	0.28	0.39	0.45	0.34	0.33	0.38	0.33	0.27	0.22	0.24	0.26	0.32	0.25				
2014-02	0.30	0.31	0.24	0.31	0.29	0.36	0.30	0.41	0.47	0.37	0.36	0.37	0.36	0.29	0.24	0.26	0.28	0.34	0.27				
2014-03	0.34	0.35	0.27	0.34	0.33	0.40	0.35	0.44	0.49	0.40	0.38	0.42	0.37	0.30	0.25	0.27	0.29	0.35	0.29				
2014-04	0.34	0.35	0.27	0.34	0.33	0.41	0.35	0.44	0.49	0.40	0.38	0.41	0.38	0.30	0.24	0.26	0.29	0.35	0.29				
2014-05	0.29	0.31	0.23	0.29	0.28	0.32	0.30	0.41	0.51	0.35	0.33	0.35	0.32	0.25	0.21	0.23	0.24	0.28	0.24				
2014-06	0.24	0.27	0.20	0.24	0.23	0.27	0.26	0.36	0.47	0.29	0.28	0.29	0.27	0.20	0.18	0.18	0.20	0.24	0.21				
2014-07	0.22	0.24	0.18	0.21	0.21	0.24	0.23	0.32	0.45	0.26	0.25	0.26	0.24	0.18	0.16	0.16	0.18	0.21	0.19				
2014-08	0.22	0.24	0.18	0.22	0.20	0.25	0.23	0.33	0.44	0.27	0.25	0.27	0.26	0.20	0.17	0.17	0.18	0.22	0.19				
2014-09	0.27	0.30	0.23	0.27	0.26	0.29	0.26	0.40	0.44	0.33	0.33	0.34	0.29	0.25	0.21	0.22	0.25	0.27	0.23				
2014-10	0.32	0.35	0.28	0.33	0.30	0.38	0.31	0.48	0.47	0.42	0.39	0.42	0.40	0.32	0.27	0.28	0.30	0.37	0.28				
2014-12	0.28	0.28	0.23	0.28	0.26	0.34	0.27	0.39	0.44	0.34	0.32	0.36	0.33	0.27	0.23	0.24	0.26	0.32	0.24				
2015-01	0.29	0.31	0.24	0.29	0.28	0.37	0.28	0.42	0.35	0.35	0.34	0.39	0.34	0.28	0.23	0.25	0.26	0.33	0.26				
2015-02	0.33	0.34	0.27	0.33	0.33	0.39	0.33	0.44	0.48	0.40	0.38	0.41	0.39	0.30	0.26	0.27	0.29	0.35	0.29				
2015-06	0.25	0.27	0.21	0.25	0.24	0.28	0.26	0.37	0.49	0.30	0.29	0.30	0.29	0.23	0.20	0.21	0.23	0.26	0.24				
2015-07	0.23	0.24	0.20	0.22	0.21	0.26	0.24	0.33	0.46	0.26	0.26	0.27	0.26	0.22	0.19	0.20	0.21	0.25	0.22				
2015-08	0.22	0.23	0.18	0.21	0.20	0.24	0.23	0.33	0.42	0.25	0.24	0.26	0.25	0.19	0.18	0.18	0.19	0.23	0.20				
2015-09	0.21	0.23	0.18	0.21	0.19	0.23	0.22	0.32	0.39	0.25	0.24	0.25	0.25	0.18	0.16	0.16	0.17	0.22	0.19				
2015-10	0.30	0.31	0.25	0.30	0.28	0.34	0.30	0.42	0.43	0.39	0.35	0.38	0.38	0.18	0.16	0.16	0.17	0.21	0.18				
2015-11	0.26	0.30	0.25	0.30	0.28	0.37	0.28	0.43	0.42	0.41	0.36	0.42	0.37	0.29	0.25	0.26	0.27	0.32	0.26				
2015-12	0.33	0.34	0.27	0.33	0.31	0.42	0.34	0.44	0.48	0.39	0.36	0.46	0.40	0.27	0.23	0.24	0.25	0.31	0.24				
2016-02	0.36	0.35	0.28	0.35	0.35	0.44	0.37	0.43	0.49	0.41	0.39	0.47	0.42	0.30	0.26	0.27	0.28	0.37	0.29				
2016-03	0.30	0.30	0.25	0.31	0.30	0.33	0.30	0.36	0.39	0.36	0.35	0.33	0.34	0.30	0.26	0.28	0.30	0.38	0.31				
2016-05	0.26	0.28	0.22	0.26	0.25	0.29	0.27	0.37	0.45	0.31	0.30	0.32	0.32	0.27	0.24	0.26	0.28	0.30	0.27				
2016-06	0.25	0.26	0.21	0.24	0.23	0.29	0.26	0.36	0.48	0.29	0.28	0.32	0.29	0.20	0.18	0.19	0.20	0.25	0.22				
2016-07	0.23	0.24	0.19	0.23	0.21	0.27	0.24	0.34	0.47	0.26	0.27	0.29	0.27	0.18	0.17	0.17	0.18	0.23	0.20				
2016-08	0.19	0.17	0.16	0.19	0.16	0.23	0.21	0.21	0.28	0.20	0.18	0.23	0.23	0.14	0.14	0.15	0.15	0.20	0.17				
2016-09	0.29	0.31	0.26	0.29	0.27	0.33	0.28	0.40	0.43	0.36	0.34	0.36	0.34	0.29	0.25	0.25	0.27	0.31	0.25				
2016-10	0.31	0.33	0.26	0.31	0.29	0.37	0.30	0.45	0.48	0.39	0.38	0.41	0.39	0.31	0.26	0.27	0.28	0.36	0.27				
2016-11	0.30	0.31	0.25	0.29	0.28	0.35	0.29	0.42	0.43	0.37	0.35	0.40	0.36	0.29	0.24	0.26	0.27	0.34	0.26				
2017-01	0.29	0.30	0.24	0.29	0.28	0.36	0.29	0.39	0.47	0.34	0.33	0.38	0.34	0.28	0.23	0.25	0.26	0.33	0.26				
2017-02	0.31	0.33	0.26	0.31	0.30	0.38	0.31	0.44	0.47	0.39	0.38	0.40	0.39	0.29	0.24	0.26	0.28	0.35	0.27				

