XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

# EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA ISLA DE FRESCOR DE UN PARQUE URBANO EN ZONA ÁRIDA. CASO PARQUE CENTRAL, MENDOZA-ARGENTINA.

**(1); M. Angélica Ruiz, (2) Erica N. Correa, (3) Claudia F. Martinez, (4) M. Florencia Colli**
(3) Dra. Ing. Agr. Investigadora Asistente Conicet, aruiz@mendoza-conicet.gob.ar, INAHE-CCT Conicet Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n Parque Gral. San Martín, Mendoza-Argentina.
(4) Dra. Ing. Qca. Investigadora Independiente Conicet, ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar, INAHE-CCT Conicet Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n Parque Gral. San Martín, Mendoza-Argentina.
(5) Dra. Ing. Agr. Investigadora Adjunta Conicet, cmartinez@mendoza-conicet.gob.ar, INAHE-CCT Conicet Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n Parque Gral. San Martín, Mendoza-Argentina,
(6) Geog. Becaria Doctoral Conicet, mfcolli@mendoza-conicet.gob.ar, INAHE-CCT Conicet Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n Parque Gral. San Martín, Mendoza-Argentina, tel. 0054 261 5244342.

## RESUMEN
El enverdecimiento urbano es una estrategia eficiente para la mitigación de la isla de calor. Sin embargo, en ciudades de zonas áridas el uso de la vegetación demanda la utilización de un recurso escaso, el agua. En este sentido, es necesario repensar el diseño de las infraestructuras verdes a fin de garantizar su sustentabilidad en términos de costos y beneficios. El objetivo de este trabajo es examinar el efecto del Parque Central de la Ciudad de Mendoza en su comportamiento térmico y en la magnitud de la isla de frescor que genera sobre su entorno construido en el período 2007-2017. El Parque Central (32°52'37.08"S y 68°50'28.03"O) se ubica en un área residencial de media a alta densidad constructiva y posee valor estratégico para el desarrollo urbano de ese sector. Las especies incorporadas inicialmente (año 2006) no se adaptaron a las condiciones ambientales del sitio y en la actualidad se han consolidado únicamente las más tolerantes a condiciones de restricción hídrica y sequía. Metodológicamente, se llevaron a cabo cuatro campañas de monitoreo durante los veranos 2007-2008; 2010-2011; 2011-2012 y 2016-2017. En cada campaña se instalaron sensores con canales registradores de temperatura y humedad relativa cada 15 minutos. Los resultados indican que durante el verano 2016-2017 la estructura de bosque se encuentra hasta 37% más fresca que en la temporada 2007-2008. Mientras que el prado se encuentra hasta 62% más fresco en la temporada 2016-2017 respecto del verano 2007-2008. Esto significa que tanto prado como bosque evidencian isla de frescor nocturna respecto de los alrededores. Sin embargo, la evolución del parque y la consolidación de sus masas boscosas le han permitido a la estructura de prado comportarse con mayor eficiencia.
Palabras clave: parques urbanos, mitigación isla de calor, isla de frescor, cobertura vegetal.

## ABSTRACT
Urban greening is an efficient strategy for mitigating the urban heat island. However, in arid zones cities the use of vegetation demands the use of a scarce resource, the water. In this sense, it is necessary to rethink the green infrastructures design in order to guarantee their sustainability in terms of costs and benefits. The objective of this work is to examine the effect of the Central Park in Mendoza City, on its thermal behavior and the magnitude of the cool island that it generates on its built environment, in the 2007-2017 period. The Central Park (32 ° 52'37.08 "S and 68 ° 50'28.03" W) is located in a residential area of medium to high construction density and has a strategic value for the urban development of that sector. The tree-species incorporated initially (year 2006), were not adapted to the site environmental conditions and at present only the most tolerant to water restriction and drought have been consolidated. Methodologically, four monitoring campaigns were carried out during the 2007-2008 summers; 2010-2011; 2011-2012 and 2016-2017. In each campaign, sensors were installed with temperature and relative humidity recording channels every 15 minutes. The results indicate that during the 2016-2017 summer the forest structure is up to 37% cooler than in the 2007-2008 season. While the meadow is up to 62% cooler in the 2016-2017 season compared to the 2007-2008 summer. This means that both meadow and forest evidence nocturnal freshness island with

respect to the surroundings. However, the park evolution and the consolidation of its forest masses have allowed the meadow structure to behave with greater efficiency.
Keywords: urban parks, heat island mitigation, cool island, plant covering.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los entornos áridos cubren más del 30% de la superficie terrestre del mundo, un porcentaje que aumentará con el cambio climático en el próximo siglo. Las ciudades de zonas áridas enfrentan dos desafíos principales: el aumento de la temperatura y la escasez de agua (WATTS, 2018).

Las ciudades en ambientes áridos sufren los efectos de la isla de calor urbana (ICU), con impactos negativos en el medio ambiente, las personas y las economías. Las islas de calor aumentan el uso de agua y el consumo de energía en las ciudades pues incrementan la temperatura de los espacios exteriores e interiores y, como consecuencia, la demanda de aire acondicionado para alcanzar condiciones de confort. Además, producen un aumento de la contaminación del aire e impactan sobre la salud pública y la calidad de vida.

Se ha demostrado que el enverdecimiento de la ciudad es una estrategia eficiente para la adaptación y mitigación de los fenómenos de la isla de calor y calentamiento urbano (GIVONI, 1991; GILL et al., 2007). Sin embargo, en ciudades de zonas áridas, el enverdecimiento urbano demanda para su implementación la utilización de un recurso escaso como es el agua. En este sentido, la restricción de recursos y la necesidad de estrategias para paliar las consecuencias de la elevación de las temperaturas urbanas, obligan a repensar el diseño de las infraestructuras verdes a fin de garantizar su sustentabilidad en términos de costos y beneficios.

La aplicación de vegetación en áreas urbanas altera los parámetros que conforman el microclima como la temperatura del aire, la humedad relativa, los patrones de dirección y velocidad del viento, y de precipitaciones (BYRNE et al., 2008). Es conocido que la vegetación incide sobre las ciudades fundamentalmente a través de tres efectos: la producción de sombra, la evapotranspiración y alteración de los patrones de viento (OKE et al., 1989). Los efectos de la sombra dependen de la altura y distribución de la vegetación, la fisonomía y la fenología vegetal, tipo, tamaño y forma de las hojas, follaje perenne o caducifolio, etc. Se han reportado en pequeños parques urbanos diferencias de temperatura de hasta 6.9 °C entre espacios sombreados y asoleados (OLIVEIRA et al., 2011). La evapotranspiración es el proceso de pérdida de agua de una planta a la atmósfera a través de la evaporación, que produce un enfriamiento de la hoja y de la temperatura del aire alrededor de la hoja (KOTZEN, 2003; TAHA et. al., 1988). Se han reportado diferencias de 3.1 °C en la temperatura del aire sólo como consecuencia de la evapotranspiración (GEORGI; DIMITRIOU, 2011). La vegetación también es capaz de reducir los efectos del viento tanto en invierno como en verano, la capacidad de la vegetación para alterar el movimiento del aire y la advección depende en gran medida del tipo de vegetación (BONAN, 1997). Por ejemplo, un árbol de hoja caduca puede reducir la velocidad del viento en un 30-40% (ALI-TOUDERT; MAYER, 2007). Incluso un dosel de árboles de hoja caduca, sin hojas en invierno, puede reducir la velocidad del viento local en un 50-90% en comparación con un área abierta.

