

Análisis espacio-temporal de la Temperatura de Superficie Terrestre en espacios verdes públicos costeros del frente fluvial del río Limay (Neuquén, Argentina)

Spatio-temporal analysis of Land Surface Temperature in coastal public green spaces of the Limay riverfront (Neuquén, Argentina)

Micaela Lopez¹
Jorge Osvaldo Gentili²

Recibido 19 de febrero de 2024; aceptado 1 de junio de 2024

RESUMEN

Los frentes fluviales devenidos en espacios verdes públicos (EVP) costeros se han vinculado con servicios ecosistémicos (SE) de regulación de temperaturas. El objetivo del trabajo fue analizar la variabilidad espacio-temporal de la Temperatura de Superficie Terrestre (Land Surface Temperature, LST por sus siglas en inglés) en diferentes tipologías de EVP costeros y su relación con parámetros morfológicos y funcionales que los definen. Se abordaron cinco EVP del frente fluvial del río Limay, sujetos a procesos de renovación urbana, en el Área Metropolitana de Neuquén (Argentina). Primeramente, se caracterizaron los EVP a dos escalas espaciales, en función de su distribución regional, y a nivel local y microlocal en virtud de la distribución espacio-temporal de la vegetación y de seis dimensiones asociadas a aspectos morfológicos, funcionales y

¹ Instituto Patagónico de Estudios de Humanidades y Ciencias Sociales-Universidad Nacional del Comahue-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina, correo electrónico: micaela.lopez@conicet.gov.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4276-8216>

² Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina, correo electrónico: jogentili@uns.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4787-4667>

sociales. Seguidamente, se examinó la distribución espacio-temporal de la LST en los EVP y su relación con parámetros morfológicos y funcionales. Los índices espectrales LST y NDVI se obtuvieron mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales, seleccionadas en función de años hidrológicos húmedos y secos, así como estaciones estivales e invernales. Se realizaron mapas temáticos, análisis estadístico descriptivo y exploración de relaciones entre LST y NDVI. Se identificaron variaciones de los índices vinculados al año hidrológico, estaciones del año e intervenciones antrópicas. Asimismo, se observó influencia de la morfología, organización interna y distancia al curso de agua. Los hallazgos aportan al cuerpo emergente de conocimiento en torno a la vinculación entre SE y configuración del paisaje, específicamente en un contexto global de creciente revalorización e intervención de frentes fluviales.

Palabras clave: *Biotopos; Infraestructuras verdes y azules; LST; NDVI; Servicios ecosistémicos.*

ABSTRACT

The riverfronts converted into coastal public green spaces (PGS) have been linked to ecosystem services (ES) for temperature regulation. The aim of the work was to analyze the spatio-temporal variability of the Land Surface Temperature (LST) in different typologies of coastal PGS and its relationship with morphological and functional parameters that define them. Five PGSs were addressed on the Limay riverfront, subject to urban renewal processes, in the Metropolitan Area of Neuquén (Argentina). First, the PGSs were characterized at two spatial scales, based on their regional distribution, and at the local and microlocal level by virtue of the spatio-temporal distribution of the vegetation and 6 dimensions associated with morphological, functional and social aspects. Next, the spatiotemporal distribution of the LST in the PGS and its relationship with morphological and functional parameters were examined. The LST and NDVI spectral indices were obtained through digital processing of satellite images, selected based on wet and dry hydrological years, as well as summer and winter seasons. Thematic maps, descriptive statistical analysis and exploration of relationships between LST and NDVI were performed. Variations of the indices linked to the hydrological year, seasons of the year and anthropic interventions were identified. Likewise, the influence of morphology, internal organization and distance to the watercourse was observed. The findings contribute to the emerging body of knowledge around the link between ES and configuration of the landscape, specifically in a global context of growing revaluation and intervention of riverfronts.

Key words: *Biotopes; Ecosystem services; Green and blue infrastructure; LST; NDVI.*

1. Introducción

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, según sus siglas en inglés), ha reafirmado recientemente que el sistema climático está sufriendo transformaciones y que el papel de la influencia humana en estos cambios es indiscutible (IPCC, 2023). En este contexto, donde la implementación de estrategias de mitigación y adaptación es crucial, surgieron las Soluciones basadas en Ecosistemas (SbE) (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2020).

Una de las prioridades de la SbE son las Infraestructuras Verdes y Azules (IVAs). Entre ellas, una categoría emergente de espacio verde público son los frentes fluviales (*riverfront*, según su terminología en inglés) (Monclús Fraga, 2016; Durán Vian *et al.*, 2018). Éstos integran áreas portuarias y áreas litorales abandonadas y/o degradadas, sujetas a procesos de regeneración urbana (Monclús Fraga, 2016).

Diversos SE de las IVAs en general, y de los frentes fluviales en particular, se han vinculado con la adaptación urbana al Cambio Climático, tales como el control de inundaciones, la regulación de temperaturas extremas y la mitigación de olas de calor y del fenómeno de isla de calor urbana (Boyero *et al.*, 2021; Jiang *et al.*, 2021). En lo referido al SE de regulación térmica, la mayoría de los estudios se han centrado en el análisis del potencial de enfriamiento de las IVAs en contraste con áreas construidas, y menos en la heterogeneidad entre los propios espacios verdes.

A medida que los SE adquieren relevancia, los enfoques analíticos geoespaciales, con base en la teledetección, han impulsado investigaciones que tienen por finalidad su cuantificación y mapeo (Mngadi *et al.*, 2022). Puntualmente en lo que refiere al abordaje del SE de regulación térmica, investigaciones recientes se han centrado en el estudio de temperatura de superficie terrestre (LST, según sus siglas en inglés), ya que su sensibilidad a cambios de uso del suelo permite abordar fenómenos a escala local como la isla de calor urbana (Li *et al.*, 2017; Datri *et al.*, 2018) o el efecto de enfriamiento causado por la vegetación y la humedad del suelo (Albaladejo-García *et al.*, 2021; Jiang *et al.*, 2021).

