

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) Y DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO (SAVI) EN CENTROS URBANOS FORESTADOS Y OASIS IRRIGADOS, CON CLIMAS SECOS.

Mariela Edith Arboit¹, Dora Silvia Maglione²

INCIHUSA, CONICET¹ - Universidad Nacional de la Patagonia Austral²

Resumen

El objetivo del trabajo es estudiar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) Argentina, centros urbanos intermedios y en los oasis irrigados (Norte- Centro), de importancia para planes de manejo y gestión territorial.

Metodológicamente se determinaron los valores de los índices de vegetación a partir de imágenes satelitales Landsat 5 para el período 1986-2011 en la estación de verano y se realizó un análisis estadístico de correlación y de estimación de tendencias.

Los resultados indican una pendiente general descendente de los valores medios de NDVI y SAVI en todos los sitios analizados y una correlación entre dichos índices. El AMM muestra pendientes descendentes mayores al oasis Norte (al Oeste del río Mendoza) en ambos índices. Se determinaron correlaciones preliminares interanuales moderadas entre NDVI y los datos climáticos analizados y correlaciones fuertes negativas entre NDVI y población.

Palabras clave: variación de la vegetación; teledetección; imágenes Landsat; cobertura de suelo urbano.

Abstract

The objective of this work is to study normalized difference vegetation index (NDVI) and soil-adjusted vegetation index (SAVI) in the Metropolitan Area of Mendoza (AMM) Argentina, intermediate urban centers and in irrigated oases (North-Central), of importance for management and territorial management plans. Methodologically, vegetation values indices were determined from Landsat 5 satellite imagery for the period 1986-2011 in summer season; statistical analysis of correlation and trend estimation was carried out. The results indicate a general downward slope of the mean values of NDVI and SAVI at all sites analysed and a correlation between these indices. The AMM shows descending slopes greater than the corresponding oasis in both indices. Preliminary moderate interannual correlations between NDVI and the analyzed climate data were determined, as well as strong negative correlations between NDVI and population.

Keywords: vegetation variation; remote sensing; Landsat images; urban land cover.

Recibido: 14/11/2017 Aceptado: 14/02/2018

INTRODUCCION

Dentro de la compleja problemática del desarrollo sustentable, el aumento de la población mundial, el crecimiento sostenido de la tasa de urbanización en países de economías emergentes, el agotamiento de los recursos naturales no-renovables, el cambio climático global y el incremento de la pobreza, son problemas aún sin resolver (Dressder, 2002).

La urbanización es uno de los principales factores antropogénicos que ha causado la reducción de la superficie verde y la sustitución de los hábitats preexistentes en las ciudades (Berkowitz et al. 2003), (Czech y Krausman 1997, 2000).

En la actualidad, más de la mitad de la población humana mundial se concentra en zonas urbanas (Grimm et al. 2000,2008, 2013) y la región de América Latina es la

más urbanizada del mundo, con el 80% de su población en las ciudades y un alto porcentaje de habitantes en barrios urbanos marginales.

Son previsibles grandes desafíos sociales y ambientales que comprometen seriamente, a corto plazo, la sostenibilidad de los sistemas urbanos y la calidad de vida. La situación demanda una urgente toma de conciencia por parte de diversos actores involucrados en la construcción del territorio y la toma de decisiones que permitan planificar, desarrollar e implementar acciones que mejoren los niveles de sostenibilidad social, económica y ambiental (Jenks, M.; 1996. Breheny, M.; 1996. Hillman, M; 1996. Onu-Hábitat).

Aspectos relacionados con el uso de la energía en el sector, adquieren particular relevancia. La presencia de la forestación urbana, la distribución y escala de los espacios verdes en la ciudad, los albedos del entorno, la morfología de los edificios urbanos, la tecnología con la que están construidos, sus características espaciales, constituyen variables significativas en el consumo de energía, en el mejoramiento potencial de las condiciones térmico-ambientales y en los ahorros de energía posibles de obtener, mediante la implementación de estrategias de conservación y un adecuado acceso a los recursos energéticos que ofrece el clima (Goulding, 1999; Basso, 2003; Fernández, 2003).

En Mendoza se han desarrollado varios estudios específicos a partir de conjuntos representativos de la morfología urbano-edilicia determinando el potencial solar de entornos de baja, media y alta densidad (de Rosa, 1988; Córlica, L. 2004; Mesa, 2000; Basso, 2003; Arboit 2008). El estudio de la incorporación del arbolado en los modelos de simulación y la valoración de su impacto en el potencial solar (Arboit 2005-2013). Los resultados alcanzados hasta el momento demuestran que el arbolado urbano, una característica distintiva del AMM, tiene una incidencia de

primer orden en el potencial solar de los edificios urbanos (Modelo Gráfico y Modelo Estadístico; Arboit 2008, 2010). Se han realizados además estudios sobre la magnitud, transmisividad a la radiación solar directa y plenitud de la arboleda urbana (Cantón, 1994-2000; Carretero, 2017; Arboit, 2013); captación de la radiación solar de fachadas norte (Arboit M. Betman, E, 2014); impacto de la evapotranspiración, coberturas verdes superficiales y cubiertas arbóreas en ambientes urbanos forestados (Arboit M. Betman, E, 2016 y 2017), estudios de índices de vegetación para el AMM y otras ciudades con latitudes similares y climas diversos (Arboit; Cuchietti, 2017). Sin embargo no se ha podido desarrollar, el estudio multitemporal y multiespacial de los índices de vegetación NDVI y SAVI. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección constituyen herramientas fundamentales para evaluar estos índices (Linlin Lu, 2015; Guerschman, 2002; Seyler, 2002; Paruelo, 2004; C. Zhang, 2007; Ceroni, 2013). La comparación de la cobertura vegetal del AMM, centros urbanos intermedios y los oasis irrigados donde se asientan dichas ciudades, permitirá elaborar líneas de tendencia, completar resultados y extraer conclusiones sobre los cambios recientes en la vegetación en diversas escalas.

Aspectos regionales. En el contexto de la región árida del centro–oeste Argentino, Mendoza presenta evidentes signos de deterioro ambiental debido a su crecimiento. Para evitar el deterioro de la ciudad forestada, se deben identificar y evaluar las estrategias de manejo de ambientes urbanos sostenibles en sí mismo y en sus vínculos con la región. Siendo Mendoza una zona de alta vulnerabilidad a cambios tales como la desertificación, el calentamiento global, la contaminación del aire y del agua, es primordial proyectar su influencia para prever cómo será la incidencia de

estos sobre la zona (Mesa, 2010; Abraham, 2015; Bargna, 1996; Martínez, 2009-2013-2014).

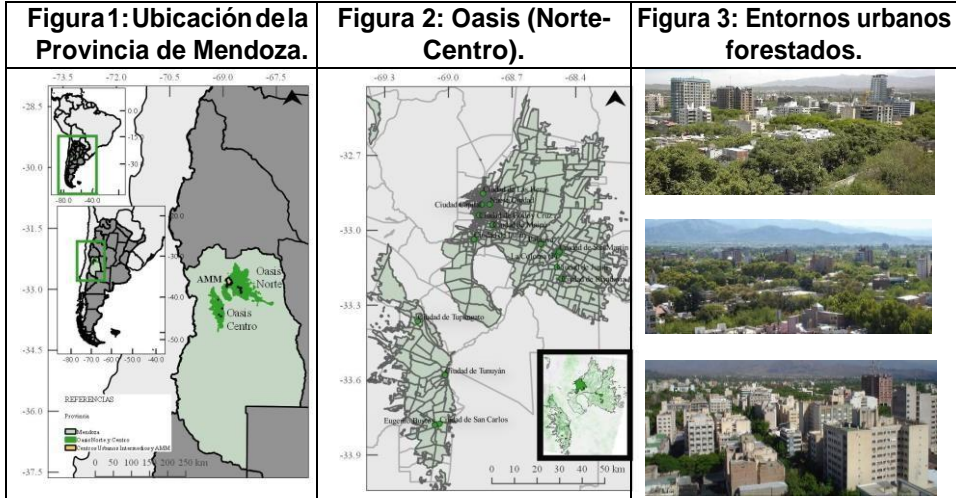
Entre las causas más significativas de este deterioro se mencionan: la morfología urbano edilicia y de la tecnología implementada para la habitabilidad higrotérmica; el creciente deterioro de la infraestructura y de la arboleda urbana, la progresiva precarización del hábitat de los sectores carenciados, la importante emisión de gases de invernadero y particulados desde fuentes fijas y móviles; la presión del microclima urbano y el mal uso del escaso recurso hídrico regional, la expansión de la mancha urbana sobre el piedemonte hacia el oeste y sobre las tierras agrícolas de mayor fertilidad del oasis hacia el este.

Para la preservación de las bondades ambientales de las que hoy goza Mendoza y que resultan altamente eficientes en la mitigación de los rigores del clima desértico, serán necesarias estrategias de densificación del tejido urbano conservando los beneficios ambientales y fomentando una mayor disponibilidad de espacio vital para el desarrollo de la arboleda en el espacio público.

Teniendo en cuenta que la construcción del territorio mendocino se lleva a cabo en un ecosistema sumamente frágil y vulnerable, que la implantación de nuevos modelos urbanos sobre otros preexistentes es un proceso de larga duración. El estudio aporta información sobre la dinámica espacial y temporal de los índices de vegetación de importancia para planes de manejo y gestión territorial.

Localización y situación. La provincia de Mendoza se extiende en el centro-oeste argentino, al pie de la Cordillera de los Andes, situada entre los -32° y $-37^{\circ}35'$ de latitud y los $-66^{\circ}30'$ y $-70^{\circ}35'$ de longitud (IGM), con una superficie de 150.839 km^2 (Dirección Provincial de Catastro) y una población de 1.741.610 habitantes

(INDEC, 2010). Se localiza en una zona templada con clima árido a semiárido y un promedio de precipitaciones entre 200 y 250mm anuales (Figuras 1, 2 y 3).



En Mendoza se identifican 5 (cinco) grandes Unidades de Integración Territorial (UIT): oasis, planicies, montañas, unidades varias y piedemontes (Plan de ordenamiento territorial, Mendoza). Los oasis, son zonas con aprovechamiento hídrico a través una red de riego. La superficie de los oasis de la provincia constituye alrededor del 4,5% de la superficie total. El 98,5% de la población y gran parte las actividades productivas se concentran en dichos oasis irrigados (Sistema de información ambiental y territorial). Políticamente la provincia se divide en 18 departamentos, cada uno de los cuales se subdivide en distritos. Administrativamente se agrupan en zonas: Norte o AMM (Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Maipú y Luján); Este (Junín, Rivadavia y San Martín); Centro

(San Carlos, Tunuyán y Tupungato); Noreste (Lavalle, Santa Rosa y La Paz); Sur (General Alvear, San Rafael y Malargüe).

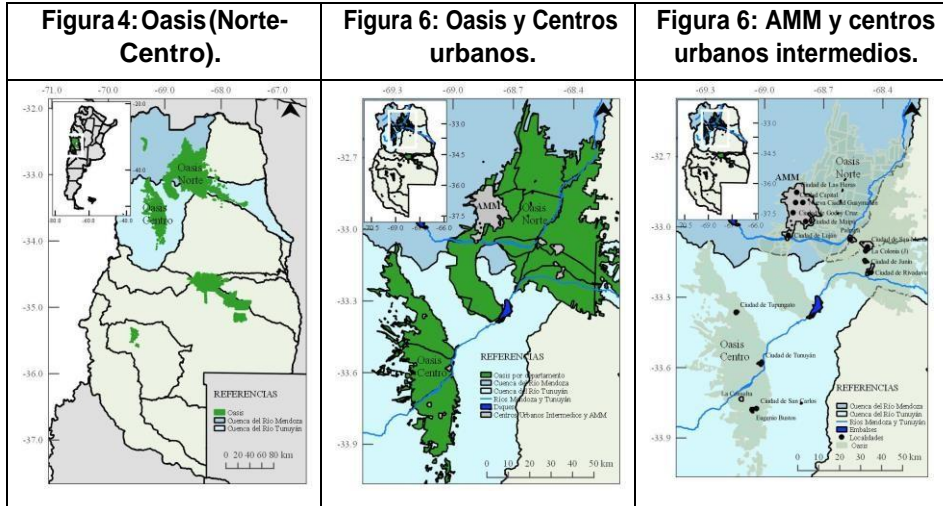
METODOLOGIA

Metodológicamente se prepararon los antecedentes cartográficos en entorno GIS, a partir la información disponible sobre radios censales (INDEC 2010) y archivos catastrales (Dirección Provincial de Catastro 2010).

Determinación de superficies de estudio. Las superficies de los oasis (Norte- Centro) se adquirieron a partir de las cartografías de las Unidades de Integración Territorial (UIT) para la Provincia de Mendoza (Agencia Provincial de Ordenamiento Territorial).