Las infraestructuras verdes se incorporan en las zonas urbanas a través de varias tipologías. De modo particular, los parques urbanos forman las denominadas islas frías de parque (IFP), que pueden aliviar eficazmente las influencias negativas de las islas de calor urbano. Diversas mediciones revelaron que las áreas verdes son generalmente más frías que sus áreas construidas circundantes, con una diferencia de temperatura en el rango de 1 °C a 7 °C, y que el efecto de enfriamiento depende en gran medida del tamaño del parque y de la distancia al parque (SHASHUA-BAR; HOFFMAN, 2000; SPRONKEN-SMITH; OKE, 1998; KRÜGER; GIVONI, 2007; CORREA et al., 2006; RUIZ et al., 2011).

Los parques urbanos tienen una estructura superficial compleja determinada por las características de su diseño paisajístico. Por lo tanto, las interacciones entre los elementos que componen los parques urbanos como por ejemplo el tipo de vegetación utilizada y su distribución dentro del espacio, la proporción y distribución de áreas selladas y áreas permeables, la existencia de cuerpos de agua, etc., generan un entorno con características microclimáticas específicas. En este marco resulta interesante examinar el efecto de las características de los parques urbanos en sus temperaturas individuales y en la magnitud de la isla de frescor que generan sobre su entorno construido, como así también evaluar la evolución del efecto de enfriamiento con los cambios en las características del parque y del entorno. Es decir, evaluar la evolución de su impacto sobre el entorno construido como una medida de la eficiencia del parque en términos térmicos y ambientales.

## 2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto de un parque urbano de la ciudad de Mendoza, Argentina -Parque Central- sobre las temperaturas del aire de su entorno construido, tomando como medida la magnitud de su isla de frescor. Y analizar la evolución de su efecto de enfriamiento a través del tiempo en relación a la

evolución de la cobertura vegetal del parque y sus características de diseño paisajístico. El objetivo final, es detectar parámetros de diseño conducentes a garantizar los efectos benéficos de los parques urbanos como reguladores del microclima a través del tiempo.

## 3. MÉTODO

### 3.1. Descripción del caso de estudio

El Parque Central de la Ciudad de Mendoza es el cuarto espacio verde en superficie de la ciudad (14 has. aproximadamente). Se ubica en la zona noroeste de la capital provincial (32°52'37.08"S y 68°50'28.03"O), en un área residencial de media a alta densidad constructiva (2-4 $m^3/m^2$) y posee un valor estratégico para el desarrollo urbano de ese sector, dados los numerosos usos y actividades artísticas, deportivas, sociales y culturales que propicia (recreación, espacios de exposición de arte, cine, teatro, congresos, conferencias, convenciones, entre otros eventos académicos y empresariales). Ver Figura 1.

De reciente formación (año del proyecto 2006), responde a la recuperación de un vacío urbano remanente de los antiguos terrenos de la estación de cargas del Ferrocarril General San Martín.

De diseño racionalista, toma la geometría ferroviaria del sitio y se desarrolla con fuerte dirección lineal N-S. Respecto de su vegetación y riqueza botánica cuenta con sectores consolidados en su forestación, remanentes de la ex-Plaza México en el extremo Norte y de bosquecillos preexistentes en el extremo Sur. Ambos grupos arbóreos -con mayoría de especies perennes- incluyen ejemplares adultos de *Schinus molle*, *Grevillea robusta*, *Tipuana tipu*, *Casuarina cunninghamiana*, *Morus alba*, *Catalpa bignonioides*, entre las principales. Se identifican también en el interior del parque, algunos ejemplares aislados y adultos de *Eucaliptus camaldulensis* de gran envergadura.

Inicialmente se plantaron 1200 ejemplares arbóreos y 16000 ejemplares arbustivos, y se plantearon dos jardines temáticos, uno constituido por especies aromáticas y otro con especies autóctonas de zonas áridas. La totalidad de especies incorporadas al año 2006 no se adaptaron a las condiciones ambientales del sitio de crecimiento y en la actualidad se han consolidado las más tolerantes, integrando grupos boscosos o en alineación que evidencian el desarrollo de una cobertura vegetal (canopia) densa con significativo aporte de sombreamiento. Estos grupos boscosos responden a las siguientes especies: *Jacaranda mimosifolia*, *Brachichiton spp*., *Chorisia speciosa*, *Tipuana tipu*, *Salix babilonica*, *Albizia julibrisin*, y cortinas forestales de álamos (*Populus nigra cv. chilensis*). El estrato arbustivo consolidado en la actualidad y que difiere del planificado inicialmente, está integrado por especies exóticas y nativas de alto valor ornamental (*Berberis atropurpúrea*, *Chaenomeles sp.*, *Teucrium sp.*, *Nerium oleander*). El sector de especies aromáticas inicialmente plantado no prosperó y fue colonizado por especies nativas ampliando dicho sector con árboles y arbustos de las especies Prosopis ssp., Geofroea decorticans, Cercidium praecox, Larrea spp., y *Zucagnia punctata*, entre otras.

Como aporte ambiental y servicios ecosistémicos se identifican con claridad dos tipos de beneficios según la clasificación (VEJRE et al., 2010; VASQUEZ URIBE; MATALLANA-TOBÓN, 2016), uno basado en la regulación y el otro basado en la provisión. El parque se comporta como un regulador del clima urbano en su zona de implantación, atemperando las temperaturas extremas especialmente en la estación cálida. Respecto al servicio de provisión, el parque provee biodiversidad en términos de aumento de avifauna e insectos benéficos, y un ámbito propicio para el desarrollo de actividades recreativas, sociales y culturales, en atención a brindar una mejor calidad de vida del habitante urbano.