Anexo A. Fuente: Elaboración de Arboit, M.

V. AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta investigación contó con el financiamiento de los proyectos PPI-FAUD-Universidad de Mendoza; PIP-11220130100407 (CONICET); UE CONICET 2017-2022/22920170100036 y los aportes de M. Masiokas (IANIGLA-CONICET), G. Mutani (Politecnico di Torino) y G. Molina (INCIHUSA-CONICET).

Algunas imágenes han sido procesadas y elaboradas con la colaboración de M. Fontanive (Politecnico di Torino), C. Cucchiatti y J. Morales (Universidad de Mendoza), como parte de prácticas profesionales supervisadas realizadas en INCIHUSA-CONICET. En aspectos cartográficos se contó con la asistencia técnica de R. Cohn (INCIHUSA-CONICET).

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, Elena. *Oasis* [en línea]. [Consultado 6 agosto 2017]. Disponible en: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/terminos/Oasis.htm>

BASTIN, Jean-François; BERRAHMOUNI, Nora; GRAINGER, Alan; MANIATIS, Danae; MOLLICONE, Danilo; MOORE, Rebecca; PATRIARCA, Chiara; PICARD, Nicolas; SPARROW, Ben; ABRAHAM, Elena; ALOUI, Kamel; ATESOGLU, Ayhan; ATTORE, Fabio; BASSÜLLÜ, Çağlar; BEY, Adia; GARZUGLIA, Monica; GARCÍA-MONTERO, Luis G.; GROOT, Nikée; GUERIN, Greg; LAESTADIUS, Lars; LOWE, Andrew J.; MAMANE, Bakó; MARCHI, Giulio; PATTERSON, Paul; REZENDE, Marcelo; RICCI, Stefano; SALCEDO, Ignacio; SANCHEZ-PAUS DIAZ, Alfonso; STOLLE, Fred; SURAPPAEVA, Venera y CASTRO, Rene. The extent of forest in dryland biomes. *Science*, 2017, vol. 356, nº 6338, pp. 635–638.

CHUVIECO, Emilio. *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel, 2002.

COMISIÓN NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES (CONAE). *Índices espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat 8 Sensor OLI. Guía de Usuario* [en línea]. [Consultado 7 septiembre 2016]. Disponible en: <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/Docs/IndicesEspectralesDerivadosDeLandsat8.pdf>.

DAVIS, Amelie; JUNG, Jinha; PIJANOWSKI, Bryan y MINOR, Emily. Combined vegetation volume and "greenness" affect urban air temperature. *Applied Geography*, 2016, vol. 71, pp. 106-114.

DIRECCIÓN GENERAL DE CATASTRO [en línea]. [Consultado 1 junio 2010]. Disponible en: <https://www.atm.mendoza.gov.ar/portalmatm/zoneTop/catastro/catastro.jsp>

EARTH OBSERVATION GROUP (EOG). NOAA NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER [en línea]. [Consultado 15 enero 2017]. Disponible en: https://ngdc.noaa.gov/eog/night_sat/nightst.html

FAN, Chao; MYINT, Soe W.; KAPLAN, Shai; MIDDEL, Ariane; ZHENG, Baojuan; RAHMAN, Atiqur; HUANG, Huei-Ping; BRAZEL, Anthony y BLUMBERG, Dan G. Understanding the impact of urbanization on surface urban heat islands—A longitudinal analysis of the oasis effect in subtropical desert cities. *Remote Sensing*, 2017, vol. 9, nº 7, p. 672.

GANDHI, Meera; PARTHIBAN, S. y THUMMALU, C. *Ndvi: Vegetation change detection using remote sensing and gis – A case study of Vellore District*. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 57, pp. 1199–1210.