La subcategorización de oasis determinada para el trabajo fue: 1. oasis Norte al Oeste del río Mendoza donde se encuentra el AMM. 2. oasis Norte al Este del río Mendoza (oasis del Este que depende directamente de la regulación y el aprovechamiento del río Tunuyán aguas arriba). 3. oasis Centro u oasis de Valle de Uco (Figuras 4, 5 y 6).

La superficie de análisis del AMM (252km²) se determinó a partir de imágenes de contaminación lumínica nocturna (Earth Observation Group, 2016), se consideró como límite una radiancia mayor a 20 (10⁻⁹W/cm².sr) y se generó un archivo en formato GIS (Figuras 7 y 8).



Dentro de los oasis (Norte- Centro) se identificó el AMM y los centros urbanos intermedios (localidades urbanas) en estudio (Figura 6).

El AMM es el conglomerado más importante, ubicado en el oasis Norte está conformada por la ciudad de Mendoza Capital y los cinco departamentos limítrofes.

Figura 7: Imagen contaminación lumínica, superposición con polígono considerando como límite una radiancia mayor a 20 (10-9W/cm2-sr).
Ref: <http://www.lightpollutionmap.info>.

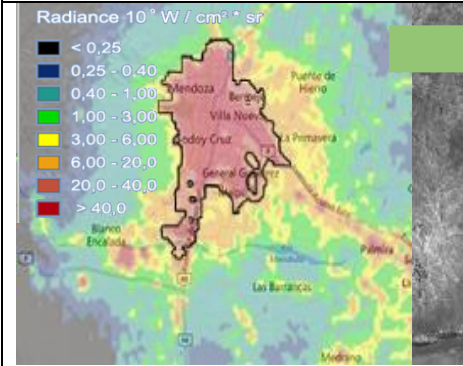
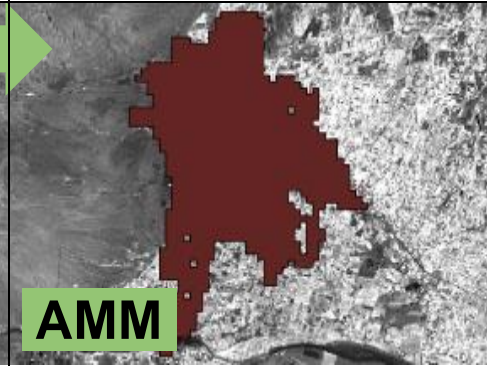


Figura 8: imagen satelital, superposición con el archivo en formato GIS generado a partir de la imagen de contaminación nocturna. Ref: NASA Oficial.
<https://landsat.gsfc.nasa.gov>.



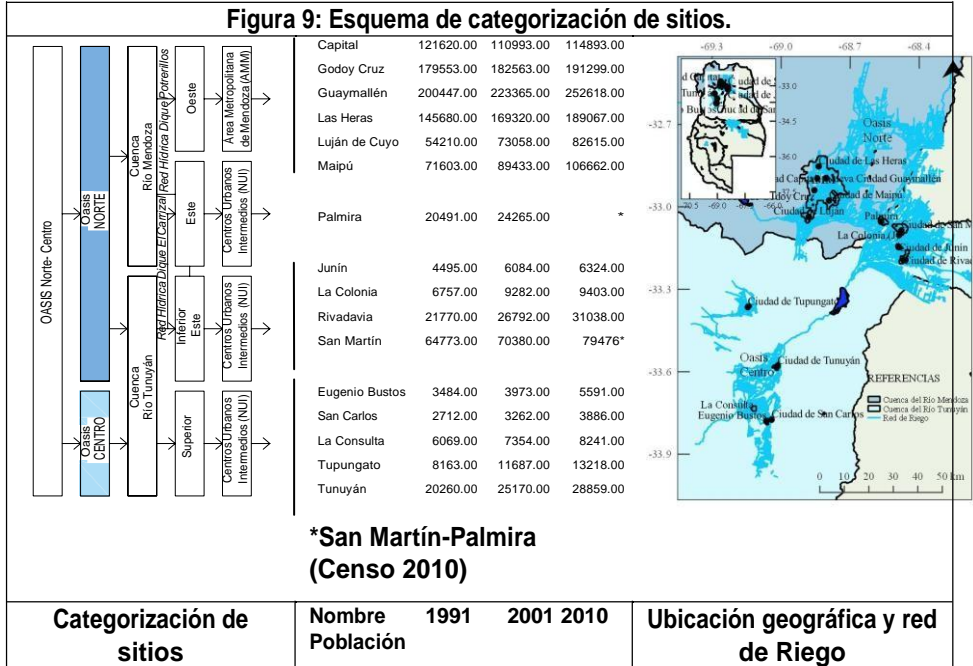
Datos climáticos: i. horas anuales: en confort 21,5%, calefacción necesaria 70,00%, enfriamiento necesario 8,5%, ii. grados-día anuales: calefacción (Base 18°C) 1384, enfriamiento (Base 23°C) 163, III. Radiación solar global media anual: 18,06 MJ/m² día, predominio de cielos claros. Heliofanía Relativa 63%. Índice de Claridad 0,59 Media anual de precipitaciones 200mm. Humedad Relativa 56%. Velocidad del viento entre 7 y 23 Km/h con dirección sur y sureste. La población del principal núcleo urbano el AMM es de 937.154 habitantes.

Se utilizó la misma metodología a partir de imágenes de contaminación lumínica para la determinación de los centros urbanos intermedios. Las ciudades de entre 145.000 y 20.000 habitantes son: San Martín-Palmira con 79.476, Rivadavia con 31.038, y Tunuyán con 28.859 habitantes (INDEC, 2010). Se identificaron además otros centros urbanos Junín, La Colonia, Eugenio Bustos, San Carlos y Tupungato.

Palmira fue absorbida como parte de la ciudad de San Martín en el censo 2010, aunque no es un conjunto completamente unido por lo que se estudian ambas

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE. E Arboit, S. Mangione

localidades por separado. El caso contrario es San Carlos-Eugenio Bustos y San Martín-La Colonia que forma una sola mancha urbana a pesar de encontrarse en distintos departamentos administrativos (Figura 9).



Imágenes Satelitales y Clasificación Multiespectral. Se realizó el estudio a partir de imágenes satelitales provenientes de Landsat 5 TM Thematic Mapper (NASA Landsat Enhanced Thematic), que fue desarrollado para el estudio y monitoreo de los recursos terrestres, a partir de sensores remotos, con disponibilidad de imágenes desde 1984 a 2011. Las características técnicas son: altitud 705 km; inclinación 98,2°; órbita polar, sincrónica al sol; cruce por el ecuador 9:45 AM (± 15 min.); período de

revolución 99 minutos ~14,5 órbitas/día; repetición de cobertura cada 16 días lo que da su resolución temporal.

El número de canales espectrales que es capaz de captar el sensor da como resultado la resolución espectral; las imágenes Landsat 5 están compuestas por 7 bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros x 30 metros para las bandas 1 a 5 y 7. El tamaño aproximado de la escena de la imagen es de 170 km al norte-sur por 183 km al este-oeste. Con una resolución radiométrica de 8bits (256 niveles de grises, entre 0 y 255) (Tabla 1).

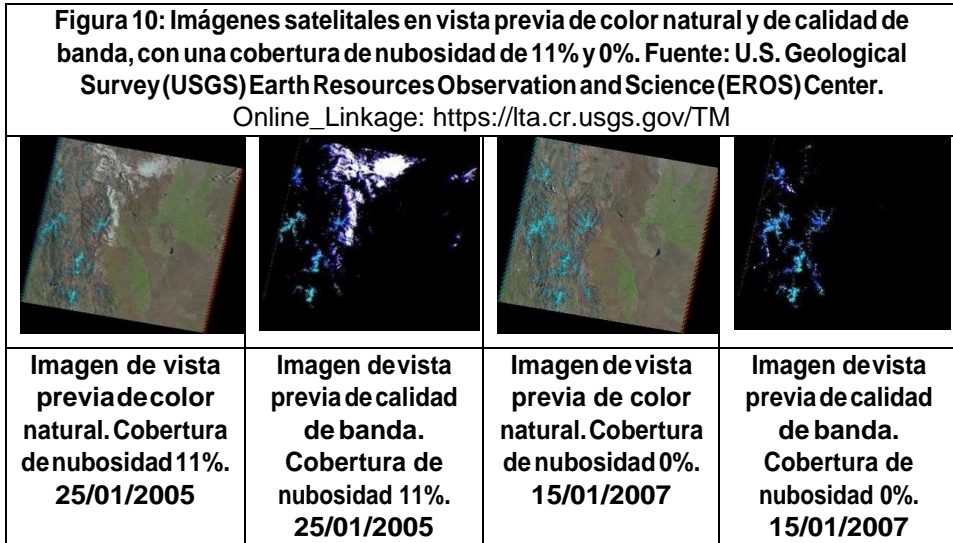
Tabla 1: Resolución espectral y espacial. Landsat 5 TM.

| Landsat 5 | Bandas | Resolución espectral Longitud de onda (μm) | Resolución espacial (m) |
|-----------|--|---|------------------------------------|
| | Banda 1 – Azul | 0,45-0,52 | 30 |
| | Banda 2 – Verde | 0,52-0,60 | 30 |
| | Banda 3 – Rojo | 0,63-0,69 | 30 |
| | Banda 4 - Infrarrojo cercano (NIR) | 0,76-0,90 | 30 |
| | Banda 5 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 1 | 1,55-1,75 | 30 |
| | Banda 6 - Infrarrojo térmico | 10,40-12,50 | 120* (30) |
| | Banda 7 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 2 | 2,08-2,35 | 30 |

* La banda 6 fue adquirida a una resolución de 120 metros, pero las imágenes son transformadas a 30 metros de resolución.

Se seleccionaron y descargaron de imágenes satelitales para la estación de verano en función de ofrecer una mejor visualización espacial de los tipos de coberturas, con un porcentaje medio estimado de cobertura de nubes menor al 12% en toda la escena

de Landsat. Sobre las imágenes previas, dicho porcentaje de nubosidad se situaba principalmente fuera del área de estudio (Figura 10).



Posteriormente se realizó la georreferenciación para el área de análisis 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 (Moran et al. 1992, Chávez, 1996 y Masek et al., 2006). No se consideraron los impactos de los cambios en la órbita de Landsat 5 (Zhang, 2016).

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. El índice NDVI ha demostrado su utilidad para el estudio de características de la vegetación (Chuvieco, 2002) y como índice cuantitativo del funcionamiento de los ecosistemas (Rodríguez-Moreno, 2013). Resulta del cociente normalizado entre bandas espectrales que al mostrar un claro contraste entre las bandas visibles (0,6 a 0,7 μm) y el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 μm) permiten identificar la vegetación de otras superficies (Chuvieco, 2000).

El NDVI varían entre -1 y +1, valores altos revelan alta actividad fotosintética de la cubierta vegetal (fenología foliar) y una estrecha relación con la evapotranspiración (Tucker & Sellers, 1986), valores bajos indican situaciones de escasa o nula cubierta vegetal y baja actividad fotosintética. Se obtuvieron a partir de las bandas 4 y 3 siguiendo la siguiente ecuación:

$$NDVI = (NIR - R) \div (NIR + R) \quad (1)$$

Dónde:
NIR = Infrarrojo Cercano (Banda 4)
R = Rojo (Banda 3)

Índice de Vegetación Ajustado al Suelo. Entre los factores que modifican el comportamiento del NDVI está la proporción de vegetación/suelo observada por el sensor. Cuando se trabaja en zonas áridas, es clave incluir el factor suelo, que minimiza las influencias del brillo del suelo (variación de color del suelo, humedad del suelo y efectos de saturación de la vegetación de alta densidad). Por lo que Huete desarrolló el índice de vegetación con un parámetro “L”, que ajusta el índice a una reflectividad promedio del fondo (Huete, 1985, 1988, 1990). Este índice se calculó como la diferencia normalizada entre la banda roja (R) y la banda del infrarrojo

cercano (NIR) ajustado con un factor “L” con un valor de 0,5, que es la componente de brillo del suelo y permite el ajuste a todo tipo de cobertura (CONAE, 2016).