### 3.2. Campañas de monitoreo

Se llevaron a cabo cuatro campañas de monitoreo durante los veranos 2007-2008; 2010-2011; 2011-2012 y 2016-2017. Durante cada campaña, se instalaron sensores HOBO H08-003-02, con dos canales registradores de temperatura interna y humedad relativa cada 15 minutos. Dos de ellos se ubicaron dentro del parque en estructuras bien diferenciadas: Prado y Bosque. Además, se instalaron cuatro sensores en los alrededores del parque (Norte, Este, Sur y Oeste). Los sensores se han colocado a una altura de 2,5 m de la calle (Oke, 2004), dentro de cajas blancas de PVC perforado, para evitar la irradiación y asegurar la circulación adecuada de aire.

En la campaña 2007-2008, se registraron datos desde el 12/03/2008 hasta el 22/04/2008, es decir 41 días. Durante la campaña 2010-2011, se registraron también 41 días desde el 12/02/2011 hasta el 25/03/2011. Desde el 27/12/2011 hasta el 20/01/2012 (25 días) se desarrolló la campaña 2011-2012. Finalmente, la campaña 2016-2017 tuvo lugar desde el 21/12/2016 hasta el 02/01/2017 (13 días).



Figura 01 – Ubicación del Parque Central. Mendoza, Argentina. Fuente: https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/plano-mendoza-completo_33342/ y archivo de las autoras.

A partir de los datos de temperatura del aire y humedad relativa provenientes de la Estación de Referencia del Servicio Meteorológico localizada en el Aeropuerto de Mendoza, se seleccionó un día de cada campaña: 25/03/2008; 21/03/2011; 12/01/2012 y 23/12/2016. Los mismos corresponden a días típicos de la estación estival, es decir, de cielo despejado y con baja frecuencia y velocidad de vientos. La Tabla 1 muestra la temperatura y la humedad relativa mínima, media y máxima para cada día.

Tabla 1 - Caracterización de los días de medición en cada una de las campañas de monitoreo.

| | **2007-2008** | | **2010-2011** | | **2011-2012** | | **2016-2017** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Temp. °C** | **HR %** | **Temp. °C** | **HR %** | **Temp. °C** | **HR %** | **Temp. °C** | **HR %** |
| MINIMA | 16 | 48 | 16 | 35 | 19 | 23 | 15 | 18 |
| MEDIA | 24 | 70 | 23 | 56 | 27 | 41 | 25 | 34 |
| MAXIMA | 30 | 94 | 30 | 82 | 34 | 60 | 33 | 59 |

## 3.3. Relevamiento cobertura vegetal

Para el estudio de la evolución de las áreas verdes y su impacto en el contenido de humedad del aire se trabajó con el análisis de imágenes satelitales y se determinaron los índices NDVI, SAVI y NDWI. Se utilizaron las imágenes de Landsat 7 en las fechas 10/1/2008 y 18/1/2017.

El programa QGis se utilizó para realizar el tratamiento de las imágenes satelitales, de libre circulación en la web. Las imágenes fueron re-proyectadas al marco de referencia Posgar 94 que emplea el elipsoide WGS84, en el sistema de proyección Gauss Krüger faja 4. En la primera etapa del procesamiento, las imágenes se corrigieron radiométricamente, por lo que los valores de nivel de gris de la imagen original, se transformaron en valores de reflectancia aplicando el modelo DOS1 (Dark Object Substraction) o método de substracción de píxeles oscuros, también conocido como el método de Chávez (CHÁVEZ, 1988).

Los índices fueron calculados utilizando las fórmulas que se indican en la Tabla 2 y luego se aplicó una escala de color, para una mejor visualización. Los gráficos de las Figuras 2, 3 y 4 muestran los mapas correspondientes a la determinación de los índices para la condición del parque en enero de 2008 y enero de 2017.

Para el caso NDVI que determina la cantidad y calidad de vegetación. Sus valores van de -1 a 1 correspondiendo valores cercanos a -1, vegetación seca o enferma y, cercanos a 1, vegetación sana. Para el caso del Parque Central, el rango de distribución del NDVI en 2008 abarca valores positivos de 0.061 a 0.469, y en 2017, casi una década de después, ese rango abarca entre 0.021 y 0.574. Se aprecia una consolidación de la vegetación dentro del parque, que evidencia mejoras en el tiempo, de modo específico para el sector SE del parque. También se observa que los valores máximos del índice son coincidentes con la

localización de los sectores boscosos dentro del parque. El valor mínimo del NDVI decreció en el tiempo lo que evidencia que en algunos sectores del parque ha empeorado la calidad y cantidad de la vegetación, pero es necesario notar que al mismo tiempo el valor máximo del índice ha crecido en mayor magnitud.

Tabla 2 - Fórmulas de cálculo de índices.

| **Índices L7** | **Referencia** |
|---|---|
| $\boldsymbol{NDVI}$: $\boldsymbol{B5-B4}$ / $\boldsymbol{B5+B4}$ | ROUSE, HAAS, SCHELL, DEERING, & HARLAN, 1974 |
| $\boldsymbol{SAVI}$: $(\boldsymbol{B5-B4})*(\boldsymbol{1-l})/\ \boldsymbol{B5+B4+l}$ | HEUTE, 1988 |
| $\boldsymbol{NDWI}$: $\boldsymbol{B2-B4}$ / $\boldsymbol{B2+B4}$ | MÉTODO MCFEETERS, 1996 |

Para el caso del SAVI que muestra valores de vegetación ajustados por el suelo y permite una mejor determinación de la vegetación baja en áreas urbanizadas. Sus valores van de 0 a 1, siendo que los valores bajos de SAVI indican menor vegetación. Del análisis comparativo de la distribución temporal dentro del parque se observa un comportamiento análogo al del NDVI, congruente con la consolidación de sectores de bosque en el sector SE del parque.