GÄRTNER, Philipp. *European capital greenness evaluation* [en línea]. [Consultado 22 agosto 2017]. Disponible en: <https://philippgaertner.github.io/2017/10/european-capital-greenness-evaluation/>

GOOGLE MAPS [en línea]. [Consultado 12 noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/>

HUETE, Alfredo y LIU, Hongqing. An error and sensitivity analysis of the atmospheric- and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1994, vol. 32, pp. 897-905.

HUETE, Alfredo; JACKSON, Ray y POST, Donald. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, 1985, vol. 17, pp. 37-53.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL DE LA REPÚBLICA ARGENTINA (IGM) [en línea]. [Consultado 23 enero 2017]. Disponible en: <http://www.ign.gob.ar/>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra: IPCC, 2008.

KASPERSEN, Per Skougaard; FENSHOLT, Rasmus y DREWS, Martin. Using Landsat vegetation indices to estimate impervious surface fractions for European Cities. *Remote Sensing*, 2015, vol. 7, pp. 8224-8249.

KYBA, Christopher; KUESTER, Theres; SÁNCHEZ DE MIGUEL, Alejandro; BAUGH, Kimberly; JECHOW, Andreas; HÖLKER, Franz; BENNIE, Jonathan, ELVIDGE, Christopher; GASTON, Kevin y GUANTER, Luis. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 2017, vol. 3, nº 11, p. e1701528.

LANDSAT SCIENSE [en línea]. [Consultado 14 noviembre 2016]. Disponible en: <https://landsat.gsfc.nasa.gov>.

LIGHTPOLLUTIONMAP [en línea]. [Consultado 14 noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.lightpollutionmap.info/>

MCPHERSON, E. Gregory; XIAOB, Qingfu; VAN DOORNC, Natalie S.; DE GOEDED, John; BJORKMAND, Jacquelyn; HOLLANDERD, Allan; BOYNTOND, Ryan; QUINND, James y THORNE, James. The structure, function and value of urban forests in California communities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2017, vol. 28, pp. 43–53.

MILES, Lera; NEWTON, Adrian; DEFRIES, Ruth; RAVILIOUS, Corinna; MAY, Ian; BLYTH, Simon; KAPOS, Valerie y GORDON, James. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 2006, vol. 33, pp. 491-505.

MONTEITH, John. *Principles of Environmental Physics*. Londres: Edward Arnold, 1973.

MORÁN, M. Susan; JACKSON, Ray; SLATER, Philip y TEILLET, Philippe. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment*, 1992, vol. 41, pp. 169-184.

MUNICIPALIDAD DE CAPITAL [en línea]. [Consultado 4 noviembre 2010]. Disponible en: <http://www.ciudaddemendoza.gov.ar>

PEARLMUTTER, David; BITAN, Arie y BERLINER, Pedro. Microclimatic analysis of "compact" urban canyons in arid zone. *Atmospheric Environment*, 1999, vol. 33, pp. 4143-4150.

RAMSEY R. Douglas; FALCONER, Allan y JENSEN, John Robert. The relationship between NOAAVHRR NDVI and ecoregions in Utah. *Remote Sensing of Environment*, 1995, vol. 53, pp.188-198.

ROUSE, John; HAAS, R.; DEERING, D., SCHELL, J. y HARLAN, J. *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation, Final Report*. Texas: A & M University, 1974.

RUIZ DURÁN, M. Eva; OROZCO HERNÁNDEZ, M. Estela; GRANADOS RAMÍREZ, Rebeca y ÁLVAREZ ARTEAGA, Gustavo. Cambio de uso de suelo e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Subcuenca del río Salado, México. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 2017, vol. 9, pp.39-50.

SALINAS-ZAVALA, César; MARTÍNEZ-RINCÓN, Raúl y MORALES-ZÁRATE, M. Verónica. Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California. *Investigaciones Geográficas*, 2017, vol. 94.

SANTAMOURIS, Mattheos; HADDAD, Shamila; SALIARI, Maria; VASILAKOPOULOU, Konstantina; SYNNEFA, Afroditi; PAOLINI, Riccardo; ULPIANI, Giulia; GARSHHASBI, Samira y FIORITO, Francesco. On the energy impact of urban heat island in Sydney. Climate and energy potential of mitigation technologies. *Energy and Buildings*, 2018, vol. 166, pp. 154-164.

SANTANA-RODRÍGUEZ, Luis; ESCOBAR-JARAMILLO, Luis y CAPOTE, Paolo. Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2010, vol. 45, pp. 77-95.

SHAHABI, Himan; AHMAD, Baharin; MOKHTARI, Mohammad y ZADEH, Mohsen. 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*, 2012, vol. 7, pp. 2587-2595.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), EARTHEXPLORER [en línea]. [Consultado 20 septiembre 2016]. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

VIRGINIA, Ross y WALL, Diana. Ecosystem function, Principles of. *Encyclopedia of Biodiversity*, 2001, vol. 2, pp. 345-352.

ZHANG, Hankui y ROY, David. Landsat 5 Thematic Mapper reflectance and NDVI 27-year time series inconsistencies due to satellite orbit change. *Remote Sensing of Environment*, 2016, vol. 186, pp. 217-233.