En el caso particular del Área Metropolitana de Neuquén (AMN), desde el año 1996 se desarrolla un proyecto de modernización del frente fluvial del río Limay. Su renovación condujo a la creación de espacios verdes públicos (EVP) costeros versátiles (Lopez y Gentili, 2020), que ofrecen una variedad de funciones ecológicas y recreativas y poseen diversos enfoques de gestión (Lopez y Gentili, 2021). En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue analizar la variabilidad espacio-temporal de la LST entre diferentes tipologías de EVP costeros y su relación con parámetros morfológicos y funcionales que los definen. Para tal fin se seleccionaron cinco EVP en el Área Metropolitana de Neuquén (Argentina), sujetos a procesos de renovación urbana que actualmente constituyen el frente fluvial del río Limay en el AMN.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El AMN se encuentra en el departamento Confluencia de la provincia de Neuquén, en el norte de la Patagonia argentina (Figura 1). Integra las ciudades de Neuquén, Plottier, Senillosa y Centenario. Durante las últimas décadas se impulsó, a escala metropolitana, un proyecto multipropósito de desarrollo costero sobre el río Limay (Unidad Provincial de Enlace y Ejecución de Proyectos con Financiamiento Externo, 2013), lo que ha potenciado sus servicios culturales (Lopez y Roca, 2024). Su recalificación resultó en el desarrollo de EVP multiusos (Lopez y Gentili, 2020). En este estudio, se analizaron cinco EVP específicos ubicados en el frente fluvial del río Limay: Nepen Hue (NH), La Herradura (LH), Valentina Brun de Duclout (V), Sandra Canale (SC) y Paseo de la Costa (PC) (Figura 1). Su elección se basó en la diversidad de sus características ecológicas, recreativas y de gestión (Lopez y Gentili, 2020; Lopez y Gentili, 2021; Lopez y Gentili, 2022a).

En cuanto a sus características biogeográficas, el AMN está ubicada en la subregión Austral de la región del Monte de Llanuras y Mesetas, con un clima templado y árido a semi-árido (Morello, 1995). Sin embargo, gran parte del AMN se asienta sobre los valles fluviales de la confluencia de los ríos Limay y Neuquén. Esta ubicación le confiere condiciones geomorfológicas y ecológicas de valles fluviales en contexto árido, donde destacan diversidad de biotopos heterogéneos (Figura 1), entre los que se hallan Meseta, Barda, Pedemonte, Monte arbustivo, Oasis, Ribereño, Cobertura vegetal nula y Urbano (Datri *et al.*, 2023).

En una matriz ecológica xerófila dominante (Morello, 1995), la costa ribereña representa una isla biogeográfica con desarrollo de masas forestales. La única especie arbórea nativa en estos bosques de galería es *Salix humboldtiana* (Bozzi *et al.*, 2014). Además, se hallan especies exóticas predominantemente de los géneros *Salix* y *Populus*. Su establecimiento y regeneración están regulados principalmente por la dinámica hidrológica de los ríos (Bozzi *et al.*, 2014; Datri *et al.*, 2016).

En el contexto regional, la gestión del área ribereña favorece la resiliencia natural y social, en virtud de la conservación de la biodiversidad y la provisión de múltiples SEs (Boyero *et al.*, 2021). En lo referido al SE de regulación térmica, Lopez y Gentili (2024) hallaron que las zonas ribereñas tienen un efecto moderador sobre la temperatura, en contraste con las áreas urbanas.