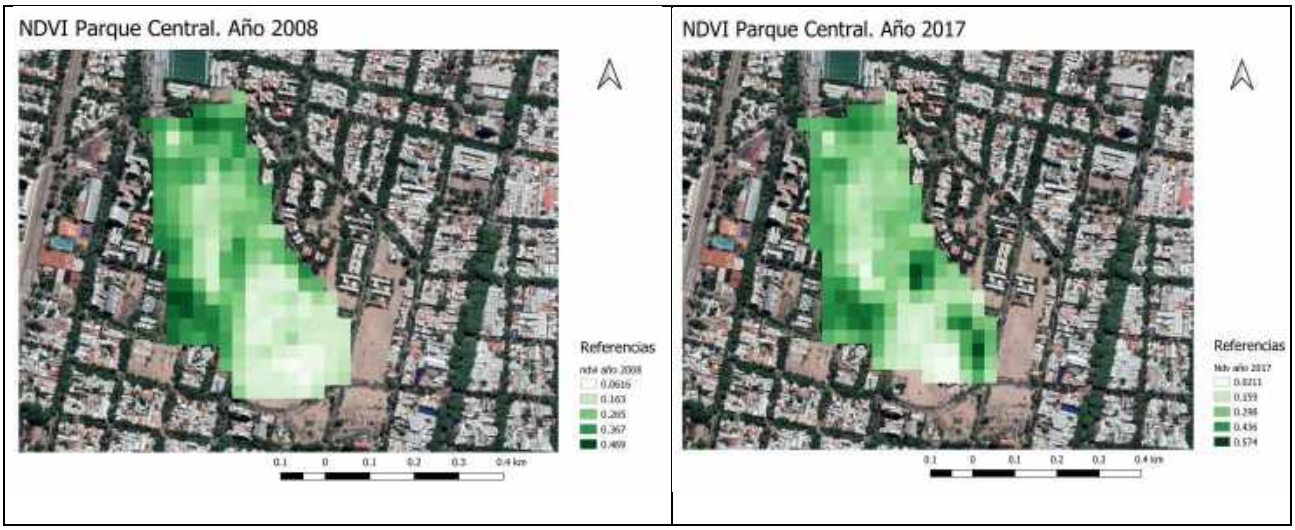



Figura 2 – Imágenes del índice NDVI del Parque Central para los años 2008 y 2017

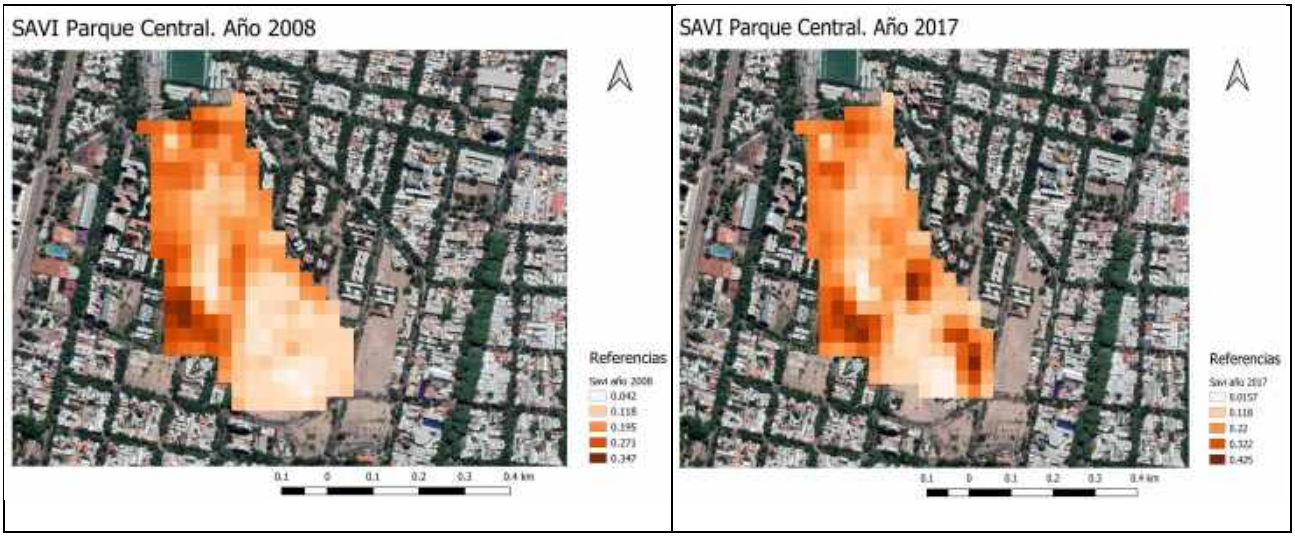



Figura 3 – Imágenes del índice SAVI del Parque Central para los años 2008 y 2017

Por último, podemos emplear el índice NDWI como unidad de medida para determinar el estrés hídrico en vegetación, saturación de humedad en suelo o realizar delimitaciones directas de masas de agua. Al igual que en el caso del índice NDVI, los valores del NDWI oscilan entre -1 y 1 cuyos valores describirán superficies de agua y vegetación con contenido en agua o zonas terrestres y con ausencia de humedad. Se aprecia que el contenido de humedad del parque es muy bajo, y aunque se percibe una leve mejoría en 2016 respecto a 2008, la situación que refleja el análisis de la imagen es congruente para las zonas áridas. Además, en la Figura 4 se aprecia cómo en coincidencia con los sectores donde predomina el bosque en el parque se

detectan zonas de bajo NDWI, mostrando que las especies forestales que prosperan o se consolidan son aquellas de menor consumo hídrico o resistentes y adaptadas a la sequía, que presentan bajas tasas de evapotranspiración. En azul oscuro se identifica el área correspondiente al lago artificial del parque, y las zonas con mayor contenido de humedad se localizan en los sectores de prados.

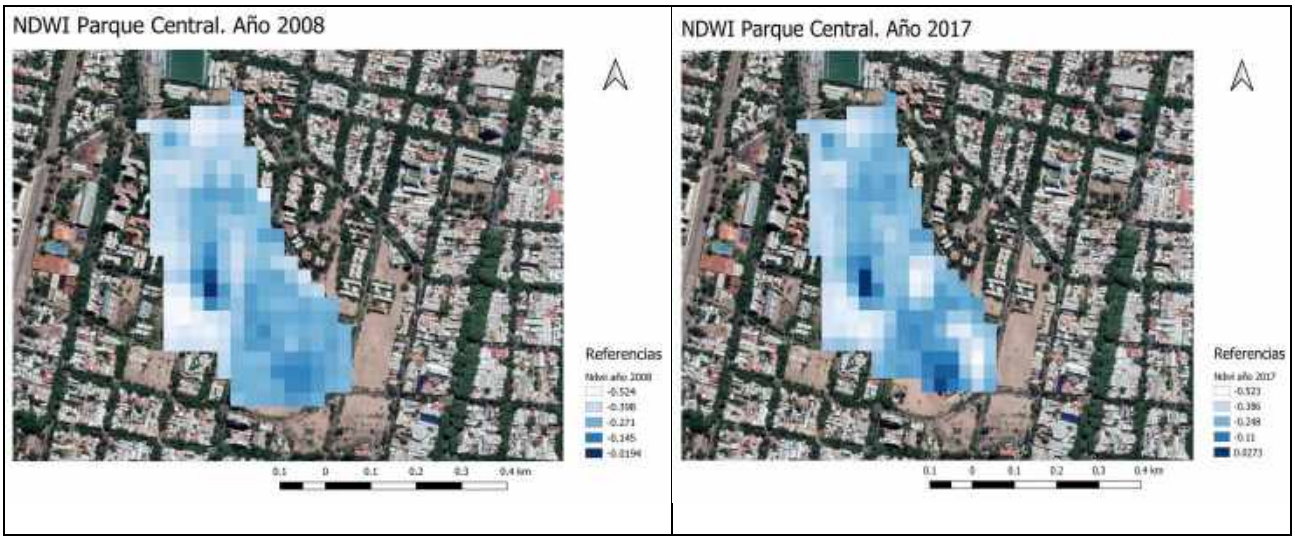



Figura 4 – Imágenes del índice NDWI del Parque Central para los años 2008 y 2017

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Evolución del comportamiento térmico de las estructuras de prado y bosque