La siguiente ecuación responde al índice:

$$SAVI = \left[\frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} \right] \cdot (1 + L) \quad (2)$$

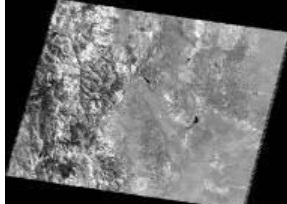
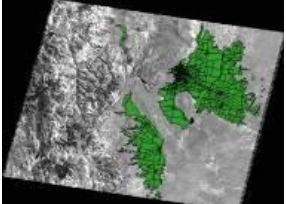
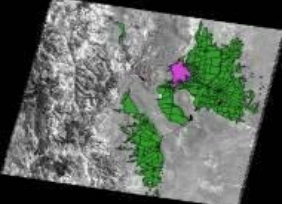
Dónde:

L: es un factor de ajuste

**NIR = Infrarrojo Cercano
(Banda 4)**

R = Rojo (Banda 3)

Cálculo de Índices. Una vez definidas las áreas de estudio y los índices verdes, se combinaron las bandas espectrales. Se tomaron los radios censales como unidad de análisis por criterios de gestión. Se calcularon los valores medios de los índices para cada polígono correspondiente a las secciones catastrales del AMM, de los centros urbanos intermedios, y de los oasis (Norte-Centro), (Figuras 11, 12 y 13).

| | | |
|---|---|---|
| <p>Figura 11: Imagen satelital. 27/02/2011. Path (232)Row(83)para la zona de análisis.</p> | <p>Figura 12: Imagen satelital en superposición con oasis (Norte- Centro) y secciones catastrales.</p> | <p>Figura 13: Imagen satelital en superposición oasis (Norte-Centro), AMM y secciones catastrales.</p> |
|  |  |  |

RESULTADOS

Los valores promedios de los índices de NDVI y SAVI en el periodo 1986 y 2011 se presentan en la Tabla 13, en el anexo A¹.

Oasis (Norte- Centro) y AMM. Se observa un rango de valores para NDVI en los oasis (Norte- Centro) entre un mínimo de 0,243 en 2003 y un máximo de 0,498 en 1992; en el AMM el valor NDVI mínimo 0,218 fue calculado para 2003. En la Tabla 2, se ofrece un resumen de estos índices.

El análisis de los resultados indica una diferencia significativa en los valores medios de los índices de NDVI entre los sectores considerados, siendo éstos el AMM, el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza), el oasis Norte (al Este del río Mendoza) y del oasis Centro (p -valor $<0,0001$), cuyos promedios son 0,286; 0,322; 0,383 y 0,384 respectivamente. Además el test LSD de Fisher indica que los valores medios de NDVI para el oasis Norte (al Este del río Mendoza) y el oasis Centro presentan resultados similares, pero diferentes al AMM y el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza), los cuales también difieren entre sí. En el caso del índice SAVI, los valores medios resultan ser 0,180; 0,198; 0,229 y 0,229 para el AMM, el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza), el oasis Norte (al Este del río Mendoza) y el oasis Centro respectivamente; en este caso los únicos que son estadísticamente iguales son los valores medios de los dos últimos oasis.

También se evidencia una diferencia en los valores de NDVI medios según los años (p -valor $<0,0001$), el test LSD de Fisher revela que en el 2003 se da el menor valor de ese índice y los mayores ocurren en 1988, 1992 y 1993 siendo estos últimos iguales

¹ El análisis de los datos se ha realizado con el software Infostat (Di Rienzo et al.)

estadísticamente. En el caso del SAVI el menor valor se da en 2003, y los mayores en 1986, 1987, 1992 y 1993 siendo estos últimos estadísticamente iguales.

Tabla 2: Medidas de resumen para NDVI y SAVI

| NDVI | Media | D.E. | Mín. | Máx. | SAVI | Media | D.E. | Mín. | Máx. |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| AMM | 0,286 | 0,043 | 0,218 | 0,358 | AMM | 0,180 | 0,017 | 0,151 | 0,212 |
| Oasis Norte (Oeste río Mza) | 0,322 | 0,039 | 0,243 | 0,403 | Oasis Norte (Oeste río Mza) | 0,198 | 0,013 | 0,162 | 0,223 |
| Oasis Norte (Este río Mza) | 0,383 | 0,049 | 0,297 | 0,476 | Oasis Norte (Este río Mza) | 0,229 | 0,018 | 0,190 | 0,256 |
| Oasis Centro (Valle del Uco) | 0,383 | 0,056 | 0,270 | 0,498 | Oasis Centro (Valle del Uco) | 0,229 | 0,023 | 0,176 | 0,268 |

El análisis temporal de los datos, señala una tendencia general descendente de valores medios de NDVI y SAVI en los oasis (Norte-Centro). Al realizar el ajuste por medio de una recta de regresión lineal, todas las pendientes resultan ser significativas para ambos índices en todos los sitios (Tabla 3). Los valores estimados para la pendiente de descenso del NDVI son -0,0046; -0,0044; -0,0042 y -0,0033 para AMM, oasis Centro, oasis Norte (al Este del río Mendoza) y el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza), como se observa en la Tabla 4, de los cuales los tres primeros resultan ser estadísticamente iguales con una confianza del 99%, siendo el único distinto el que corresponde al nivel de pérdida del NDVI el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza). El mismo comportamiento se da para el SAVI, donde los valores estimados para la pendiente son -0,0018; -0,0016; -0,0015 y -0,0010 para AMM, oasis Centro, oasis Norte (al Este del río Mendoza) y el oasis Norte (al Oeste del río

Mendoza) respectivamente (Tabla 3). En las Figuras 14 y 15 se presentan los valores de los índices y las rectas que ajustan dichas series de datos.

Tabla 3: p-valor para la hipótesis nula de que la pendiente de la recta es nula.

| p-valor | NDVI | SAVI |
|-------------------------------------|---------|---------|
| AMM | <0,0001 | <0,0001 |
| Oasis Norte (Oeste río Mza) | 0,0007 | 0,0016 |
| Oasis Norte (Este río Mza) | 0,0003 | 0,0011 |
| Oasis Centro (Valle del Uco) | 0,0016 | 0,0046 |

Tabla 4: Pendiente de descenso del NDVI en el periodo 1986-2011.

| | Pendiente de la recta de regresión |
|---|------------------------------------|
| NDVI SanCarlos-Eugenio Bustos | -0,0074 |
| NDVI Tunuyán | -0,0073 |
| NDVI Tupungato | -0,0068 |
| NDVI Junín | -0,0065 |
| NDVI La Consulta | -0,0061 |
| NDVI Rivadavia | -0,0061 |
| NDVI San Martín-La Colonia | -0,0057 |
| NDVI Palmira | -0,0048 |
| NDVI AMM | -0,0046 |
| NDVI Oasis Centro (Valle de Uco) | -0,0044 |
| NDVI Oasis Norte (al Este río Mza) | -0,0042 |
| NDVI Oasis Norte (al Oeste del río Mza) | -0,0033 |

*Valores en orden descendente

Figura 14: Distribución de los valores medios NDVI para el período 1986-2011, en oasis (Norte- Centro) y AMM.

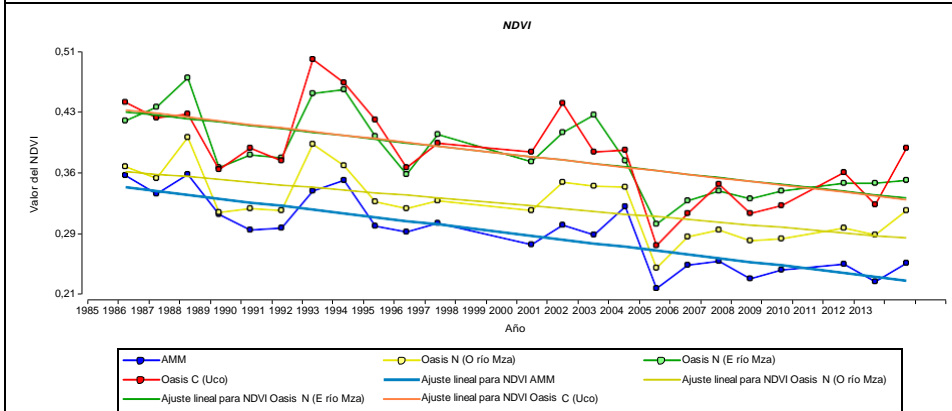
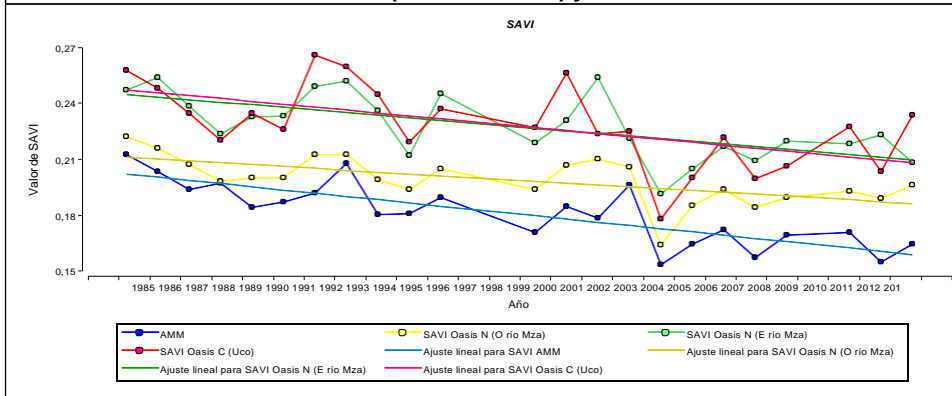


Figura 15: Distribución de los valores medios SAVI para el período 1986-2011, en oasis (Norte- Centro) y AMM.



Correlación preliminar entre NDVI oasis (Norte- Centro) AMM y variables

climáticas principales. Si analizamos algunos datos meteorológicos y calculamos la variación de un año a otro, se observa correlación moderada negativa entre temperatura media (T), temperatura máxima media (TM), temperatura mínima media (Tm) con NDVI en oasis (Norte- Centro) -0,54; -0,51; -0,48; 0,65; por lo que a medida que las temperaturas aumentan descende el NDVI; y moderada positiva para humedad relativa media del mes de estudio (H) y precipitación total de lluvia y/o nieve derretida de la estación primavera-verano (PP) , 0,68 y 0,56 respectivamente con NDVI en oasis (Norte- Centro) por lo que si aumenta la humedad y la precipitación aumenta también el índice NDVI.

En el caso de AMM, se observa el mismo comportamiento, hay correlación moderada negativa entre T, TM, Tm con NDVI en AMM (-0,57; -0,49; -0,54) y correlación moderada positiva entre H y PP (0,68; 0,53) con NDVI AMM y en este caso también entre ésta última y la presión a nivel del mar (SLP) 0,53 (Figuras 16, 17, 18 y 19).

Figura 16: Temperatura media, máxima y mínima (°C) del mes de estudio.

Ref: Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) estación

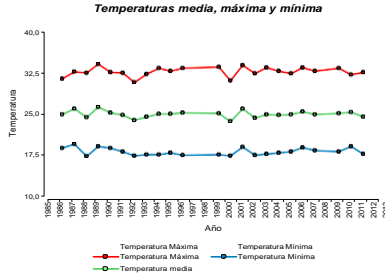


Figura 17: Humedad relativa media (%) del mes en estudio, para el período 1986-2011.

Ref: S.M.N. Estación meteorológica: 874180 (SAME).



Figura 18: Precipitación total de lluvia y/o nieve derretida (mm) de la estación primavera-verano.

Ref: S.M.N. Estación meteorológica: 874180 (SAME).

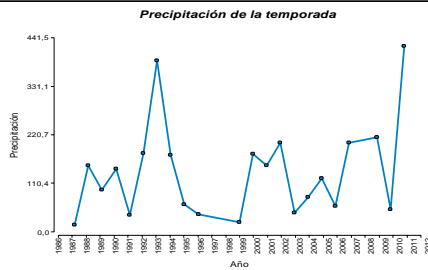
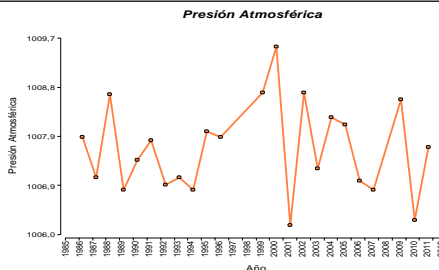


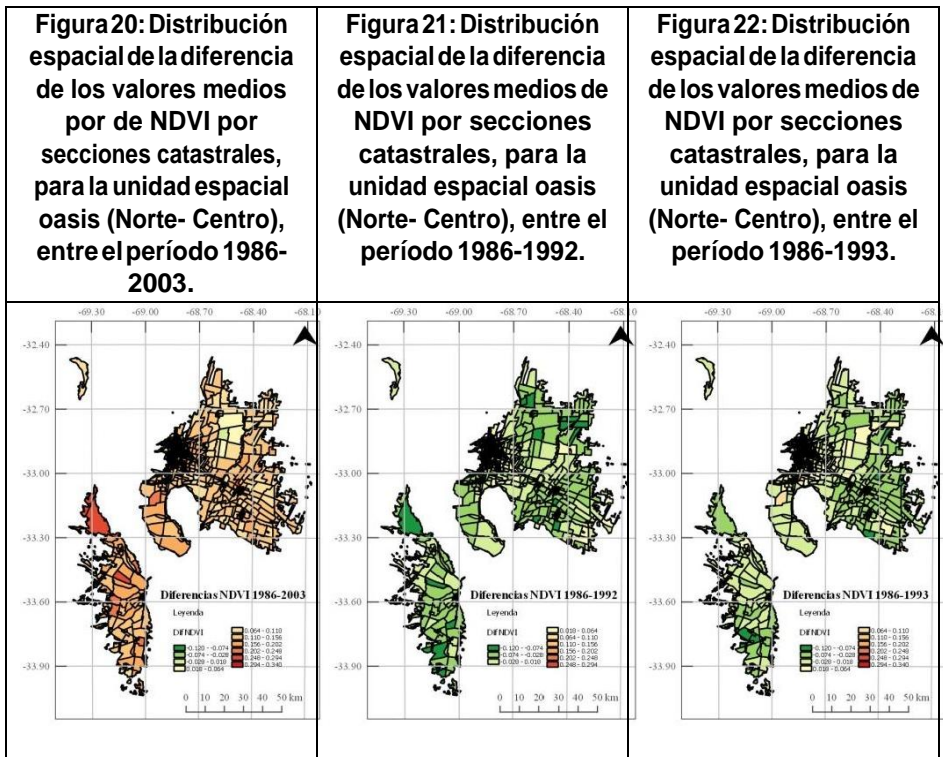
Figura 19: Presión atmosférica (hPa) para el período 1986-2011.