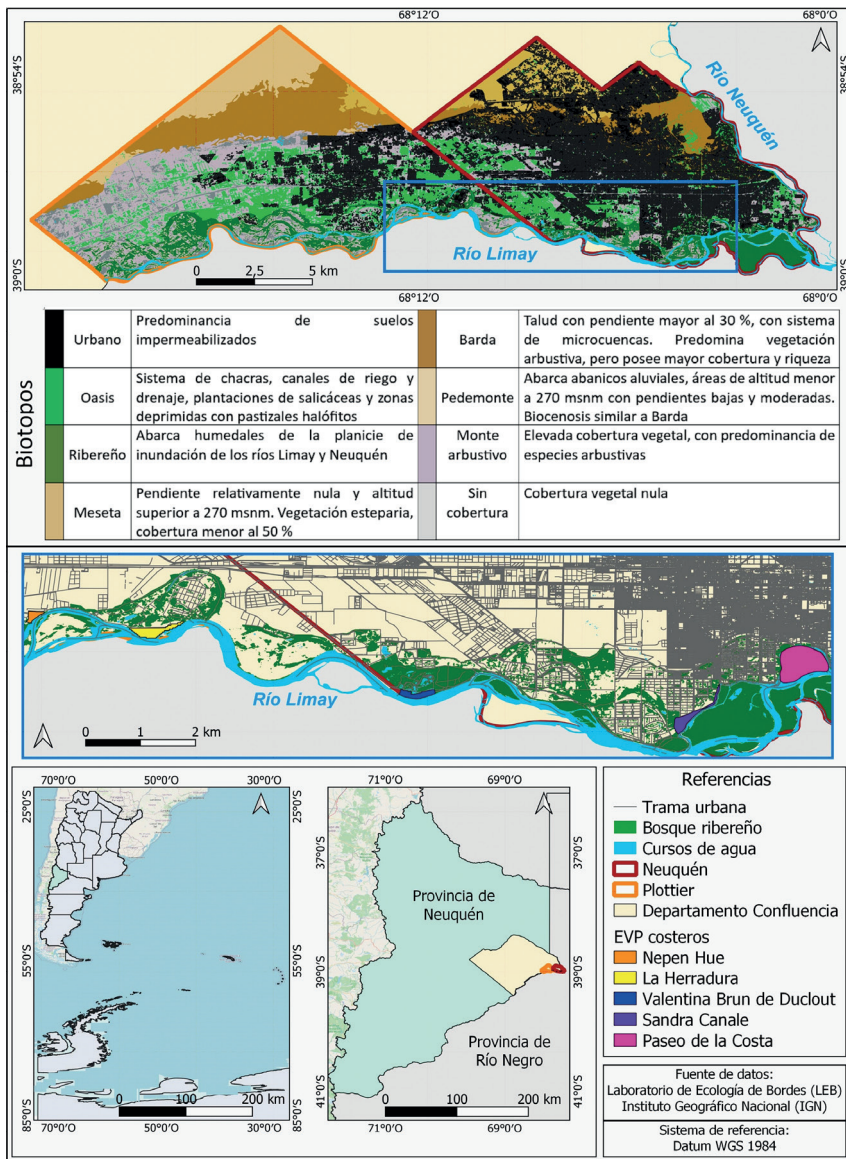


Figura 1. Área de estudio.
Fuente: elaboración propia.

2.2. Metodología

El trabajo se estructuró en dos etapas. La primera de ellas asociada a la caracterización de los casos de estudio, la segunda al análisis de la distribución espacio-temporal de la LST en los espacios verdes costeros y su relación con parámetros morfológicos y funcionales que los definen (Figura 2).

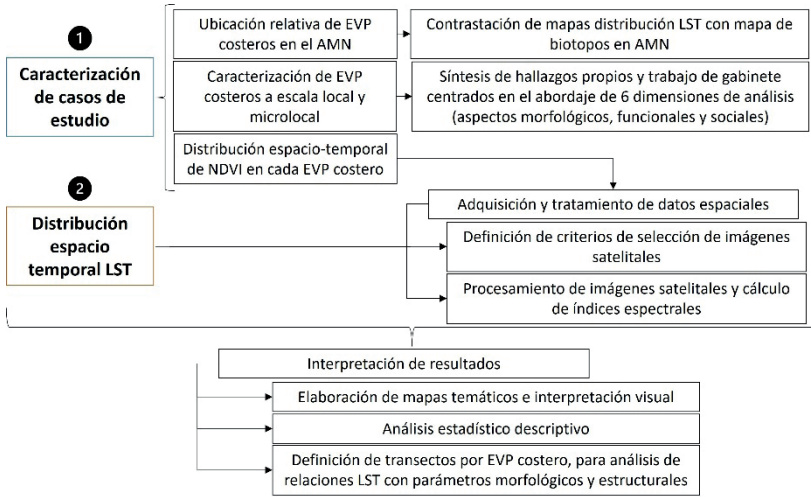


Figura 2. Flujo metodológico.

Fuente: elaboración propia.

2.2.1. Caracterización de los casos de estudio

Bao *et al.* (2016) y Dronova *et al.* (2018) señalaron que la distribución de los espacios verdes dentro del paisaje influye en su efecto de mitigación de temperaturas. Asimismo, Dronova *et al.* (2018), Yao *et al.* (2020) y Jiang *et al.* (2021) observaron que las diferencias en el diseño y uso de los espacios verdes también pueden impactar en su capacidad para regular la temperatura. En consecuencia, la caracterización de los casos de estudio se realizó a escalas espaciales regional, local y microlocal.

2.2.1.1. LST de EVP costeros: su distribución en biotopos del AMN

A nivel regional, los EVP costeros se caracterizaron según su distribución relativa en los biotopos abarcados en el AMN. Cada biotopo se calificó en virtud de su comportamiento térmico en base a la distribución de la LST en el AMN durante las estaciones de verano e invierno de los años 2001 y 2021. Se utilizó un mapa de biotopos, a escala 1:100.000, desarrollado por el Laboratorio de Ecología de Bordes (LEB) de la Universidad de Flores (Datri *et al.*, 2023).

2.2.1.2. Caracterización morfológica, funcional y social de los EVP costeros

Con base en investigaciones previas, se realizó una síntesis de hallazgos propios centrada en el abordaje de 6 dimensiones de análisis de los EVP costeros en el frente fluvial del río Limay. Se abordaron factores morfológicos, como ubicación, extensión y geomorfología fluvial, y funcionales y sociales como gestión y organización interna, tipología en función del Espectro de Oportunidades

Recreativas ([ROS], Clark y Stankey, 1979) y niveles de artificialización (Lopez y Gentili, 2020, 2021, 2022a). Específicamente, se amplió el análisis de la dimensión de organización interna en función del Índice de Forma de Paisaje [IFP] (Ecuación 1), que indica la complejidad de la forma del EVP.

$$IFP = (0,25 * P) / (A^{(1/2)}) \quad (1)$$

Expresión matemática para la obtención del índice de forma del paisaje, donde P es el perímetro y A el área del EVP.

2.2.1.3. Distribución espacio-temporal de NDVI en cada EVP costero

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, según sus siglas en inglés) es ampliamente utilizado para la evaluación dinámica de cambios patrones del paisaje durante períodos específicos de tiempo (Li *et al.*, 2017). Es un indicador de biomasa fotosintéticamente activa, que permite determinar las formas de agrupación de la vegetación en el espacio, así como cuantificar su densidad (Kim *et al.*, 2017). Los valores del NDVI oscilan entre -1 y 1, reflejando desde la ausencia de vegetación hasta áreas vegetadas más saludables y densas (Santana Rodríguez *et al.*, 2010). En este estudio, el índice se calculó a partir de la Ecuación 2.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (2)$$

Expresión matemática para la obtención del índice NDVI, donde NIR corresponde a la luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano y Red a la luz reflejada en el rango rojo del espectro visible.