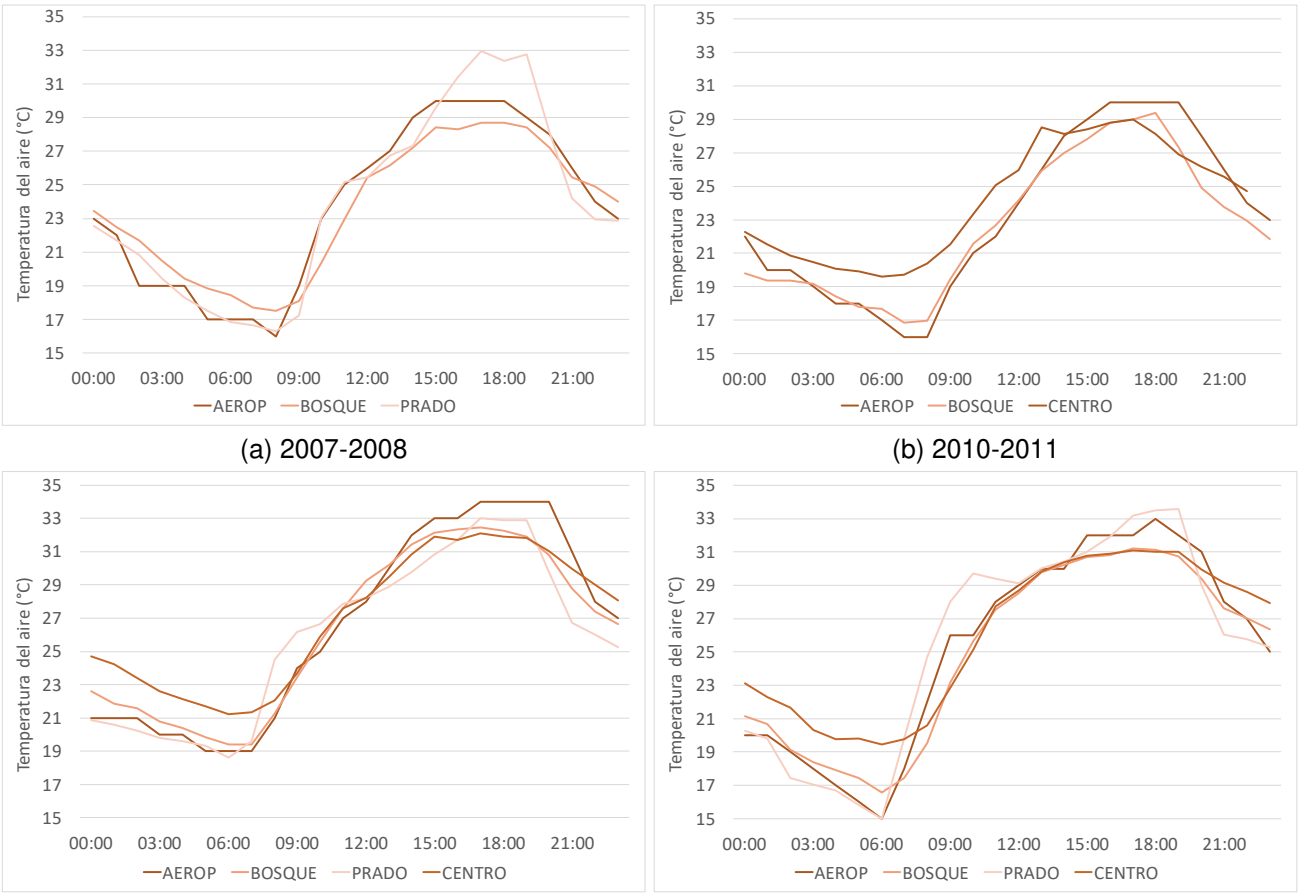
La Figura 5 muestra el comportamiento térmico de las estructuras del parque (prado y bosque), de las estaciones de referencia disponibles (aeropuerto y centro de la ciudad) en las cuatro temporadas estudiadas. En términos generales, la estructura de bosque es más fresca que el aeropuerto durante las horas de sol y más cálida a la hora de la mínima. En cambio, la estructura de prado, se calienta más que el aeropuerto durante el día y las temperaturas mínimas son menores o iguales. Con respecto al centro de la ciudad, se observa el efecto enfriador del parque en ambas estructuras durante las horas de la noche. Durante el día, el prado se encuentra más caliente que el centro de la ciudad. Cabe destacar que en el 2007-2008 no se cuenta con los datos del centro de la ciudad y en el 2010-2011, no se poseen de los datos del prado.

### 4.2. Análisis del efecto térmico del parque sobre los alrededores

Con el objetivo de analizar el efecto térmico del parque sobre sus alrededores se calcularon las diferencias de temperatura entre los alrededores del parque y la estructura de bosque para las distintas temporadas evaluadas, a la hora de la temperatura máxima y a la hora de la temperatura mínima, que presentan variaciones en cada caso. La hora de la temperatura máxima coincide en las cuatro temporadas (17 hs). En cambio, la temperatura mínima ocurre a las 8 hs en el 2007-2008, a las 7 hs en el 2010-2011 y a las 6 hs en las temporadas 2011-2012 y 2016-2017. El retraso de la ocurrencia de la temperatura mínima a lo largo de la evolución temporal evidencia el efecto del aumento y la consolidación de nuevas estructuras edilicias de los alrededores, aumentando la inercia térmica y disminuyendo el enfriamiento radiativo y convectivo.

En el verano 2007-2008, a las 17 hs (temperatura máxima), el bosque se encuentra alrededor de 3.6ºC más fresco que el punto Sur, 2.9ºC más fresco que el punto Norte y 3.9ºC más cálido que el punto Este. A las 8 hs (temperatura mínima), las diferencias entre el bosque y los alrededores del parque se encuentran entre 0.1 y 1.1 ºC (Figura 6a). En cambio, en el verano 2010-2011, el bosque se encuentra 4,7ºC más fresco que el punto Oeste a la hora de la máxima temperatura (17 hs). A la hora de la temperatura mínima (7 hs), el bosque se encuentra hasta 0.8ºC más caliente que los alrededores.