Ref: Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) estación meteorológica: 874180 (SAME).



En 2003, año en que se registraron los menores valores de NDVI y SAVI, las precipitaciones se registraron por debajo de los valores medios (102,87mm anuales) y la humedad relativa media del mes de estudio registró el menor valor de los últimos 30 años (30,40%). En 1993 se registró una precipitación media anual de

534,18 mm (la segunda más alta en la fecha considerada). En 1992 la humedad media máxima de los meses de estudio fue de 57,7%, siendo también una de las más altas registradas en el periodo considerado para el análisis y la temperatura de día registró valores muy por debajo de la media. Así como en el 2003 se registró el menor valor para los índices de NDVI y SAVI, durante los años 1992 y 1993 se observaron los mayores valores para dichos índices como ya se indicara, siendo los mismos similares estadísticamente. En las Figuras 20, 21 y 22 se pueden apreciar gráficamente las diferencias entre estos años y el año de inicio del estudio para el índice NDVI.



Correlación preliminar entre NDVI oasis (Norte- Centro) AMM y los datos de nieve y caudales de los ríos regionales. Si se analizan los diez años extremos más secos y los diez más caudalosos de los ríos en la zona de los Andes Centrales, se observa que para los años extremos más secos se ha mantenido el valor medio, sin embargo la variabilidad hídrica de los años extremos de mayor caudal posee una pendiente significativa negativa (p -valor=0,0265), por lo que el caudal hídrico disponible ha ido mermando (Tabla 5 y Figura 23).

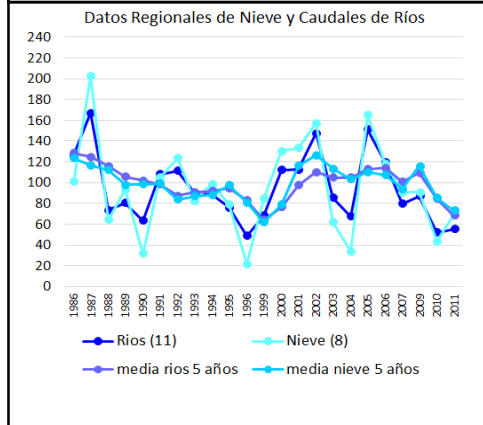
Tabla 5: Lista de años extremos (10 más secos y 10 más caudalosos) en los Andes Centrales, 1909-2014 (Masiokas, 2015).

*Datos Río-Estación de aforo: San Juan (KM 47.3), Mendoza (Guido), Tunuyán (Valle de Uco), Diamante (La Jaula), Atuel (La Angostura), Colorado (Buta Ranquil), Choapa (Cuncumén), Aconcagua (Chacabuquito), Maipo (El Manzano), Tinguiririca (Los Briones). Estaciones nivométricas: Quebrada Larga, Portillo, Laguna

| Ranking | Más secos | | Más caudalosos | |
|---------|-----------|-------|----------------|--------|
| | Año | % | Año | % |
| 1 | 1968 | 37,2% | 1914 | 255,8% |
| 2 | 2014 | 44,3% | 1919 | 241,0% |
| 3 | 1996 | 48,4% | 1941 | 200,4% |
| 4 | 1924 | 49,8% | 1982 | 185,8% |
| 5 | 1970 | 49,9% | 1926 | 183,6% |
| 6 | 2010 | 52,2% | 1987 | 166,8% |

Negra, Volcán Chillán, Toscas, Laguna del Diamante, Valle Hermoso.

Figura 23: Datos Regionales de Nieve y Caudales de ríos.



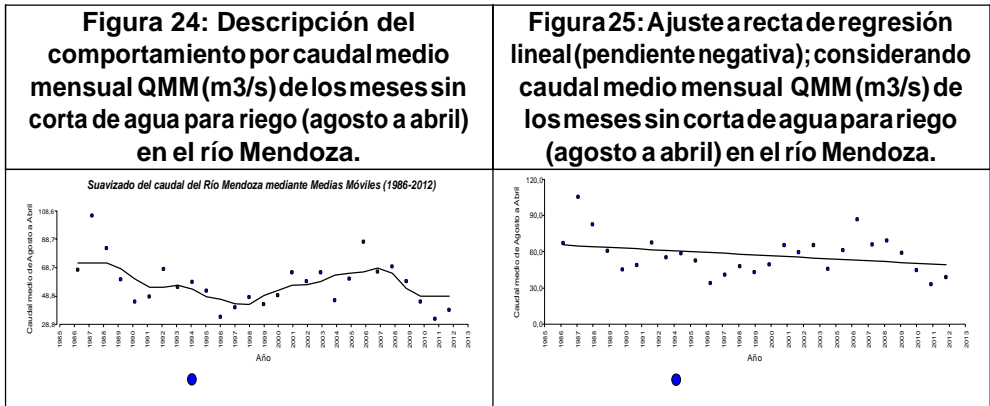
Si correlacionamos los valores NDVI con los datos de nieve y caudales de los ríos regionales para cada año en estudio, el valor de NDVI del AMM posee una correlación baja con los datos de caudales de ríos regionales (0,30), nieve regional

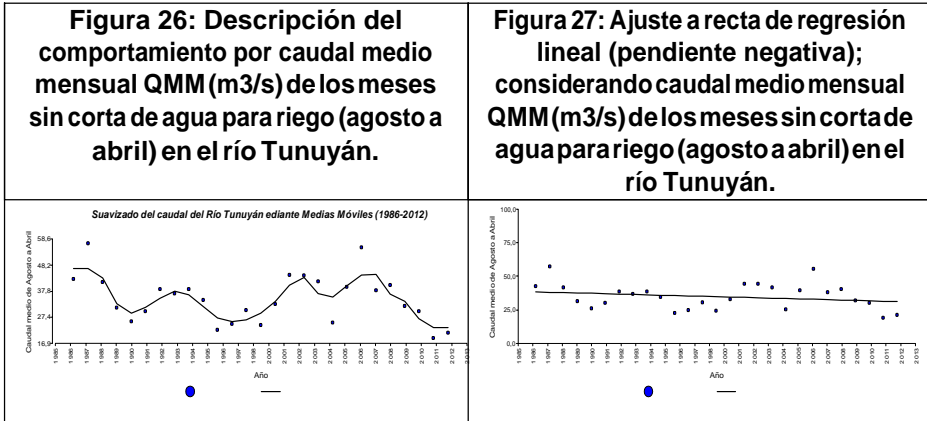
(0,26) y caudal medio del río Mendoza (0,28). Para un rezago de un año para el recurso hídrico, existe una correlación baja entre NDVI AMM con el caudal medio del río Mendoza (0,37).

Para el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza), hay una correlación baja entre el NDVI con ríos regionales (0,25) y nieve (0,26). Para un rezago de un año para el recurso hídrico, se observa una correlación baja entre NDVI con el caudal medio del río Mendoza (0,31). Para oasis Norte (al Este de río Mendoza), considerando un rezago de un año para el recurso hídrico, se aprecia una correlación baja entre NDVI con el caudal medio del río Tunuyán (0,25).

Para oasis Centro, hay una correlación baja entre el NDVI con nieve regional (0,27). Para un rezago de un año para el recurso hídrico, existe una correlación baja entre NDVI con el caudal medio del río Tunuyán (0,33).

Las Figuras 24 a 27 muestran la evolución de los ríos Mendoza y Tunuyán, mediante el suavizado de medias móviles y ajustadas a una recta de regresión lineal.



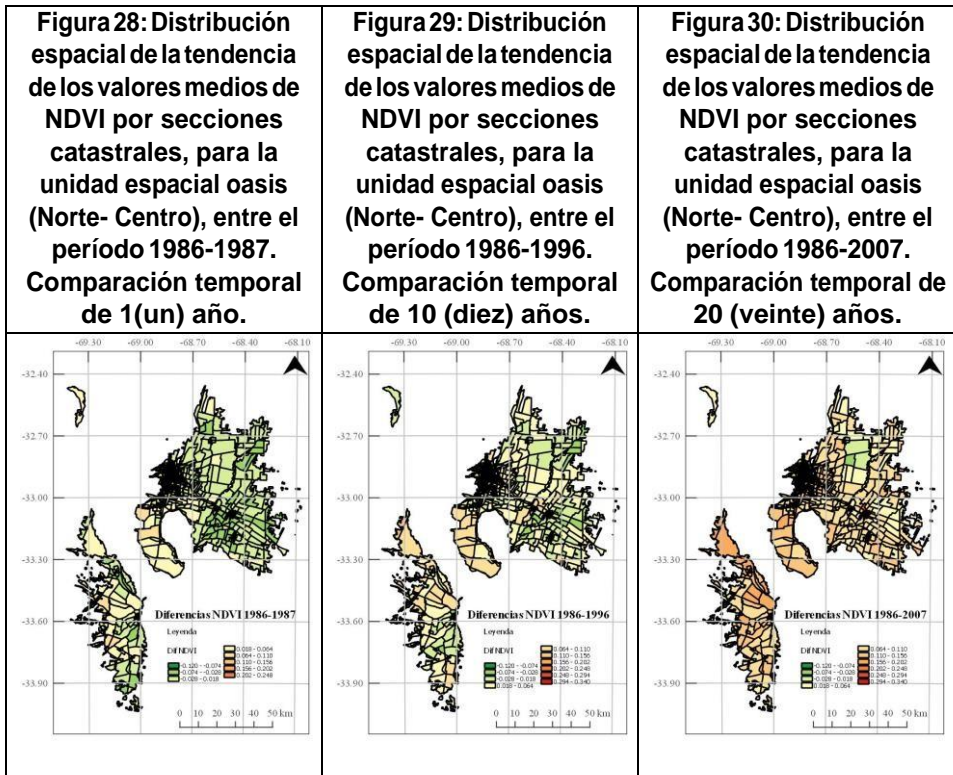


NDVI y SAVI. Existe una fuerte correlación entre los índices NDVI y SAVI entre sectores y dentro del mismo sitio. La correlación entre los índices NDVI y SAVI en el oasis Norte (al Este del río Mendoza) es $r=0,905$, en el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza) es $r=0,889$ y en el oasis Centro es de $r=0,974$. Para el AMM la correlación entre los dos índices es de $r=0,953$. En la Tabla 6 se pueden observar las correlaciones para los distintos sitios.

Tabla 6: Correlaciones NDVI-SAVI

| LOCALIZACIÓN | Correlación NDVI-SAVI |
|------------------------------------|-----------------------|
| Oasis Norte (Oeste río Mza) | 0,889 |
| Oasis Norte (Este río Mza) | 0,905 |
| Oasis Centro (Valle de Uco) | 0,974 |
| AMM | 0,953 |
| Palmira | 0,827 |
| Junín | 0,801 |
| San Martín-La Colonia | 0,860 |
| Rivadavia | 0,832 |
| San Carlos-Eugenio Bustos | 0,892 |
| La Consulta | 0,935 |
| Tunuyán | 0,873 |
| Tupungato | 0,957 |

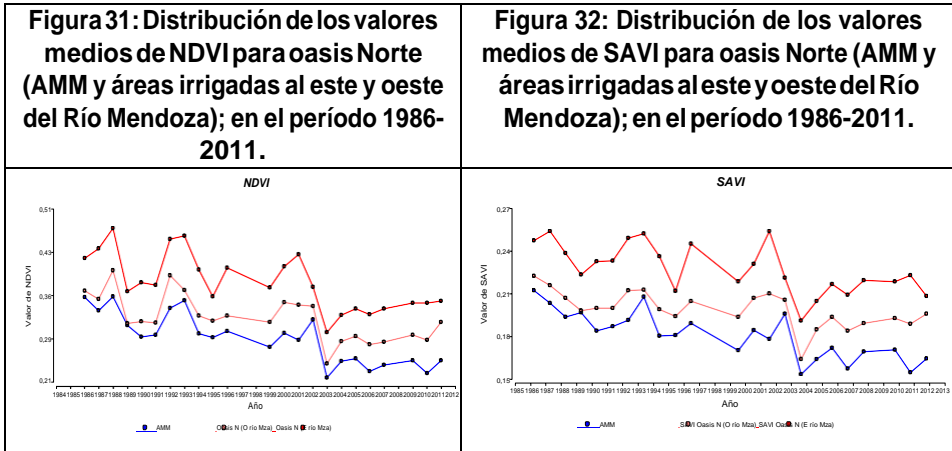
Los valores más altos de NDVI y SAVI, se ubicaron en unidades irrigadas que tienen mayor proporción de áreas verdes, mientras los menores se encuentran en el área urbana. Las Figuras 28 a 30 permiten observar comparativamente la distribución espacial de datos satelitales multitemporales en los oasis (Norte- Centro) y la tendencia de los valores medios de NDVI por secciones catastrales.