2.2.1.3. Distribución espacio-temporal de la LST en cada EVP costero

La LST es un parámetro significativo en los estudios del ambiente térmico urbano, ya que ejerce un impacto directo en la temperatura del aire en la capa atmosférica inmediatamente superior a la superficie terrestre. Está intrínsecamente ligado a la radiación superficial y el intercambio de energía, y mantiene una estrecha correspondencia con la distribución de coberturas de suelo y sus propiedades físicas (Weng, 2009). Para obtener la LST, se emplearon imágenes satelitales de Landsat Nivel 2, que incluyen productos de temperatura superficial. El índice se obtuvo según lo descrito por la Guía de Productos Científicos de Nivel 2 (Ecuación 3).

$$LST = (Banda\ térmica * 0,00341802 + 149,0) - 273,15 \quad (3)$$

Dado que existe una relación funcional entre la estructura y funciones ecológicas de una unidad espacial proveedora de SE y el nivel de provisión de un servicio (Daily *et al.* 2009), la elección de las imágenes satelitales se realizó con la intención de capturar una serie de controles que operan en distintas escalas temporales y espaciales. En primer lugar, se consideró la elección de imágenes que plasmaran los cambios en la configuración espacial de los EVP

costeros asociados a los procesos de regeneración urbana del frente fluvial del río Limay. Según la reconstrucción histórica de la gestión del frente fluvial elaborada por Lopez y Roca (2024), se identificaron dos fases principales en su modernización: la consolidación del Plan Maestro de renovación entre 1999 y 2006, y su concreción desde 2006 hasta la actualidad.

En segundo lugar, dado que la dinámica del área ribereña donde se localizan los casos de estudio está regulada principalmente por la dinámica hidrológica del río Limay, se seleccionó un año hidrológico húmedo y uno seco. Para tal fin se realizó un análisis estadístico descriptivo de las alturas del río Limay, en su condición regulada, en la estación de aforo Balsa Las Perlas desde el año 1971 hasta el año 2021 (Secretaría Nacional de Infraestructura y Política Hídrica, 2023). Para el período abordado, se halló un período hidrológico húmedo entre 2001 y 2007 (altura anual promedio del río Limay superó la media histórica) y seco entre 2008 y 2021 (altura anual promedio del río Limay fue inferior a la media histórica). Para cada uno, se seleccionó un año en el que la altura superó el percentil 90 (2001) y un año en la que la misma fue inferior al percentil 10 (2021). A su vez, se consideró como tercer criterio la variabilidad estacional en función de los ciclos fenológicos de la vegetación. Se realizó la búsqueda, selección y obtención de imágenes satelitales representativas de las estaciones extremas del año (verano e invierno), priorizando la selección de imágenes correspondientes a los meses centrales de cada estación meteorológica.

Se utilizaron imágenes de los satélites Landsat 7 (ETM+) y 8 (OLI/TRS), Colección 2, Nivel 2 (C2 L2) obtenidas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), correspondientes a las estaciones estival e invernal de los años 2001 y 2021 (Tabla 1). Los productos de Landsat Nivel 2 incorporan calibración radiométrica y corrección atmosférica. Las bandas espectrales se proporcionan como reflectancia superficial, y a su vez incluyen productos de temperatura superficial. Todos los productos poseen una resolución espacial de 30 metros.

Tabla 1. Imágenes satelitales seleccionadas

<i>Fecha</i>	<i>Satélite (Sensor)</i>
24 de enero de 2001	LANDSAT 7 (ETM+)
1 de junio de 2001	LANDSAT 7 (ETM+)
23 de enero de 2021	LANDSAT 8-9 (OLI/TRS)
2 de julio de 2021	LANDSAT 8-9 (OLI/TRS)

Fuente: elaboración propia.

El procesamiento de las imágenes satelitales, que integró la generación de máscaras de recorte y la obtención de los índices, se realizó en el software QGIS. Posteriormente, se elaboraron mapas temáticos por cada índice y para cada espacio verde en estudio en las temporadas en análisis. Seguidamente, se realizó su interpretación visual cualitativa. Ésta se complementó con imágenes satelitales históricas de alta resolución obtenidas del software Google Earth Pro de los años 2003 y 2021, en función de la disponibilidad.

A su vez, para cada índice, se restaron las imágenes ráster de los años 2021 y 2001, y se representaron tasas de cambios de NDVI y LST. Además, se extrajeron los valores de los puntos centroides de cada píxel para todos los índices obtenidos, y se calcularon y representaron gráficamente medidas de tendencias centrales y cuartiles mediante el software estadístico InfoStat.

Finalmente, se determinó un transecto por espacio verde, en función de su forma y ubicación relativa al cauce del río Limay. Los transectos se utilizaron para examinar relaciones entre la variabilidad espacial de LST con los niveles de NDVI y con la distancia al río Limay.

3. Resultados

3.1. El biotopo: factor en la distribución térmica de los EVP costeros del AMN

Los EVP costeros del frente fluvial del río Limay se ubican en el biotopo Ribereño. La Figura 3 revela que los biotopos Ribereño y de Oasis concentraron los menores valores de LST en el AMN durante ambas estaciones estivales en análisis. A su vez, disperso entre estos biotopos y el área urbana, se encuentra el Monte Arbustivo. Ese último presenta temperaturas elevadas similares a las del sector norte y noroeste del AMN, donde se distribuyen los biotopos de Meseta y Escarpa. En contraste, durante la estación invernal, las menores temperaturas superficiales se registraron en el sector Urbano. Los biotopos Ribereño, Meseta y Escarpa, por otro lado, presentaron valores de LST más similares en este período. Por otra parte, durante la temporada estival de 2021, la LST mostró valores mínimos y máximos más altos respecto al año 2001. Además, se observó una expansión de las áreas con niveles elevados de LST en el AMN.