En la temporada 2011-2012, no se observan diferencias mayores a 1ºC entre el bosque y los alrededores del parque a la hora de la máxima ni de la mínima. En la temporada 2016-2017, el bosque se encuentra 1.6ºC más fresco que el punto Sur a la hora de la máxima temperatura (17 hs) y 0.8ºC más fresco que el punto Oeste a la hora de la mínima (6 hs). Ver Figura 6b.

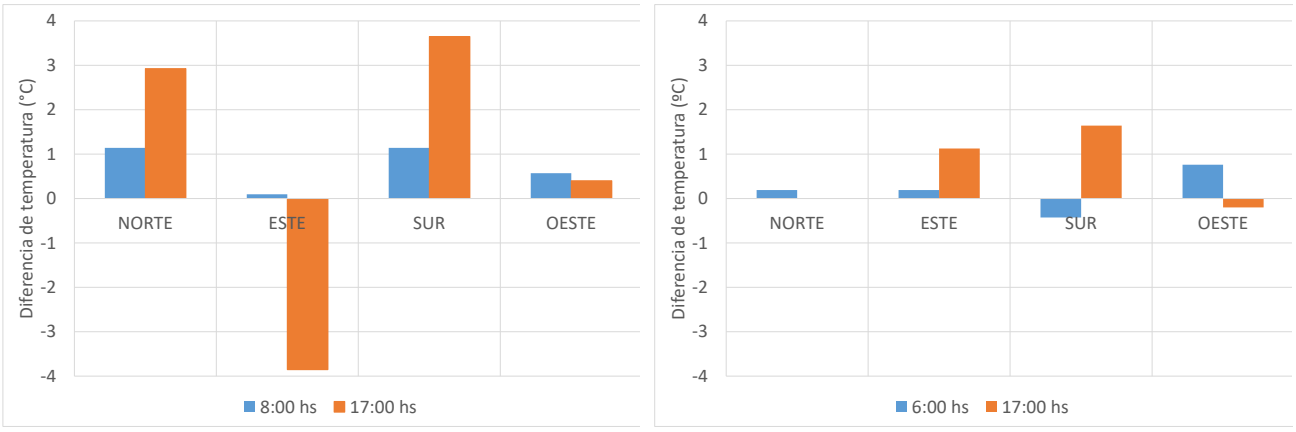



(a) 2007-2008 (b) 2010-2011

(c) 2011-2012 (d) 2016-2017

Figura 5 – Comportamiento térmico de cada estructura del parque, el aeropuerto y el centro de la ciudad en cada temporada evaluada.

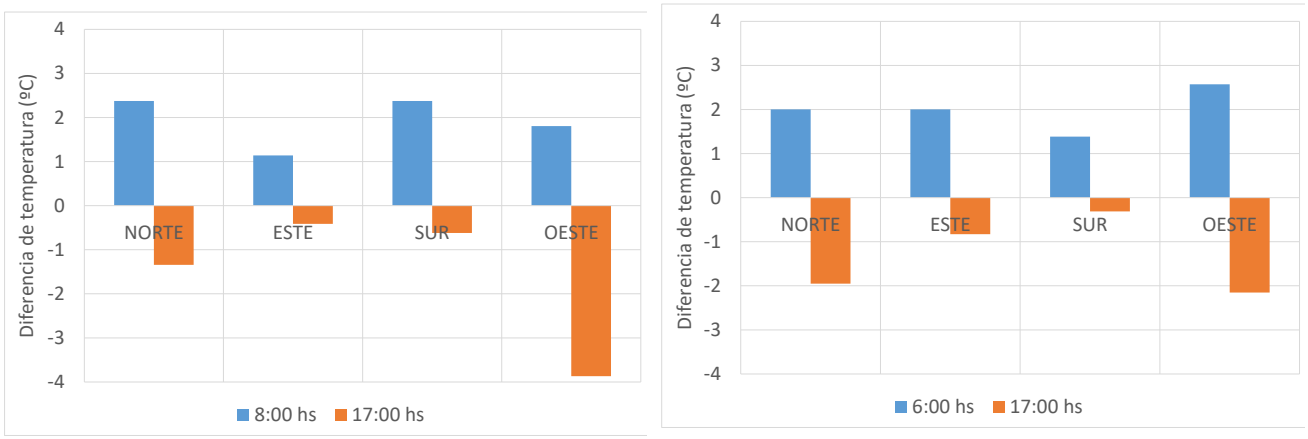
La Figura 7 muestra las diferencias de temperatura entre los alrededores del parque y la estructura de prado para las temporadas 2007-2008 y 2016-2017, a la hora de la temperatura máxima y a la hora de la temperatura mínima, con las mismas variaciones que en el caso del bosque.




(a) 2007-2008 (b) 2016-2017

Figura 6 – Diferencias de temperatura entre los alrededores del parque y el bosque para las temporadas 2007-2008 y 2016-2017, a la hora de la temperatura máxima y a la hora de la temperatura mínima.

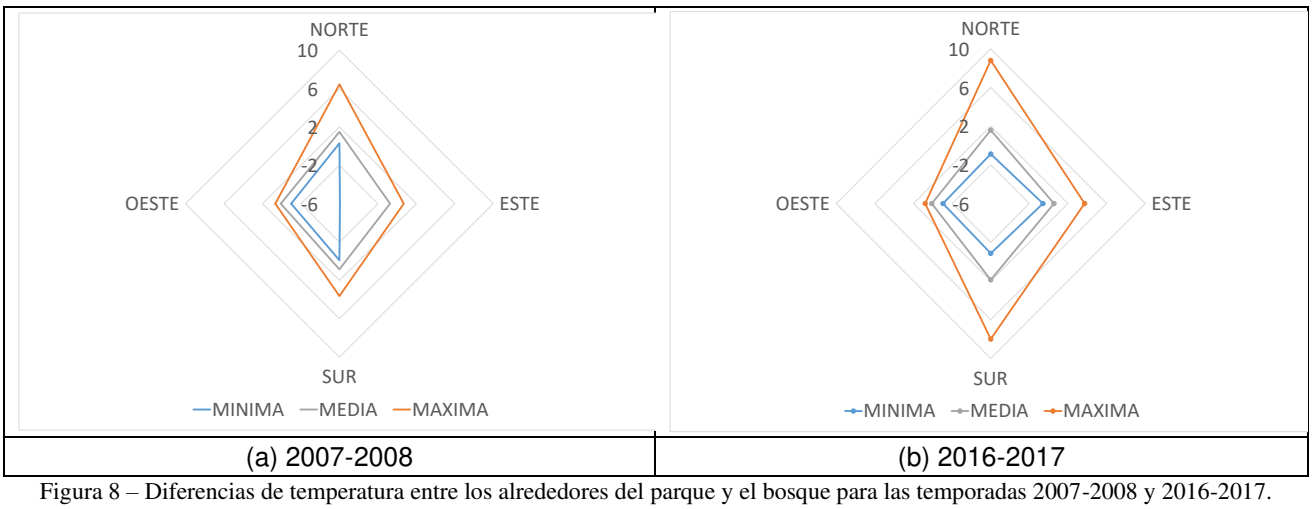
En el verano 2007-2008, a las 17 hs (temperatura máxima), el prado se encuentra 3.9ºC más caliente que el punto Oeste y a la hora de la temperatura mínima (8 hs), el prado se encuentra 2.4ºC más fresco que los puntos Norte y Sur. En el 2011-2012, el punto que representa las mayores diferencias es el norte: el prado se encuentra 1.4ºC más cálido a la hora de la máxima y 1.1ºC más fresco a la hora de la mínima. Durante el 2016-2017, en cambio, el Oeste es el que presenta las mayores diferencias: el prado está 2.2ºC más cálido a la hora de la máxima y 2.6ºC más fresco a la hora de la mínima.