Fuente: elaboración propia

AMM y Oasis Norte. Si analizamos el AMM en el período 1986-2011, el valor medio de NDVI es de 0,286 comparado con 0,322 del oasis Norte (al Oeste del río Mendoza) y 0,383 del oasis Norte (al Este del río Mendoza). El valor medio de SAVI para el mismo período es de 0,180 en el AMM comparado con 0,198 del oasis Norte (al Oeste del río Mendoza) y 0,229 del oasis Norte (al Este del río Mendoza). Las Figuras 31 y 32 permiten la comparación de los valores NDVI y SAVI del AMM y de

las tierras irrigadas ubicadas en el mismo oasis. La diferencia en los valores NDVI entre el AMM y el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza) fue de 0,011 en 1986 y de 0,065 en 2011 (Figura 31).



Como ya se señalara el nivel de pérdida del NDVI en el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza) es distinto e inferior al del AMM, no así el del oasis Norte (al Este del río Mendoza) cuyos descensos son similares. Lo mismo sucede con el SAVI. Existe una correlación fuerte entre los índices de NDVI de estos dos sitios ($r=0,922$) y el de SAVI ($r=0,869$).

Centros urbanos intermedios, oasis Norte (al Este del río Mendoza) y oasis Centro. De la comparación del NDVI entre los centros intermedios y las tierras irrigadas ubicadas en el mismo oasis se desprende que los índices NDVI están correlacionados.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE. E Arboit, S. Mangione

En las Figuras 33 y 34 se puede apreciar la evolución temporal de los índices NDVI, en la misma, se observa que algunas ciudades poseen valores medios de NDVI superiores al de los oasis irrigados, tal son los casos de Junín y Rivadavia respecto del oasis Norte (al Este del río Mendoza); y de San Carlos-Eugenio Bustos respecto al NDVI medio del oasis Centro. En la Tabla 9 se pueden leer los valores promedios de NDVI de los distintos sectores.

Tabla 7: Se presentan el coeficiente de Correlación de Pearson para el NDVI de Oasis Norte (al Este del río Mendoza) y centros urbanos intermedios del oasis Norte (al Este del río Mendoza) (en negro) y o el p-valor del test de diferencia de media (en azul).

| Coficiente de correlación del NDVI // p-valor del test de dif.medias | Oasis Norte (Este río Mza) | Palmira | S.Martin-La Colon. | Junín | Rivadavia |
|--|----------------------------|---------|--------------------|---------|-----------|
| NDVI Oasis Norte (Este río Mza) | 1,000 | <0,0001 | <0,0001 | 0,0005 | 0,776 |
| NDVI Palmira | 0,939 | 1,000 | 0,1107 | <0,0001 | <0,0001 |
| NDVI S. Mar-La Colon. | 0,931 | 0,948 | 1,000 | <0,0001 | <0,0001 |
| NDVI Junín | 0,951 | 0,961 | 0,969 | 1,000 | <0,0001 |
| NDVI Rivadavia | 0,943 | 0,947 | 0,984 | 0,978 | 1,000 |

Tabla 8: Se presentan el coeficiente de Correlación de Pearson para el NDVI de Oasis Centro y centros urbanos intermedios del oasis Centro (en negro) y el p-valor del test de diferencia de media (en azul).

| Coficiente de correlación del NDVI // p-valor del test de dif.medias | Oasis Centro (Uco) | Tupungato | Tunuyán | La Consulta | San Carlos-Eugenio Bustos |
|--|--------------------|-----------|---------|-------------|---------------------------|
| NDVI Oasis Centro (Uco) | 1,000 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | 0,0019 |
| NDVI Tupungato | 0,874 | 1,000 | <0,0001 | 0,0186 | <0,0001 |
| NDVI Tunuyán | 0,832 | 0,887 | 1,000 | <0,0001 | <0,0001 |
| NDVI La Consulta | 0,921 | 0,840 | 0,917 | 1,000 | <0,0001 |
| NDVI San Carlos-Eugenio Bustos | 0,874 | 0,825 | 0,932 | 0,970 | 1,000 |

De los cuatro centros urbanos intermedios ubicados en el oasis Norte (al Este del río Mendoza) Palmira, Junín, San Martín-La Colonia, Rivadavia, puede afirmarse que no existe diferencia entre el valor medio de las observaciones de Rivadavia y el oasis Norte (al este del río Mendoza) (p-valor=0,7764), y sí con los otros centros urbanos (p-valor<0,0001 para Palmira y San Martín-La Colonia, y p-valor=0,0005 para Junín).

Los valores medios de NDVI son estadísticamente distintos para todas las ciudades (p-valor<0,0001), salvo para Palmira y San Martín-La Colonia (p-valor=0,1107). En la Tabla 7 se presentan los p-valores del test de diferencias de medias.

Dentro de la cuenca del Río Tunuyán (superior e inferior) no existe diferencia entre NDVI de San Martín-La Colonia y Tunuyán (p-valor=0,9533), aunque se han analizado por separado por pertenecer a oasis distintos, se ubican ambos en la misma cuenca hídrica.

Figura 33: Distribución de los valores medios de la serie temporal del NDVI para las unidades espaciales: oasis Norte (al Este del río Mendoza) y centros urbanos intermedios del oasis Norte (al Este del río Mendoza) Palmira, Junín, San Martín-La Colonia, Rivadavia; para el período 1986-2011.

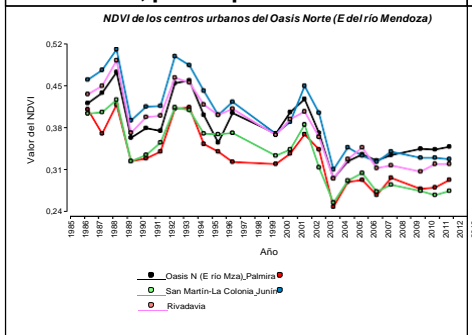
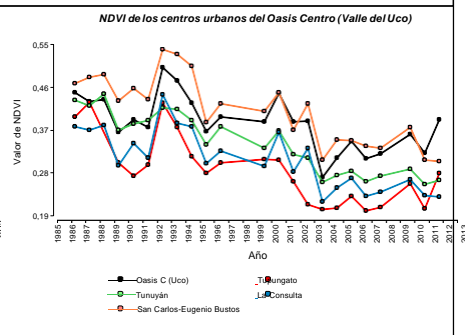


Figura 34: Distribución de los valores medios de la serie temporal del NDVI para las unidades espaciales: oasis Centro y centros urbanos intermedios del oasis Centro Tupungato, La Consulta, Tunuyán, San Carlos-Eugenio Bustos; para el período 1986-2011



Si se analizan los centros urbanos intermedios ubicados en el oasis Centro a partir de las series multitemporales en el período estudiado, todos ellos poseen una pendiente descendente y están correlacionados aunque dichas correlaciones son un

poco más débiles que para el grupo de centros urbanos intermedios localizados en el oasis Norte (al Este del río Mendoza). Todos los centros urbanos del oasis Centro presentan valores medios del índice NDVI distintos al del oasis Centro (p-valor<0,0001 para Tupungato, Tunuyán y La Consulta, y p-valor=0,0019 para San Carlos-Eugenio Bustos), y además son todos estadísticamente distintos entre sí. En la Tabla 8 se pueden leer los p-valores del test de diferencias de medias y las correlaciones entre las distintas localizaciones.

Centros urbanos intermedios y AMM. En la Tabla 9 se muestra los centros urbanos intermedios y el AMM en orden ascendente de la media del NDVI para el período 1986-2011.

Tabla 9: Media del NDVI de los centros urbanos intermedios y AMM para el período 1986-2011

| VARIABLE | Media | D.E. | CV | Mín | Max | Rango |
|-------------------------------------|--------------|-------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| NDVI Tupungato | 0,285 | 0,070 | 24,432 | 0,203 | 0,426 | 0,223 |
| NDVI AMM | 0,286 | 0,043 | 14,936 | 0,218 | 0,358 | 0,140 |
| NDVI La Consulta | 0,309 | 0,062 | 19,945 | 0,220 | 0,441 | 0,221 |
| NDVI Oasis Norte (al Oeste río Mza) | 0,322 | 0,039 | 12,229 | 0,243 | 0,403 | 0,160 |
| NDVI Palmira | 0,335 | 0,049 | 14,763 | 0,251 | 0,421 | 0,170 |
| NDVI San Martín-La Colonia | 0,341 | 0,054 | 15,864 | 0,257 | 0,429 | 0,172 |
| NDVI Tunuyán | 0,341 | 0,062 | 18,258 | 0,256 | 0,443 | 0,187 |
| NDVI Oasis Norte (al Este río Mza) | 0,383 | 0,049 | 12,671 | 0,297 | 0,476 | 0,179 |
| NDVI Oasis Centro (Valle de Uco) | 0,383 | 0,056 | 14,586 | 0,270 | 0,498 | 0,228 |
| NDVI Rivadavia | 0,384 | 0,057 | 14,766 | 0,298 | 0,495 | 0,197 |
| NDVI Junín | 0,401 | 0,062 | 15,492 | 0,312 | 0,514 | 0,202 |
| NDVI San Carlos- Eugenio Bustos | 0,409 | 0,071 | 17,293 | 0,303 | 0,534 | 0,231 |
| NDVI San Carlos | 0,472 | 0,070 | 14,908 | 0,362 | 0,582 | 0,220 |

*Valores en orden ascendente

Comparando los valores de NDVI de los centros urbanos situados en el oasis Norte (al Este del río Mendoza) y el AMM, se observan altas correlaciones entre las series las cuales pueden leerse en la Tabla 10 y Figura 35, además se observan diferencias significativas de los valores medios entre todas las localidades (p -valor $<0,0001$), con excepción de Palmira y San Martín-La Colonia como se indicara anteriormente. El AMM es la localidad con menor NDVI, siendo Junín el de mayor valor medio (0,401), seguido por Rivadavia (0,384). En valores absolutos el centro urbano más comprometido es Palmira NDVI medio de 0,335.

Tabla 10: Se presentan el coeficiente de Correlación de Pearson para el NDVI de AMM y centros urbanos intermedios del oasis Norte (al Este del río Mendoza) (en negro) y el p-valor del test de diferencia de media (en azul).

| Coefficiente de correlación del NDVI // p-valor del test de dif.medias | AMM | Palmira | S.Martin-La Colon. | Junín | Rivadavia |
|--|-------|---------|--------------------|---------|-----------|
| AMM | 1,000 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Palmira | 0,947 | 1,000 | 0,1107 | <0,0001 | <0,0001 |
| S. Martín-La Colon. | 0,906 | 0,948 | 1,00 | <0,0001 | <0,0001 |
| Junín | 0,931 | 0,961 | 0,969 | 1,000 | <0,0001 |
| Rivadavia | 0,923 | 0,947 | 0,984 | 0,978 | 1,000 |

Tabla 11: Se presentan el coeficiente de Correlación de Pearson para el NDVI de AMM y centros urbanos intermedios del oasis Centro (en negro) y el p-valor del test de diferencia de media (en azul).

| Coefficiente de correlación del NDVI // p-valor del test de dif.medias | AMM | Tupungato | La Consulta | Tunuyán | San Carlos-Eug. Bu. |
|--|-------|-----------|-------------|---------|---------------------|
| AMM | 1,000 | 0,8077 | 0,0013 | <0,0001 | <0,0001 |
| Tupungato | 0,841 | 1,000 | 0,0186 | <0,0001 | <0,0001 |
| La Consulta | 0,902 | 0,840 | 1,000 | <0,0001 | <0,0001 |
| Tunuyán | 0,926 | 0,887 | 0,917 | 1,000 | <0,0001 |
| San Carlos-Eug. Bustos | 0,893 | 0,825 | 0,970 | 0,932 | 1,000 |

La comparación del valor de NDVI del AMM con los centros urbanos intermedios del oasis Centro indica que Tupungato y el AMM poseen valores similares de NDVI (p -valor=0,8077), (Tabla 11 y Figura 37).

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE. E Arboit, S. Mangione

El valor medio NDVI 1986-2011 obtenido en los centros urbanos intermedios del oasis Centro es de 0,336; en la cual San Carlos- Eugenio Bustos presenta la media más alta NDVI 0,409 (Figuras 34, 36 y 38), seguido por Tunuyán con un NDVI de 0,341. La Consulta pasó de un NDVI de 0,375 en 1986 a 0,231 en 2011, con un valor medio de 0,309 (Figura 36).