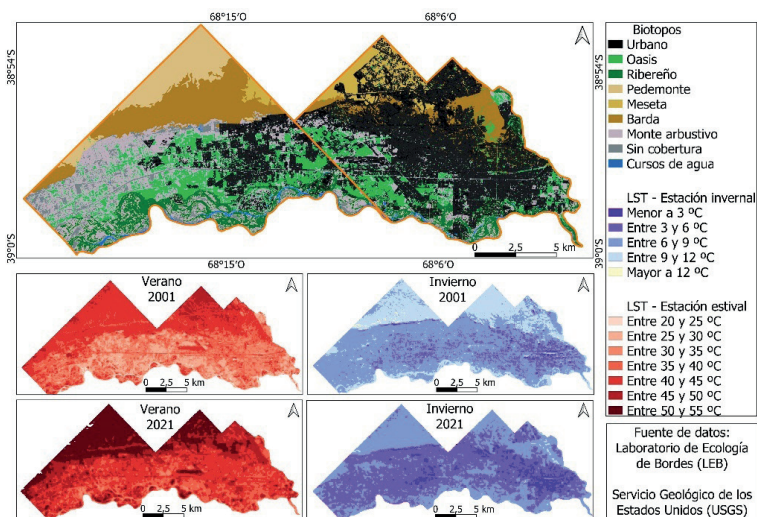


Figura 3. Biotopos y distribución de la LST durante estaciones estivales e invernales de los años 2001 y 2021 en el AMN.

Fuente: elaboración propia.

3.2. Características morfológicas, funcionales y sociales de los EVP costeros

Los EVP costeros del frente fluvial del río Limay abordados son paisajísticamente diversos y presentan múltiples patrones que combinan elementos ecológicos naturales como envolventes artificiales. En la Tabla 2 se describen las características principales de cada uno de ellos, en torno a su ubicación, extensión, organización interna, aspectos asociados a la geomorfología fluvial, tipología y artificialización.

Los casos de estudio exhiben divergencias en su extensión y forma. A excepción de PC, que es una isla rodeada por un brazo del río Limay, los demás EVP costeros están ubicados en bordes urbanos y se disponen linealmente a lo largo del curso de agua. Tres de ellos, PC, V y LH, se encuentran sobre el brazo principal del río Limay, mientras que SC y NH sobre brazos secundarios más estrechos.

En cuanto a sus tipologías, se clasificó a PC y SC como EVP modernos, a V como semi-moderno, mientras que LH y NH como semi-agrestes. El factor que presenta mayores diferencias entre los casos de estudio es el nivel de artificialización. Por ejemplo, PC, un EVP moderno, ofrece una diversidad de usos del suelo, incluyendo un parque natural, una rambla pavimentada, áreas de estacionamiento e infraestructuras residenciales, comerciales e institucionales. En contraste, los otros espacios verdes están destinados exclusivamente a actividades recreativas y deportivas. Sin embargo, SC, a diferencia de las otras unidades de análisis, muestra un alto grado de artificialización, extenso y moderadamente complejo, lo que también lo clasifica como moderno. Por otro lado, los EVP ubicados en la ciudad de Neuquén —PC, SC y V— se caracterizan por un mayor ajardinamiento urbano en comparación con los de Plottier —NH y LH—, donde predomina la forestación naturalizada. Estos últimos dos se clasifican como semi-agrestes, mientras que V, con un nivel de artificialización moderado, se considera semi-moderno.

Tabla 2. Características de las unidades de análisis

	<i>Neuquén</i>			<i>Plottier</i>	
	<i>PC</i>	<i>SC</i>	<i>V</i>	<i>LH</i>	<i>NH</i>
<i>Ubicación</i>					
Latitud (S)	38°58'41"	38°59'11"	38°58'56,9"	38°58'6,86"	38°57'57,41"
Longitud (O)	68°3'3"	68°4'24"	68°8'0,8"	68°11'15,47"	68°12'46,55"
Altitud (msnm)	261	263	267	270	287
<i>Extensión</i>					
Superficie total (km ²)	0,50	0,11	0,07	0,13	0,06
Longitud costera (km)	2,84	1,26	0,71	1,96	0,43
Perímetro (km)	2,96	2,86	1,69	2,1	1,1

Continuación Tabla 2

	Neuquén			Plottier	
	PC	SC	V	LH	NH
<i>Organización interna</i>					
Forma	Nuclear	Lineal	Lineal	Lineal	Nuclear
Índice forma de paisaje	1,1	2,2	1,5	1,4	1,2
<i>Geomorfología fluvial</i>					
Elemento geomorfológico	Isla	Llanura de inundación	Llanura de inundación	Llanura de inundación	Llanura de inundación
Ubicación relativa a cauce	Canal principal	Canal secundario	Canal principal	Canal principal	Canal secundario
Ancho de canal (m)	150	45	210	170	60
<i>Caracterización de Espacio Verde</i>					
Tipología (ROS)	Moderno	Moderno	Semi-moderno	Semi-agreste	Semi-agreste
<i>Artificialización</i>					
Extensión modificaciones	Muy extenso	Muy extenso	Moderado	Aisladas	Aisladas
Apariencia de cambios	Evidente	Evidente	Moderado	Mínimo	Mínimo
Complejidad	Muy complejo	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada

Fuente: elaboración propia sobre la base de los trabajos de Lopez y Gentili (2020, 2021, 2022a) y trabajo en campo y gabinete.