(a) 2007-2008 (b) 2016-2017

Figura 7 – Diferencias de temperatura entre el prado y los alrededores del parque para las temporadas 2007-2008 y 2016-2017, a la hora de la temperatura máxima y a la hora de la temperatura mínima.

La Figura 8 presenta las mínimas, medias y máximas diferencias de temperatura entre los alrededores del parque y la estructura de bosque para las temporadas extremas evaluadas. Durante la temporada 2007-2008, la máxima diferencia de temperatura es de 6.4ºC en relación al Norte y la mínima es de -5.9ºC respecto del Este. En el 2010-2011, el bosque se encuentra hasta 8ºC más fresco que el punto Este y hasta 1.3ºC más cálido que el punto Sur. En el 2011-2012, se encuentran las menores diferencias. Respecto del Norte, el bosque se encuentra hasta 3.8ºC más fresco (máxima) y 1.7ºC más cálido (mínima). Durante el verano 2016-2017, la estructura de bosque se encuentra hasta 8.8ºC más fresca que el punto Norte y 1.1ºC más cálida que el punto Oeste. En términos porcentuales, en el verano 2016-2017 la estructura de bosque se encuentra hasta 37% más fresca que en la temporada 2007-2008. Esto evidencia la consolidación del crecimiento forestal en términos de biomasa.




(a) 2007-2008 (b) 2016-2017

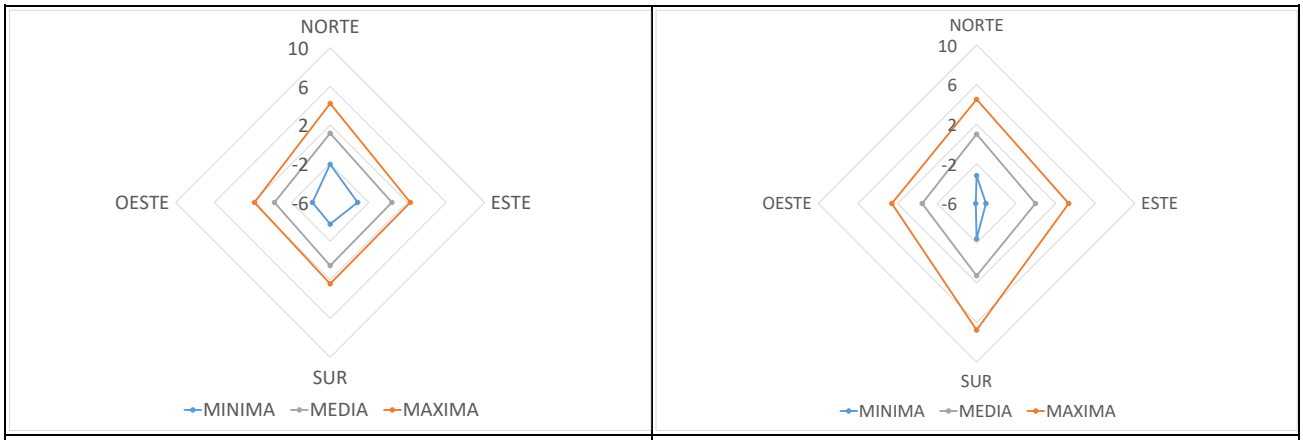
Figura 8 – Diferencias de temperatura entre los alrededores del parque y el bosque para las temporadas 2007-2008 y 2016-2017.

En la temporada 2007-2008, la máxima diferencia de temperatura entre los alrededores y el prado se observa en el punto Norte, el cual es 4.2ºC más cálido que el prado (Figura 9a). La mínima diferencia es de -4.2ºC respecto del punto Sur. El 2011-2012 es el año más parejo en cuanto a diferencias de temperatura. El prado se encuentra hasta 2.7ºC más fresco que el punto Oeste y hasta 2.7ºC más cálido que el punto Sur. En el 2016-2017 se observan las mayores diferencias de temperatura: el prado se encuentra hasta 6.8ºC más fresco que el punto Sur y hasta 5.9ºC más cálido que el punto Oeste (Figura 9b). Por tanto, el prado se encuentra hasta 62% más fresco en la temporada 2016-2017 respecto del verano 2007-2008.

## 5. CONCLUSIONES

El Área Metropolitana de Mendoza, ciudad implantada en una zona árida, presenta una isla de calor (ICU) cuyas máximas alcanzan los 10 °C, con valores promedio de 6 °C a lo largo del año, y ocurrencia durante el periodo de enfriamiento de la ciudad. Es por ello que la aplicación del enverdecimiento urbano como estrategia de mitigación presenta beneficios y restricciones asociadas a la escasez del recurso hídrico. En este

marco, el presente estudio tiene como objetivo analizar la eficiencia de los parques urbanos para reducir la intensidad de la ICU y su evolución en el tiempo, utilizando como indicador la magnitud de la isla de frescor generada por el parque –IFP-.




(a) 2007-2008 (b) 2016-2017

Figura 9 – Diferencias de temperatura entre los alrededores del parque y el prado para las temporadas 2007-2008 y 2016-2017.

Si tenemos en cuenta que los parques urbanos son importantes motores del desarrollo inmobiliario de los sectores de la ciudad en los cuales se localizan, especialmente en ciudades de zonas áridas, es de esperar que a medida que transcurre el tiempo los sectores edilicios en los alrededores del parque aumenten su densidad constructiva y factor de ocupación de suelo, incrementando la presión antrópica sobre el parque.