Figura 35: Distribución de los valores medios de la serie temporal del NDVI para los centros urbanos intermedios del oasis Norte (al Este del río Mendoza) Palmira, Junín, San Martín-La Colonia, Rivadavia y AMM; para el período 1986-2011.

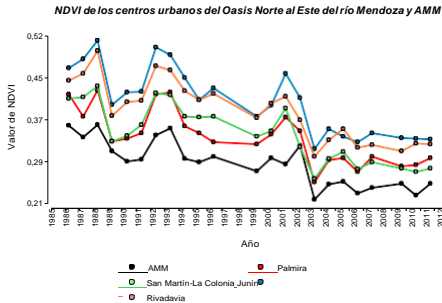
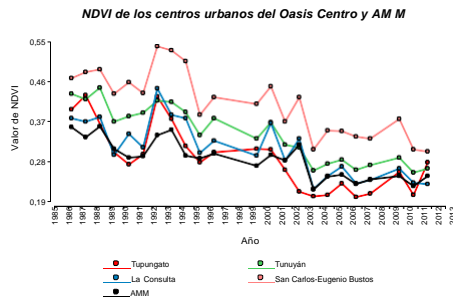




Figura 36: Distribución de los valores medios de la serie temporal del NDVI para los centros urbanos intermedios del oasis Centro Tupungato, La Consulta, Tunuyán, San Carlos-Eugenio Bustos y AMM; para el período 1986-2011.



Si analizamos separadamente San Carlos es el núcleo urbano que posee el índice de vegetación con mayor valor medio NDVI de 0,472 en el período 1986-2011. El pico máximo calculado fue en 1992 con un valor NDVI de 0,582 (Figura 38).

| | |
|--|---|
| <p>Figura 37: Tupungato. Vista aérea y detalle manzana urbana. Ref: Google Map.</p> | <p>Figura 38: San Carlos. Vista aérea y detalle manzana urbana. Ref: Google Map.</p> |
|  |  |

Correlación preliminar entre NDVI centros urbanos y los censos poblacionales. En la Figura 9 se muestra un esquema de categorización de sitios y la evolución demográfica (censos nacionales 1991, 2001, 2010). Mientras la tendencia de la población urbana de los oasis (Norte-Centro) es ascendente, son descendientes los valores de NDVI. Con excepción del centro urbano de Junín, en todas las localidades se da una correlación fuerte negativa entre ambas variables. La correlación entre el índice NDVI y los valores censales de la población en el año correspondiente son negativa y muy alta en Tunuyán, San Carlos-Eugenio Bustos, La

Consulta, Tupungato y AMM; es negativa y alta en Rivadavia y San Martín-La Colonia y resulta ser negativa y moderada en Junín.

Tabla 12: Correlación entre el valor del NDVI de los centros urbanos y los censos poblacionales.

| | Correlación NDVI con el año del censo | Área determinada (en km ²) |
|---------------------------|--|---|
| Tunuyán | -1,00 | 5,00 |
| San Carlos-Eugenio Bustos | -0,98 | 5,25 |
| La Consulta | -0,97 | 3,50 |
| Tupungato | -0,94 | 2,75 |
| AMM | -0,94 | 252,00 |
| Rivadavia | -0,80 | 11,50 |
| San Martín-La Colonia* | -0,73 | 28,75 |
| Junín | -0,54 | 3,75 |

*San Martín-Palmira valores unificados (Censo 2010) *San Martín-La Colonia 19,75km²; Palmira 9,00km²

Los centros urbanos intermedios del oasis Centro, son los que tienen la mayor correlación con el crecimiento demográfico, por lo que a medida que la población aumenta desciende el NDVI. San Carlos que posee en valores absolutos el mayor NDVI, es el centro urbano intermedio analizado con el menor número de habitantes también en valores absolutos.

En el oasis Norte, Junín es diferente a todos los otros centros urbanos, con el menor número de habitantes de los centros urbanos intermedios ubicados en dicho

oasis, ha podido mantener moderada la correlación negativa entre NDVI y crecimiento demográfico (Tabla 12).

Anexo A

Tabla 13: Resultados NDVI y SAVI para todos los sitios analizados.

| NDVI | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|---------------------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Oasis Norte (Oeste del río Mza) | 0,37 | 0,35 | 0,40 | 0,31 | 0,32 | 0,31 | 0,39 | 0,37 | 0,32 | 0,32 | 0,33 | 0,31 | 0,35 | 0,34 | 0,34 | 0,24 | 0,28 | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,29 | 0,28 | 0,31 | 0,31 | 0,35 |
| Oasis Norte (Este río Mza) | 0,42 | 0,44 | 0,48 | 0,37 | 0,38 | 0,38 | 0,46 | 0,46 | 0,40 | 0,36 | 0,41 | 0,37 | 0,41 | 0,43 | 0,37 | 0,30 | 0,33 | 0,34 | 0,33 | 0,34 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| Oasis Centro (Valle de Uco) | 0,45 | 0,43 | 0,43 | 0,36 | 0,39 | 0,37 | 0,50 | 0,47 | 0,42 | 0,37 | 0,40 | 0,39 | 0,44 | 0,39 | 0,39 | 0,27 | 0,31 | 0,35 | 0,31 | 0,32 | 0,36 | 0,32 | 0,39 | 0,39 | 0,39 |
| AMM | 0,36 | 0,33 | 0,36 | 0,31 | 0,29 | 0,29 | 0,34 | 0,35 | 0,29 | 0,30 | 0,27 | 0,30 | 0,28 | 0,32 | 0,22 | 0,25 | 0,25 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Palmira | 0,41 | 0,37 | 0,42 | 0,33 | 0,33 | 0,34 | 0,41 | 0,42 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,32 | 0,34 | 0,37 | 0,35 | 0,25 | 0,29 | 0,30 | 0,27 | 0,30 | 0,28 | 0,28 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Junin | 0,46 | 0,48 | 0,51 | 0,39 | 0,42 | 0,42 | 0,50 | 0,49 | 0,44 | 0,40 | 0,43 | 0,37 | 0,39 | 0,45 | 0,41 | 0,31 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,34 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 |
| San Martín-La Colonia | 0,41 | 0,41 | 0,43 | 0,33 | 0,34 | 0,36 | 0,42 | 0,41 | 0,37 | 0,37 | 0,37 | 0,34 | 0,35 | 0,39 | 0,32 | 0,26 | 0,29 | 0,31 | 0,28 | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| Rivadavia | 0,44 | 0,45 | 0,49 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,47 | 0,46 | 0,42 | 0,40 | 0,41 | 0,37 | 0,40 | 0,41 | 0,37 | 0,30 | 0,33 | 0,35 | 0,31 | 0,32 | 0,31 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 |
| San Carlos-Eugenio Bustos | 0,46 | 0,48 | 0,48 | 0,43 | 0,45 | 0,43 | 0,53 | 0,52 | 0,50 | 0,38 | 0,42 | 0,41 | 0,45 | 0,37 | 0,42 | 0,31 | 0,35 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,37 | 0,31 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| La Consulta | 0,38 | 0,37 | 0,38 | 0,30 | 0,34 | 0,31 | 0,44 | 0,38 | 0,38 | 0,30 | 0,33 | 0,29 | 0,36 | 0,28 | 0,33 | 0,22 | 0,25 | 0,27 | 0,23 | 0,24 | 0,27 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| Tupungato | 0,40 | 0,43 | ----- | 0,30 | 0,27 | 0,30 | 0,42 | 0,37 | 0,31 | 0,28 | 0,30 | 0,31 | 0,31 | 0,26 | 0,21 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,20 | 0,21 | 0,26 | 0,21 | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| Tunuyán | 0,43 | 0,42 | 0,44 | 0,37 | 0,38 | 0,39 | 0,41 | 0,41 | 0,39 | 0,34 | 0,38 | 0,33 | 0,37 | 0,32 | 0,31 | 0,26 | 0,28 | 0,28 | 0,26 | 0,27 | 0,29 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| SAVI | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Oasis Norte (Oeste del río Mza) | 0,22 | 0,22 | 0,21 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,19 | 0,20 | 0,19 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,16 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,20 |
| Oasis Norte (Este río Mza) | 0,25 | 0,26 | 0,24 | 0,22 | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,24 | 0,21 | 0,25 | 0,22 | 0,23 | 0,26 | 0,22 | 0,19 | 0,20 | 0,22 | 0,21 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,21 |
| Oasis Centro (Valle de Uco) | 0,26 | 0,25 | 0,24 | 0,22 | 0,24 | 0,23 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,22 | 0,24 | 0,23 | 0,26 | 0,22 | 0,23 | 0,18 | 0,20 | 0,22 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,20 | 0,23 | 0,20 | 0,23 |
| AMM | 0,21 | 0,20 | 0,19 | 0,20 | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,21 | 0,18 | 0,18 | 0,19 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,20 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,15 | 0,17 | 0,17 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,16 |
| Palmira | 0,25 | 0,23 | 0,22 | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,15 | 0,20 | 0,23 | 0,21 | 0,17 | 0,19 | 0,20 | 0,18 | 0,20 | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| Junin | 0,27 | 0,29 | 0,26 | 0,24 | 0,26 | 0,27 | 0,29 | 0,27 | 0,27 | 0,21 | 0,26 | 0,16 | 0,23 | 0,28 | 0,23 | 0,21 | 0,22 | 0,22 | 0,21 | 0,23 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,20 | 0,20 |
| San Martín-La Colonia | 0,24 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | 0,21 | 0,23 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,16 | 0,21 | 0,24 | 0,20 | 0,18 | 0,19 | 0,21 | 0,18 | 0,20 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,18 |
| Rivadavia | 0,26 | 0,28 | 0,26 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,24 | 0,26 | 0,17 | 0,24 | 0,25 | 0,23 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,21 | 0,22 | 0,20 | 0,22 | 0,20 | 0,22 | 0,20 |

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE. E Arboit, S. Mangione

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| San Carlos-Eugenio Bustos | 0,28 | 0,30 | 0,30 | 0,27 | 0,29 | 0,27 | 0,31 | 0,31 | 0,30 | 0,24 | 0,26 | 0,18 | 0,27 | 0,22 | 0,26 | 0,21 | 0,24 | 0,23 | 0,22 | 0,22 | 0,25 | 0,20 | 0,19 |
| La Consulta | 0,23 | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,21 | 0,19 | 0,25 | 0,23 | 0,23 | 0,19 | 0,20 | 0,14 | 0,22 | 0,18 | 0,21 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,15 | 0,15 |
| Tupungato | 0,24 | 0,26 | 0,21 | 0,19 | 0,17 | 0,19 | 0,25 | 0,22 | 0,19 | 0,18 | 0,19 | 0,15 | 0,19 | 0,17 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,16 | 0,14 | 0,15 | 0,18 | 0,14 | 0,18 |
| Tunuyán | 0,26 | 0,26 | 0,25 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,23 | 0,24 | 0,22 | 0,24 | 0,14 | 0,23 | 0,20 | 0,20 | 0,18 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,17 | 0,17 | |

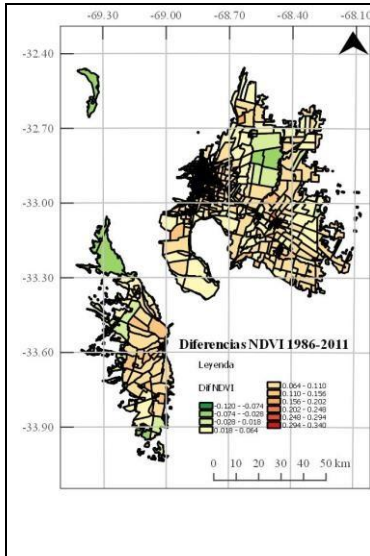


Figura 39: Distribución espacial de la diferencia de los valores medios de NDVI por secciones catastrales, para la unidad espacial oasis (Norte- Centro), entre el período 1986-2011.