3.3. Distribución espacio-temporal de NDVI en los EVP costeros

En las Figuras 4a y 4b se exhibe la distribución espacio-temporal del índice NDVI en los cinco casos de estudio durante estaciones estivales de los años 2001 y 2021. De manera generalizada, se evidencia un aumento de áreas con valores crecientes de NDVI en los espacios verdes PC, SC, V y LH entre los años 2001 y 2021 (Figuras 4c y 4d). Específicamente, en el PC, el análisis multitemporal reveló un incremento de valores de NDVI por encima de 0,2 (0,3) en un 7,8 % (2,9 %) de su superficie. Sin embargo, se evidenció una disminución del NDVI a valores inferiores a 0,1 en un 4,8 % de la superficie. Por su parte, en SC se observó un incremento en el NDVI, alcanzando valores de hasta 0,2 en un 29 % del área, y de hasta 0,4 en un 6 % del espacio verde. En V, un 10,8 % del área alcanzó valores de NDVI de hasta 0,2 y un 5,8 % de hasta 0,3. El caso de LH exhibió un incremento de valores de NDVI por encima de 0,2 en 15,8 % del espacio y de 0,3 en un 21,8 % del área. Finalmente, NH mostró una reducción del área sujeta a valores superiores a 0,2 de NDVI en un 8,7 % de su superficie, especialmente afectando a píxeles que en 2001 tenían valores superiores a 0,3.

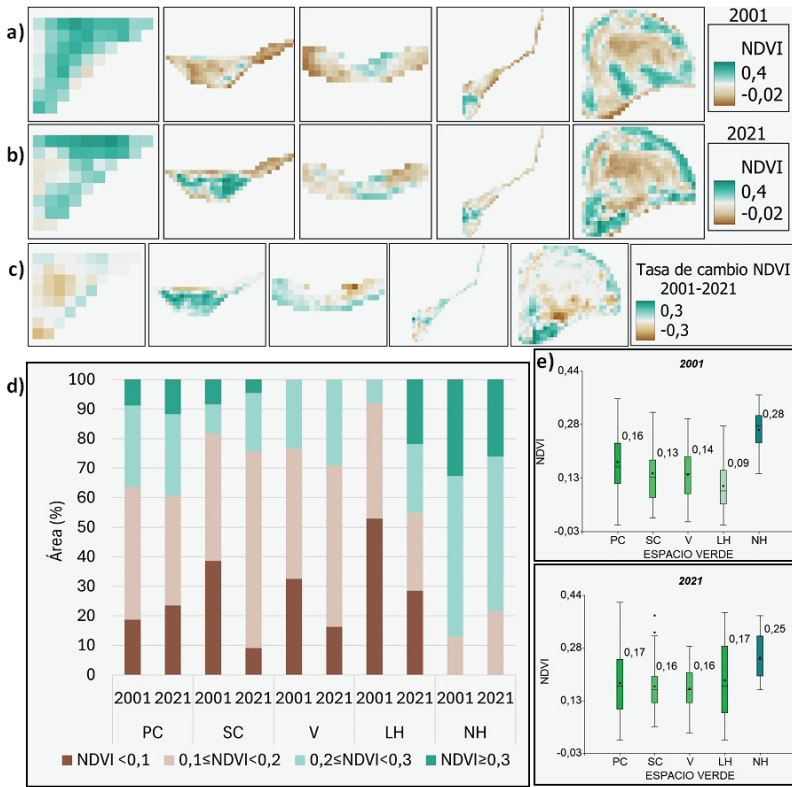


Figura 4. Distribución espacial de índice NDVI en EVP durante estaciones estivales del año 2001 (a) y 2021 (b); Tasa de cambio de NDVI en el espacio (c) y análisis multitemporal de superficie sujeta a variación de NDVI (d); Diagrama de caja de NDVI durante veranos de años 2001 y 2021 (e).

Fuente: elaboración propia.

La interpretación de los mapas de distribución espacio-temporal del índice NDVI se complementaron con las imágenes satelitales de alta resolución de la Figura 5. Por un lado, la disminución de las frecuencias y magnitudes de pulsos de crecidas del río Limay durante la última década, permitió la colonización de vegetación riparia. Esto se correlacionó con incremento en los valores de NDVI en los bordes costeros, y puntualmente en LH donde entre 2001 y 2021 disminuyó el número y tamaño de lagunas, implicando cambios en los valores de reflectancia.

En segundo lugar, el incremento de superficies sujetas a valores crecientes de NDVI en la mayoría de los espacios costeros también respondió a la intervención humana, debido a la introducción de vegetación en torno a los proyectos de renovación del frente fluvial. Por su parte, en PC y NH también se halló superficie con disminución de los valores de NDVI. En función del aprovechamiento

social de los espacios costeros, los cambios en los usos del suelo se asociaron en NH a desmonte e instalación de infraestructura recreativa, y en PC a la modernización del frente fluvial con cambios de usos de suelo asociados a la construcción de rambla impermeable, estacionamientos, infraestructuras edilicias administrativas, culturales, comerciales y residenciales.