En el largo plazo, es posible que el efecto del parque como regulador del clima urbano de sus alrededores, disminuya con el tiempo. En este sentido, resulta necesario analizar cuáles serían los criterios de diseño arquitectónico y paisajístico necesarios a incorporar, para garantizar y maximizar los efectos benéficos de los parques urbanos sobre sus entornos construidos, en términos térmicos, a lo largo del tiempo.

Dentro de este marco, los resultados de esta investigación muestran que el efecto benéfico del parque está fundamentalmente regulado por las dos estructuras que lo componen mayoritariamente, espacios de prado y de bosque, y que la incidencia o función de las mismas está claramente diferenciada a lo largo del día.

Durante el horario de ocurrencia de las máximas temperaturas en la ciudad la estructura que se encuentra más fresca que los alrededores es el bosque, con valores máximos de IFP que oscilan entre 3.6°C en 2008 a 1.6°C en 2016, el descenso de la diferencia muestra el impacto del crecimiento urbano de los últimos 10 años, que al incrementar la masa edilicia, incrementa la inercia térmica de los alrededores, y disminuye las diferencias de temperatura con las estructuras frescas dentro del parque –bosques- en las horas de insolación.

Mientras que, en el horario de ocurrencia de las mínimas temperaturas de la ciudad, la estructura que se encuentra más fresca es el prado con valores de IFP que alcanzan hasta 2.5°C en 2008 y 2.6°C en 2016. En este sentido, consecuencia del incremento de la inercia térmica de los alrededores del parque, la IFU en el enfriamiento se ha mantenido en el tiempo.

Sin embargo, cuando analizamos los máximos valores de IFP independientemente de los horarios de ocurrencia de las máximas y mínimas temperaturas en la ciudad, se observa que las máximas IFP registradas entre las estructuras de bosque en el parque y sus alrededores muestran valores crecientes a lo largo del tiempo, (6.4 °C en 2008 vs. 8.8°C en 2016), lo que representa un incremento del 37% de su efecto de refrescamiento. Y que las máximas IFP registradas entre las estructuras de prado en el parque y sus alrededores también muestran valores crecientes a lo largo del tiempo, (4.2 °C en 2008 vs. 6.8°C en 2016), lo que representa un incremento del 62% de su efecto de refrescamiento.

Si tenemos en cuenta los valores de los índices NDVI y SAVI, reportados en el análisis de las imágenes satelitales del área entre 2008 y 2016, podemos inferir que la consolidación de las áreas de bosque y la evolución del parque le han permitido a la estructura de prado comportarse con mayor eficiencia a pesar del incremento temporal de la presión antrópica sobre el parque.

A partir de estos primeros resultados, en tareas futuras se propone avanzar en el análisis del efecto de la proporción y distribución espacial de ambas estructuras -bosques y prados-, sobre la intensidad de las islas de frescor generadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS


ALI-TOUDERT F, MAYER H. 2007. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. **Sol Energy**; 81:742–54.

BERGHÖFER, A. & N. DUDLEY. **Ecosystem services and protected areas. Chapter 7**, Pp: 125-140. En: Wittmer H. y H. Gundimeda (Eds.). The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Local and Regional Policy Markers: TEEB for local and regional policy makers. Earthscan. London, UK. Washington, USA. 2012.

BONAN GB. 1997. Effects of land use on the climate of the United States. **Clim Change** ;37:449–86.

BYRNE LB, BRUNS MA, KIM KC. 2008. Ecosystem properties of urban land covers at the aboveground–belowground interface. **Ecosystems**; 11:1065–77.

CORREA, E., MARTÍNEZ, C., LESINO, G., DE ROSA, C., CANTÓN, A. 2006. Impact of Urban Parks on the Climatic Pattern of Mendoza's Metropolitan Area, in Argentina. PLEA 2006. 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland.

CHAVEZ, P. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**. Nº 24. pp. 459-479.

GEORGI JN, DIMITRIOU D. 2010. The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: case study of Chania, Greece. **Build Environ**; 45:1401–14.

GILL S, HANDLEY J, ENNOS A, PAULEIT S. 2007. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. **Build Environ**; 33:115–33.

GIVONI, B. 1991. Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. Atmos Environ Part B: Urban Atmos;25:289–99.

HEUTE, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Enviroment**, 25, 295-309.

KOTZEN B. 2003. An investigation of shade under six different tree species of the Negev desert towards their potential use for enhancing micro-climatic conditions in landscape architectural development. **J Arid Environ**; 55:231–74.

KRÜGER E, GIVONI B. 2007. Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil. **Build Environ**; 42:1685–98.

MEA, Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis. Disponible en: http://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf

NAUGHTON, L., M. BUCK & K. BRANDON. 2005. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. **Annual Review of Environment and Resources** 30: 219-252. Disponible en: http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.energy.30.050504.164507?journalCode=energyPalomo, I., C.

OKE TR, CROWTHER J, MCNAUGHTON K, MONTEITH J, GARDINER B. 1989. The micrometeorology of the urban forest [and discussion]. **Philos Trans R Soc Lond B:Biol Sci**;324:335–49.

OLIVEIRA S, ANDRADE H, VAZ T. 2011. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: a case study in Lisbon. **Build Environ**; 46:2186–94.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W., & HARLAN, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Greenbelt, **MD: NASA/GSFC** (Type III, Final Report).

Subsecretaría de coordinación

RUIZ, MA, CANTON, MA, CORREA, EN, LESINO, G. Thermal Comfort and Urban Climate Due to the Morphology of Urban Parks in Arid Zones. **Proceedings of Solar World Congress**, ISES, pp. 4369-4379. August 28 - September 2, 2011. Kassel, Germany.

SHASHUA-BAR L, HOFFMAN M. 2000. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy Build**; 31:221–35.

SPRONKEN-SMITH R, OKE T. 1998. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. **Int J Remote Sens**; 19:2085–104.

TAHA H, AKBARI H, ROSENFELD A, HUANG J. 1988. Residential cooling loads and the urban heat island—the effects of albedo. **Build Environ**; 23:271–83.

VÁSQUEZ URIBE, LC; MATALLANA TOBÓN CL. 2016. Identificación de los servicios ecosistémicos que proveen las diferentes áreas Protegidas en la Orinoquia colombiana. BIODIVERSIDAD EN LA Práctica. **Documentos de trabajo del Instituto Humboldt**. VOLUMEN 1 - NÚMERO 1 - 2016 - Pp. 77-127

VEJRE, H., F. SØNDERGAARD JENSEN & B. JELLESMARK THORSEN. 2010. Demonstrating the importance of intangible ecosystem services from peri-urban landscapes. **Ecological Complexity** 7 (3): 338-348.

WATTS, Mark. **Cities Alive Report: Rethinking Cities in Arid Environments**. Executive Director of C40 Cities Climate Leadership Group. 2018.