Tabla 14: Diferencia de los valores medios de NDVI, entre el período 1986-2011, para todos los sitios analizados.

| | NDVI 1986 | NDVI 2011 | Diferencia | Pendiente d descenso |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|----------------------|
| DVI Tunuyán | 0,43 | 0,26 | 0,165 | -0,0066 |
| DVI SanCarlos-Eugenio Bustos | 0,46 | 0,30 | 0,161 | -0,0064 |
| DVI La Consulta | 0,38 | 0,23 | 0,144 | -0,0058 |
| DVI Junin | 0,46 | 0,33 | 0,133 | -0,0053 |
| DVI San Martín-La Colonia | 0,41 | 0,28 | 0,130 | -0,0052 |
| DVI Palmira | 0,41 | 0,30 | 0,118 | -0,0047 |
| DVI Rivadavia | 0,44 | 0,32 | 0,117 | -0,0047 |
| DVI Tupungato | 0,40 | 0,28 | 0,117 | -0,0047 |
| DVI AMM | 0,36 | 0,25 | 0,108 | -0,0043 |
| DVI Oasis Norte (Este río Mza) | 0,42 | 0,35 | 0,073 | -0,0029 |
| DVI Oasis Centro (Valle de Uco) | 0,45 | 0,39 | 0,057 | -0,0023 |
| DVI Oasis Norte (Oeste del río Mza) | 0,37 | 0,31 | 0,054 | -0,0022 |

CONCLUSIONES

Se formuló un análisis de la cobertura vegetal en base a los índices NDVI y SAVI en el AMM, centros urbanos intermedios y en los oasis irrigados (Norte- Centro). Del análisis estadístico de los resultados se desprende que para el período de estudio 1986-2011 se produjo una pendiente significativa descendente de los valores medios de NDVI y SAVI en todos los sitios analizados y una fuerte correlación de los índices entre sectores y dentro del mismo sitio.

Se concluye que a escala de oasis la prioridad de intervención en la toma de decisiones para resolver la tendencia de la pendiente significativa descendente en la cobertura vegetal, debería centrarse en el oasis Centro, seguido por el oasis Norte (al Este del río Mendoza), esto relaciona la cuenca superior e inferior del río Tunuyán; y finalmente en el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza), que posee la menor pendiente de descenso.

Las variables climáticas determinan preliminarmente correlaciones interanuales moderadas con el NDVI; negativas para T, TM, Tm y positivas para H, PP, SLP; dicho aspecto es particularmente interesante de profundizar en futuros trabajos.

Se avanzó preliminarmente con algunas correlaciones con el recurso hídrico. Aunque los índices NDVI analizados tuvieron una correlación baja con los datos de caudales de ríos y nieve, dichas variables están correlacionadas; la correlación más alta se obtuvo entre el NDVI del AMM con el caudal medio del río Mendoza (0,37), seguida por el oasis Centro con el caudal medio del río Tunuyán (0,33), ambas para un rezago de un año para el recurso hídrico. El estudio del recurso hídrico es una de las problemáticas más desafiantes a integrar en los entornos urbanos por las diferentes fuentes de información, actores, entidades, autoridades y por la falta de disponibilidad de registros históricos detallados de distribución hídrica en cada manzana urbana.

El crecimiento demográfico es determinante en el descenso de NDVI, con correlaciones fuertes negativas muy altas y altas en todos los sitios urbanos analizados y con una correlación moderada en Junín. Siendo Junín el área urbana más pequeña en superficie, con menor cantidad de población y mayor valor medio NDVI de los centros urbanos del oasis Norte (al Este del río Mendoza) ha resultado con la mayor pérdida en los valores NDVI en el periodo 1986-2011, para dicho oasis.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE. E Arboit, S. Mangione

Considerando la totalidad de los centros urbanos intermedios la prioridad de intervención en la toma de decisiones para resolver la pérdida en la cobertura vegetal, debería centrarse en los centros urbanos intermedios del oasis Centro: San Carlos-Eugenio Bustos, Tunuyán, Tupungato y La Consulta, son los que tienen mayor pendiente significativa en el descenso de valores NDVI y mayor impacto por el crecimiento demográfico. Tupungato es el centro urbano intermedio prioritario a considerar en las estrategias de planificación y mejora en los índices de vegetación, ya que presenta los valores medios NDVI más bajos para la totalidad de los años analizados.

De la comparación entre los resultados del AMM y el oasis Norte (al Oeste del río Mendoza) la pendiente de descenso de los valores NDVI y SAVI es distinta e inferior a la del AMM, esto podría indicar el impacto antrópico sobre el área urbana principal de la provincia. El AMM es la que posee menor pendiente de descenso de valores NDVI en el periodo 1986-2011, pero con un bajo valor absoluto NDVI en 2011 posicionada sólo después de La Consulta en dicho año; y uno de los valores medios NDVI más bajos para la totalidad de los años analizados. El AMM además, obtuvo el rango medio más bajo (0,140) entre los valores mínimos (0,218) y máximos (0,358) y una correlación negativa muy alta con el crecimiento demográfico. Estos aspectos son claves en la planificación urbana, en la definición de políticas de renovación y crecimiento urbano y en el principal desafío de mejorar los índices de vegetación.

En lo referente a la metodología utilizada permitió determinar los índices de vegetación NDVI y SAVI para un período de 25 años. En la actualidad se están concluyendo los trabajos para los últimos 6 años (2012-2017) a partir de imágenes Landsat 8. La metodología para el diagnóstico de la cobertura vegetal en base a los índices de vegetación es factible de ser implementada en la totalidad de las

manzanas urbanas del AMM, a escala de manzana urbana, a fin de completar los estudios vinculados a la morfología urbano-edilicia para la sostenibilidad energético ambiental.

Finalmente, el estudio de importancia para planes de manejo y gestión territorial, ha permitido disponer de mayor información sobre la cobertura vegetal, avanzar sobre el conocimiento de las transformaciones y la dinámica del territorio, con el propósito de aportar conocimiento para mejorar la gestión del patrimonio “cultural-ambiental”.

Agradecimientos: En los aspectos metodológicos de datos satelitales al Dr. Mariano Masiokas, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA-CONICET), en aspectos territoriales Dra. Gladys Molina, Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA-CONICET). En aspectos cartográficos y entorno GIS a Ricardo Cohn (INCIHUSA- CONICET).

Reconocimiento del apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). La mayor parte del trabajo presentado se realizó en el marco de los proyectos de investigación: 1. “Morfología Urbano-edilicia y sostenibilidad energético ambiental en ciudades forestadas con climas secos”, Programa para la promoción de la investigación convocatoria 2015-2018; Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad de Mendoza. 2. PIP 11220130100407 “Reingeniería de intervención territorial en el Área Metropolitana de Mendoza, orientando el desarrollo a un modelo urbano sustentable y sostenible”. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y 3. Proyecto P - UE 2017 “Patrimonio cultural de Mendoza. Registro, análisis y prospectiva de bienes culturales-ambientales como recurso de desarrollo local e innovación socio-cultural” Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

BIBLIOGRAFÍA

ABRAHAM, M. E. (2015). Desertificación y cambio climático en Mendoza. Vinculando adaptación y desarrollo en las tierras secas: restricciones y oportunidades. *Símpoio del Foro de Cambio Climático, las expectativas frente a la COP21*. U. N. Cuyo y Naciones Unidas. Mendoza.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE. E Arboit, S. Mangione

- ALLEN, R., PEREIRA, L., RAES, D., SMITH, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Servicio de Recursos, Fomento y Aprovechamiento de Aguas. *Estudio FAO riego y drenaje*, 56.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L., RADES, D., SMITH, M. (1998). Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage paper*, 56. Rome Italy.
- ALLEN, R. G., SMITH, M., PERRIER, A., PEREIRA, L. S. (1994). An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43(2), 1-34.
- ALLEN, R. G., VANDERKIMPEN, P. J., WRIGHT, J. L. (1995). Development of resistance parameters for operational application of the Penman-Monteith equation. *Agric. and For. Meteorol.*
- ARBOIT, M. (2013). Permeabilidad del arbolado urbano a la radiación solar: Estudio de dos especies representativas en entornos urbanos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, 3, (2), 3-18. Chile.
- ARBOIT, M., BETMAN, E. (2014). Solar radiation availability in forest urban environments with dry climate. Case: Mendoza Metropolitan Area, Argentina. *Proceedings of the 30th International PLEA Conference*. Ahmedabad, India.
- ARBOIT, M., BETMAN, E. (2017). Evaluation of the impact of green area surfaces and vegetation cover in forested urban environments with dry climates. Case: Mendoza Metropolitan Area, Argentina. *Procedia Environmental Sciences*, 37, 112 – 130.
- ARBOIT, M., DIBLASI, A., FERNÁNDEZ LLANO, J. C., 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. Elsevier Editorial System*, 33 (8), 1733-1748. Oxford UK.
- ARBOIT, M., MESA, A., DIBLASI, A., FERNÁNDEZ LLANO, J. C., DE ROSA, C. (2010). Assessing the solar potential of low density urban environments in Andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. 2nd. Part. *Renewable Energy. Elsevier Editorial System*, 35, 1551-1558, UK.
- ARBOIT, M., CUCHIETTI, C. (2017). Índice de vegetación en ciudades forestadas. Casos de estudio: La Plata, Mendoza, Santiago de Chile y Turín. *Foro Latinoamericano y del Caribe sobre Silvicultura Urbana, Arboricultura y Paisajismo*. Lima.
- ARBOIT, M., BETMAN, E. (2016). Comparative Study of Solar Radiation Availability in Dry Climate Urban Environment Forested Areas in Mendoza Argentina. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 37, 1440 – 1450
- ASAMBLEA GENERAL de la ONU (2016). New Urban Agenda. *68th Plenary Meeting of the 71st Session of the General Assembly*.

- BARGNA, M. E. (1996). La renovación urbana de la ciudad de Mendoza en la última década: aporte al desarrollo turístico. *II Jornadas Municipales de Patrimonio Cultural y Turismo*. Bariloche.
- BASSO, M., et al. (2003). Urban morphology and solar potential of the built environment in Andean Cities of Hispanic Layout. - Assessing proposals towards a more sustainable energy future. *20th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, PLEA 2003, Santiago–Chile.
- BASSO, M., FERNÁNDEZ, J. C., MESA, N., CÓRICA, M. L., DE ROSA, C. (2003). Urban morphology and solar potential of the built environment in Andean Cities of Hispanic Layout. Assessing proposals towards a more sustainable energy future. *20th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, PLEA. Santiago – Chile.
- BERKOWITZ, A. R., NILON, C. H., HOLLWEG, K. S. (2003). The importance of understanding urban ecosystems: Themes. In: Berkowitz, A.R., Nilon, C.H., Hollweg, K.S. (Eds.). *Understanding urban ecosystems - A new frontier for science and education*. 15–17. Springer-Verlag, New York.
- BONAÑO, M. (2002). Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Tesis Doctoral. Departamento de estadística y econometría. Universidad de Málaga. Málaga, España.
- BREHENY, M. (1996). *Centrist, Decentrists and Compromisers in the Compact City*. E & FN Spon, London.
- CANDIA, R., Ibáñez, G. (2000). *Cobertura vegetal en Mendoza*. Disponible en <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap08.htm#inhalt>
- CANTÓN, A., CORTEGOSO, J. L., DE ROSA, C. (2000). Evaluación energético - ambiental del bosque urbano: desarrollo y puesta a punto de un método de análisis. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar*, 4 (1), 13-17.
- CANTÓN, M. A., CORTEGOSO, J. L., MESA, N. A., DE ROSA, C. (2001). Sustentabilidad energética del parque edilicio en entornos urbanos forestados. Análisis de la disponibilidad del recurso solar en la estación fría. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5, 1, 01.27-01.32.
- CANTÓN, M. A., CORTEGOSO, J. L., DE ROSA, C. (1994). Cuantificación del efecto del arbolado en tramas urbanas. Primeros resultados de la aplicación de un modelo de cálculo analítico computacional. *Actas de la XIX Reunión de Trabajo de ASADES*. 223-228, Rosario, Santa Fe.
- CANTÓN, M. A., CORTEGOSO, J. L., DE ROSA, C. (1994). Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy & Buildings*, 20 (3), 219-230, Berkeley-USA.
- CANTÓN, M. A., MESA, A., DE ROSA, C. (2004). Evaluación de modelos de desarrollo del arbolado urbano desde la perspectiva de la habitabilidad de los espacios abiertos en verano. *Congreso internacional ENTAC04*. Guanajuato, México.

- CANTÓN, M. A., MESA, A., CORTEGOSO, J. L., DEROSA, 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.
- CANTÓN, M. A., FERNÁNDEZ, J., CORTEGOSO, J. L., DE ROSA, C. (2000). Environmental and energy impact of the urban forest in arid zone cities. *Architectural Science Review*, 44 (1), 3-16. Department of Architectural and Design Science. University of Sydney. Australia.
- CARRETERO, E., MORENO, G., DUPLANCIC, A., ABUD, A., VENTO, B., JAUREGUI, J. (2017). Urban forest of Mendoza (Argentina): the role of *Morus alba* (Moraceae) in carbon storage. *Carbon Management*, 1 – 8.
- CARRIERI, S., VESPA, M. J., CODINA, R., KOCSIS, C., MANZANO, E., FERRO, M., MALECKI
- VIDELA, E., FIORETTI, S. (2009). Propuesta de metodología para la calificación bio-ambiental de espacios verdes mediante coeficientes ecofisiológicos. *Rev. FCA*, XLI, 1, 1-21 U. N. Cuyo.
- CERONI, M., ACHKAR, M., GAZZANO, I. (2013). Evolución temporal del NDVI en el Uruguay, mediante imágenes SPOT en el período 1998-2012. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil INPE.
- CHAVEZ, P. S. (1996). Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1025-1036.
- CHUVIECO, E. (2000). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid, Rialp.
- CHUVIECO, E., MARTIN, M. P., PALACIOS, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (23), 5103-5110.
- CONAE (2016). Índices Espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat 8 Sensor OLI. *Guía de Usuario*. Versión 1. 06/06/2016
- CÓRICA, L., PATINI, A., DE ROSA, C. (2004). Potencial de iluminación natural de espacios habitables en función de la morfología urbana circundante, para climas soleados. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Ed. Millor, Salta, Argentina.
- CORREA, E. (2008). *Tesis Doctoral: Isla de Calor Urbana – El caso del Área Metropolitana de Mendoza*. Universidad Nacional de Salta. Inédito.
- CZECH, B., KRAUSMAN, P. R. (1997). Distribution and causation of species endangerment in the United States. *Science*, 277(5329), 1116–1117.
- CZECH, B., KRAUSMAN, P. R., DEVERS, P. K. (2000). Economic associations among causes of species endangerment in the United States. *BioScience*, 50 (7), 593–601.