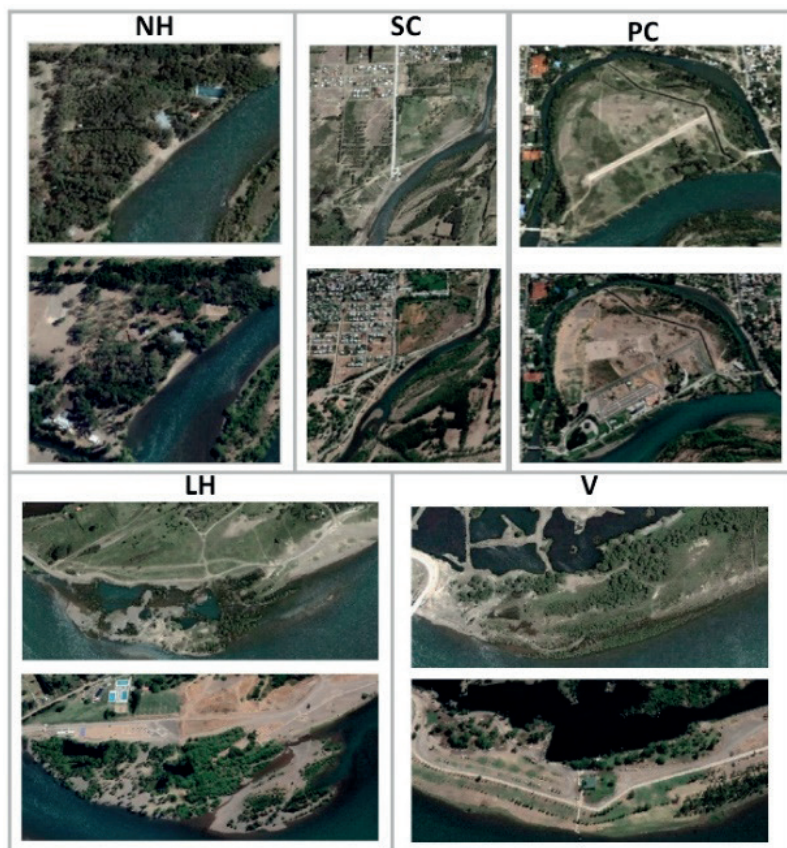


Figura 5. Imágenes satelitales de cada EVP durante estaciones estivales de los años 2003 (imagen superior) y 2021 (imagen inferior).

Fuente: imágenes obtenidas de software Google Earth Pro.

En los cinco casos de estudio, el índice NDVI mostró una marcada estacionalidad para ambos años hidrológicos abordados. En contraste con los veranos, durante las estaciones invernales los valores medios de NDVI fueron considerablemente menores en todos los espacios verdes (Figuras 6a y 6b). No obstante, independientemente del año y la estación, NH se caracterizó por valores medios de NDVI superiores a los restantes sitios. A su vez, los diagramas de caja de ambas estaciones se encuentran desplazados hacia el margen superior del eje de ordenadas en el año 2021, lo que evidencia un

incremento del NDVI en los cinco espacios verdes costeros (Figuras 4e y 6d). Las diferencias entre los valores medios de NDVI por espacio costero entre 2001 y 2021 fueron superiores en el invierno. La tasa de cambio de NDVI entre los períodos invernales abordados fue positiva en el 59 %, 56 %, 70 %, 34 %, 24 % de la superficie del PC, SC, V, LH y NH (Figura 6c).

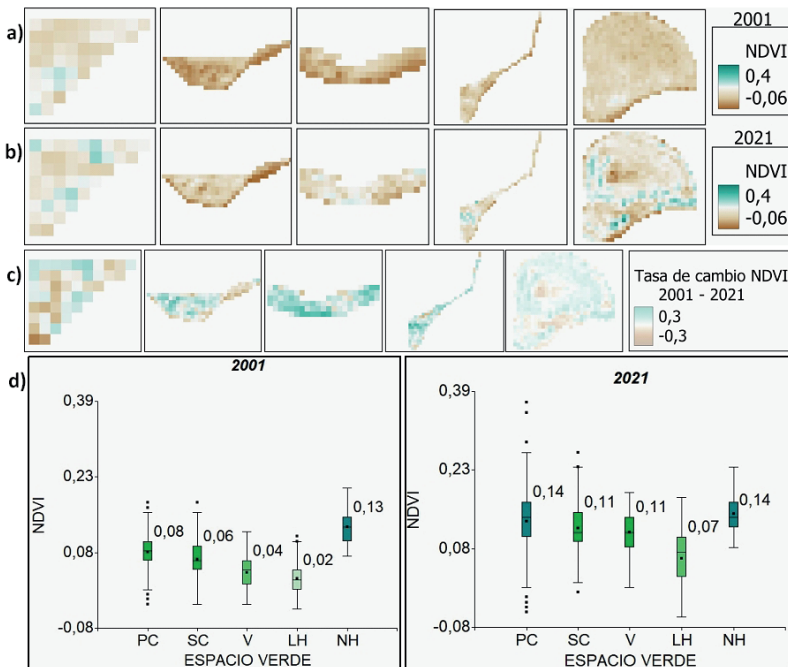


Figura 6. Distribución espacial de índice NDVI en EVP durante estaciones invernales del año 2001 (a) y 2021 (b); Tasa de cambio de NDVI en el espacio (c); Diagrama de caja de NDVI durante inviernos de años 2001 y 2021 (d).

Fuente: elaboración propia.

3.4 Distribución espacio-temporal de la LST en los EVP costeros

A nivel térmico, también se halló alta variabilidad espacio-temporal en y entre los espacios verdes costeros. En la Figura 7a se observa que, durante la estación estival del año 2001, PC y SC exhibieron los valores medios de LST más elevados, superando en al menos 3,5° C a las LST medias de los restantes sitios en estudio. El rango térmico fue mayor en PC y LH, no obstante, el primero exhibió una heterogeneidad espacial superior. En contraposición, NH resultó ser el menos disperso, y a su vez el que asumió el menor valor de LST medio.

Durante el verano de 2021, los hallazgos evidenciaron un incremento en los valores de LST mínimos (LSTmin), medios (LSTmed) y máximos (LSTmax) en todos los espacios verdes respecto a la estación estival de 2001 (Figura 7b). PC y SC fueron los espacios verdes con temperaturas superficiales medias superiores. A su vez, en ambos años, LSTmax tomó valores superiores en PC.

Las LSTmed de todos los espacios verdes en 2021 superaron en al menos 4,9° C las LSTmed de 2001, con una diferencia promedio de 6,7° C, y un incremento máximo de 9,9° C en NH. En el diagrama de caja del año 2021, los valores de LST se distribuyeron con una asimetría negativa tanto en PC como en SC, es decir con una distribución de datos que tienden hacia valores mayores a la media, y positiva en V, LH y NH (Figura 7c). Además, la amplitud térmica superficial también exhibió un incremento de rangos y distribución espacial en todos los sitios abordados.