- DE ROSA C, et al. (1988). Low-cost Passive Solar Homes built in a Tempered Arid Climate. Thermal and Economic Evaluation. *Proceedings of the 6th. International PLEA Conference*, 795-802. Porto, Portugal.
- DEL CORRO, F. I., ZERDA, H. R. (2014). *Los SIG en el mapeo de vegetación y temperatura en ciudades. Estudio de caso: ciudad Capital de Santiago del Estero*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales.
- DESSI, V. (2002). Comparison between thermal comfort simulation and user's behaviour in an open space. *AUAE (Architectural and Urban Ambient Environment)*. Nantes
- DIRECCIÓN PROVINCIAL DE CATASTRO (2012/2013). Disponible en: <http://www.mendoza.gov.ar/>.
- DI RIENZO, J. A., CASANOVES, F., BALZARINI, M. G., GONZÁLEZ, L., TABLADA, M., ROBLEDO, C. W. (2018). *Grupo InfoStat*, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- DRESNER, S. (2001). *The Principles of Sustainability*. London, Earthscan.
- EARTH OBSERVATION GROUP (2017). *NOAA National Geophysical Data Center*. Disponible en: https://ngdc.noaa.gov/eog/night_sat/nightsat.html and www.lightpollutionmap.info
- FERNÁNDEZ, J., BASSO, M., CÓRICA, L., DE ROSA, C. (2003). Consecuencias energéticas de las nuevas reformas al código de edificación de la ciudad de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7, Salta, Argentina.
- GALEANA PIZANA, J. M., CORONA ROMERO, N., ORDÓÑEZ DÍAZ, J. A. B. (2009). Análisis dimensional de la cobertura vegetal–uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena. *Ciencia forestal en México*, 34 (105), México.
- GILBERT, M. A., GONZÁLEZ-PIQUERAS, J., GARCÍA-HARO, J. (1997). Acerca de los Índices de Vegetación. *Revista de Teledetección*, 8.
- GONZÁLEZ LOYARTE, M.; MENENTI, M., ROIG, F. A. (2010). Patrones fenológicos de la Provincia de Mendoza, Argentina, mediante serie temporal de imágenes NOAA-AVHRR NDVI GAC. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 45 (3-4), 343-362.
- GONZÁLEZ LOYARTE, M. M., MENENTI, M., DIBLASI, Á. M. (2009). Mapa bioclimático para las Travesías de Mendoza (Argentina) basado en la fenología foliar. *Rev. FCA*, XLI, 1, 105-122 U.N.de Cuyo.
- GOULDING, J., LEWIS, J. (1999). *European Directory of Sustainable and Energy-Efficient Building*. Londres, James and James.
- GRIMM, N. B., FAETH, S. H., GOLUBIEWSKI, N. E. et al. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319, 756–60.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE. E Arboit, S. Mangione

- GRIMM, N. B., FOSTER, D., GROFFMAN, P. et al. (2008). The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients. *Front Ecol. Environ*, 6, 264–72.
- GRIMM, N. B., REDMAN, C. L., BOONE, C. G. et al. (2013). Viewing the urban socioecological system through a sustainability lens: lessons and prospects from the Central Arizona–Phoenix LTER Programme, en: Singh, S.J., Haberl, H., Chertow, M. et al. (Eds.). *Long term socioecological research*. Dordrecht, The Netherlands, Springer
- GRIMM, N.B., GROVE, J.M., PICKETT, S.A, REDMAN, C.L. (2000). Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. *BioScience*, 50, 571–84.
- GUERSCHMAN, J., PARUELO, J., DI BELLA, C., GIALLORENZI, M., PACIN, F. (2002). Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data. *Int. J. Remote Sensing*, 24(17), 381-402.
- HILLMAN, M., (1996), In Favour of the Compact City. Jenks, M., Burton, E., Williams, K. (Eds.). *The Compact City: A Sustainable Urban Form?* Oxford, Spon Press.
- HUETE, A. R., WARRICK, A. W. (1990). Assessment of vegetation and soil water regimes in partial canopies with optical remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 32, 155-167.
- HUETE, A. R., LIU, H. Q. (1994). 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*, 32, 897-905.
- HUETE, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.
- HUETE, A. R. (1989). Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra, en: Asrar, G. (Ed.) *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, New York, John Wiley & Sons, 107-141.
- Huete, A. R., Jackson, D., Post, D. F. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, 17, 37-53.
- IGM (2016-2017). IGM-IGN. Instituto Geográfico Militar. Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina. Disponible en: <http://www.ign.gob.ar/>
- INSTITUTO Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (2010). Disponible en: <http://www.indec.gob.ar/>
- IRONS, J. R. (2017). *NASA Official. Landsat Science*. Actualización julio 6, 2017. Disponible en: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-worldwide-reference-system/>.

- JENKS, M., BURTON, E., WILLIAMS, K. (1996). *Compact Cities and Sustainability: An Introduction to the Compact City*. London, E & FN Spon.
- LING TANG, L., ZHANG, G. (2013). The Pattern and Gradient Analysis of Urban Green Space in Shenyang, China. *Communications in Information Science and Management Engineering*, 3, 2, 112-122
- LINLIN, L., KUENZER, C., WANG, C., GUO, H., LI, Q. (2015). Evaluation of Three MODIS-Derived Vegetation Index Time Series for Dryland Vegetation Dynamics Monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 7(6), 7597-7614
- MARTÍNEZ, C., CANTÓN, M. A.; ROIG, F. (2009). Análisis del estado del arbolado urbano de Mendoza mediante técnicas dendrocronológicas. *1ª Jornadas Regionales de Ecología Urbana-Verde Urbano*.
- MARTÍNEZ, C. (2014). Crecimiento bajo déficit hídrico de especies forestales urbanas de la ciudad-oasis de Mendoza Argentina y su área metropolitana. Ecosistemas. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 23, 147.
- MARTÍNEZ, C. F., ROIG, F. A., CAVAGNARO, J. B., CANTÓN, M. A., DIBLASI, A. M. (2013). Effects of water deficit on urban forest growth in a dryland South America región. *Phyton (B. Aires)*, 82 (2).
- MASEK, J. G., VERMOTE, E. F., SALEOUS, N., WOLFE, R., HALL, F. G., HUENNRICH, F., GAO, F., KUTLER, J., LIM, T. K. (2006). A Landsat surface reflectance data set for North America 1990 – 2000, *Geosci. Remote Sens. Lett*, 3, 68 – 72.
- MASIOKAS, M. (2015). Breve reseña de la gestión del agua en Mendoza (Argentina) y análisis de la sequía 2010-2015 en un contexto de largo plazo. *Simposio Hidrología Andina para el manejo de los recursos hídricos: conceptos y herramientas*. UNESCO – IHP.
- MASIOKAS, M., VILLALBA, R., LUCKMAN, B., LEQUESNE, C., ARAVENA, J. C. (2006). Snowpack Variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region. *Journal of climate*, 19, 6334 – 6352.
- MESA, N. A. (2000). Determinación de áreas de fachadas potencialmente colectoras en medios urbanos, a través de un modelo gráfico-computacional. *Memorias: ISES Millennium Solar Forum*, México DF, ANES
- MESA, N. A., ARBOIT, M., DE ROSA, C. (2010). La sustentabilidad energético-ambiental como base para el desarrollo urbano en zonas de oasis andinos. *Cuaderno Urbano*, 9(9), 35.
- MONTEITH, J. L. (1973). *Principles of Environmental Physics*, Londres, Edward Arnold.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE. E Arboit, S. Mangione

MORAN, M. S., JACKSON, R. D., SLATER, P. N., TEILLET, P. M. (1992). Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment*, 41, 169±184.

OKE, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmos. Environ*, 7, 769–779.

OKE, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *J. Climatol.*, 1, 237–254.

OKE, T. R. (1987). *Boundary-Layer Climates* (2nd Edn.). London U.K., Methuen.

OKE, T. R. (1988). The urban energy balance. *Prog. Phys. Geogr.*, 12, 471–508.

ONU (2017). *Nueva Agenda Urbana adoptada en la 68ª Reunión Plenaria de la 71ª Sesión de la Asamblea General*, celebrada en 2016. Nueva York, EE.UU.

PARUELO, J. M., GARBULSKY, M. F., GUERSCHMAN, J. P., JOBBÁGY, E. G. (2004). Two decades

of Normalized Difference Vegetation Index changes in South America: identifying the imprint of global change. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 2793-2806.

RODRÍGUEZ-MORENO, V. M., BULLOCK, S. H. (2013). Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el desierto Sonorense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 611-623.

SALCEDO, A. (1998). *Estimación de la evapotranspiración real regional a partir de datos satelitales*. Tesis magister Scientiae en riego y drenaje. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza.

SANTAMOURIS, M. (2000). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. London, James and Jamnes.

SANTANA RODRÍGUEZ, L. M., ESCOBAR JARAMILLO, L. A. 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.

SCUDO, G. J., OCHOA DE LA TORRE, M. (2003). *Spazi verdi urbani, la vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati*. Napoli, Esselibri.

SEYLER, F., CHAPLOT, V., MULLER, F., CERRI, C. E. P., BERNOUX, M., BALLESTER, V., FELLER, C.,

CERRI, C. (2002). Pasture mapping by classification of Landsat TM images. Analysis of the spectral behaviour of the pasture class in a real medium-scale environment: the case of the Piracicaba Catchment (12 400 km², Brazil). *Int. J. Remote Sensing*, 23(23), 4985-5004.

SORIA, D., SALOMÓN, M., ABRAHAM, E., FERNÁNDEZ, R., RUBIO, C. (2007). Estimación de la cobertura vegetal en el Departamento de Lavalle, Mendoza. *XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*. Mar del Plata.

TUCKER, C. J., SELLERS, P. (1986). Satellite remote Sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1395-1416.

ZHANG, H. K., ROY, D. P. (2016). Landsat 5 Thematic Mapper reflectance and NDVI 27-year time series inconsistencies due to satellite orbit change. *Remote Sensing of Environment*, 186, 217–233.

ZHAO, M., RUNNING, S. W. (2009). Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2000 through 2009. *Science*, 329, 940-942.

Las autoras

Mariela Edith Arboit es Arquitecta y Doctora en Arquitectura por la Universidad de Mendoza. Actualmente es Investigadora Adjunta del Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INCIHUSA- CONICET). Se ha desempeñado como directora de proyectos REDES interuniversitarias internacionales, PICT-ANPCyT, PIP-CONICET, PPI-FAUD-UM y como integrante de proyectos en equipos nacionales e internacionales de investigación. Ha realizado numerosos servicios tecnológicos de alto nivel (STAN), proyectos de transferencia e informes técnicos. Ha sido profesora invitada del Politécnico de Turín y disertante en foros internacionales. Posee numerosos trabajos de producción científica en revistas de circulación internacional y capítulos de libros. Su área de experticia es Hábitat, en la temática morfología urbano-edilicia y sostenibilidad energético-ambiental en ciudades andinas de clima árido.

marboit@mendoza-conicet.gob.ar

Dora S. Maglione es Licenciada en Matemática y Magister en Estadística Aplicada, títulos obtenidos en la Universidad Nacional de Córdoba. Se desarrolla como docente investigadora en la Universidad Nacional de la Patagonia Austral y además es Directora del Instituto de Trabajo, Economía y Territorio en esta institución. Dentro del ámbito de la docencia universitaria, se desempeña como Asociada en cátedras del área de Álgebra Básica y Superior en el Departamento de Ciencias Exactas y Naturales, y además en docente de la asignatura “Diseño experimental y técnicas de muestreo” de la Maestría en Manejo y Gestión de Recursos Naturales de la Patagonia. Sus publicaciones se encuentran inscriptas en dos líneas de trabajo, por un lado en cuestiones relacionadas al análisis estadístico de variables espacio-

ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y MULTIESPACIAL DEL ÍNDICE. E Arboit, S. Mangione

temporales, y por el otro a la enseñanza de la matemática utilizando herramientas tecnológicas.

dmaglione@uarg.unpa.edu.ar