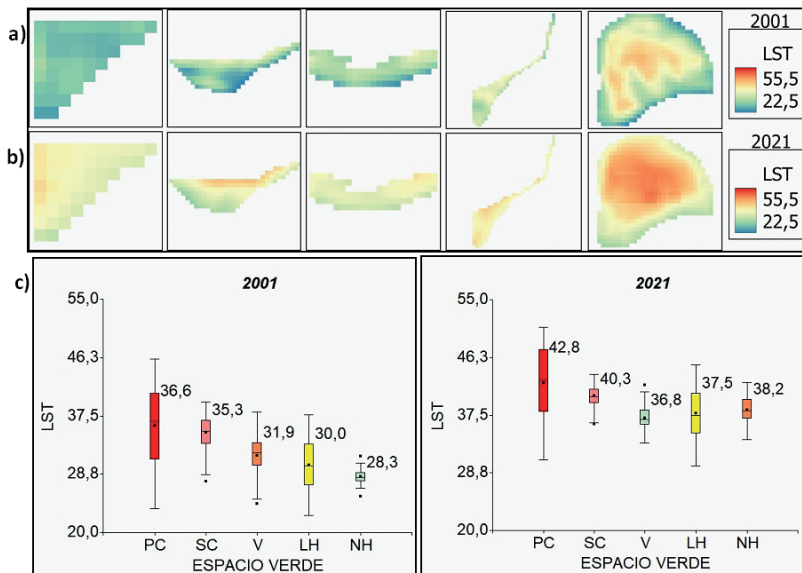


Figura 7. Distribución espacial de índice LST en EVP durante estaciones estivales del año 2001 (a) y 2021 (b); Diagrama de caja de LST durante veranos de años 2001 y 2021 (c). Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, durante la estación invernal de 2001, la LST media alcanzó mayores valores en LH y V (Figura 8a). Los otros tres espacios verdes presentaron una mayor heterogeneidad espacial en términos de distribución térmica. Se halló una tendencia a agrupación de valores elevados de LST en extremos de los espacios verdes, próximos al curso de agua. Es importante destacar que en el año 2001 el nivel del río Limay superó la línea de ribera estipulada por la autoridad de aplicación (Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas Limay, Neuquén y Negro, -AIC-). El río alcanzó su cota máxima durante la estación estival. Se infiere, por tanto, que las LST más elevadas, en proximidades del río, se asocian a presencia de agua. Además, LH y V se caracterizan por la formación de pequeños cuerpos de agua al incrementar el caudal del río. Por su parte, PC es atravesado por el arroyo Durán con dirección nor-noroeste a sur-sureste. En lo que respecta a la estación invernal del año 2021, la Figura 8b exhibe que los valores medios de la LST en todos los espacios costeros fueron inferiores a las

de la estación estival del año 2001. En esta temporada, fueron PC y SC los que exhibieron mayores valores medios de LST (Figura 8c).

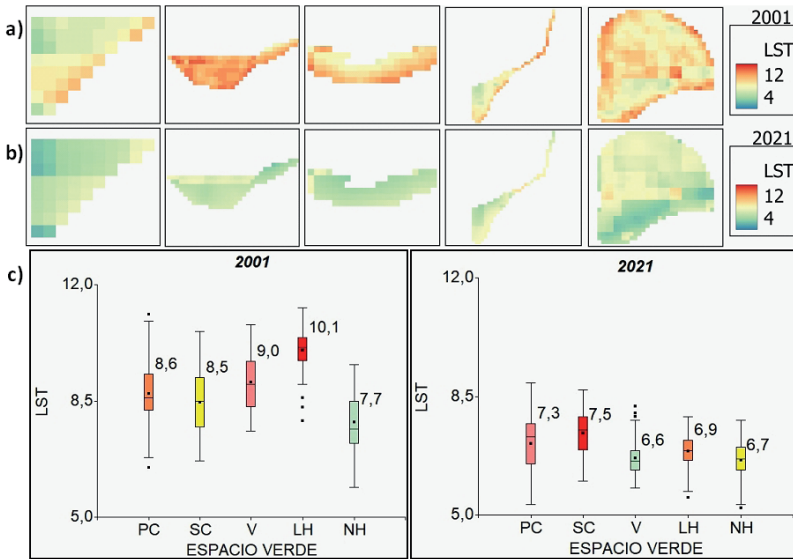


Figura 8. Distribución espacial de índice LST en EVP durante estaciones invernales del año 2001 (a) y 2021 (b); Diagrama de caja de LST durante inviernos de años 2001 y 2021 (c).

Fuente: elaboración propia.

3.5 Relaciones entre índices LST – NDVI en los EVP costeros

En términos generales, en los sitios de estudio se halló una relación inversa entre el NDVI y la distribución de los valores de LST durante la estación estival (Figura 9a). En la transecta de PC este comportamiento se observó en la estación estival de 2001 y de 2021. A su vez, los valores de NDVI (LST) disminuyeron (incrementaron) con la distancia tanto al cauce principal como secundario del río Limay, es decir, hacia el centro de la isla. Por su parte, en SC, LH y NH, la relación inversa entre los índices se evidenció en el año 2001, mientras que en el año 2021 la LST se incrementó a lo largo de las transectas independientemente de la variabilidad de los niveles de NDVI. En todos los casos la temperatura superficial se incrementó con la distancia al río Limay. Por último, en V, no se observó una relación entre la variabilidad de ambos índices.

Durante los inviernos, se encontró una relación inversa entre los índices LST y NDVI en todos los espacios verdes abordados, salvo en SC donde la variabilidad de la LST en el espacio fue pequeña tanto en el año 2001 como 2021 y no sugiere tener relación con la variabilidad de los niveles de vegetación (Figura 9b). En V la correlación inversa entre índices se evidenció con mayor linealidad

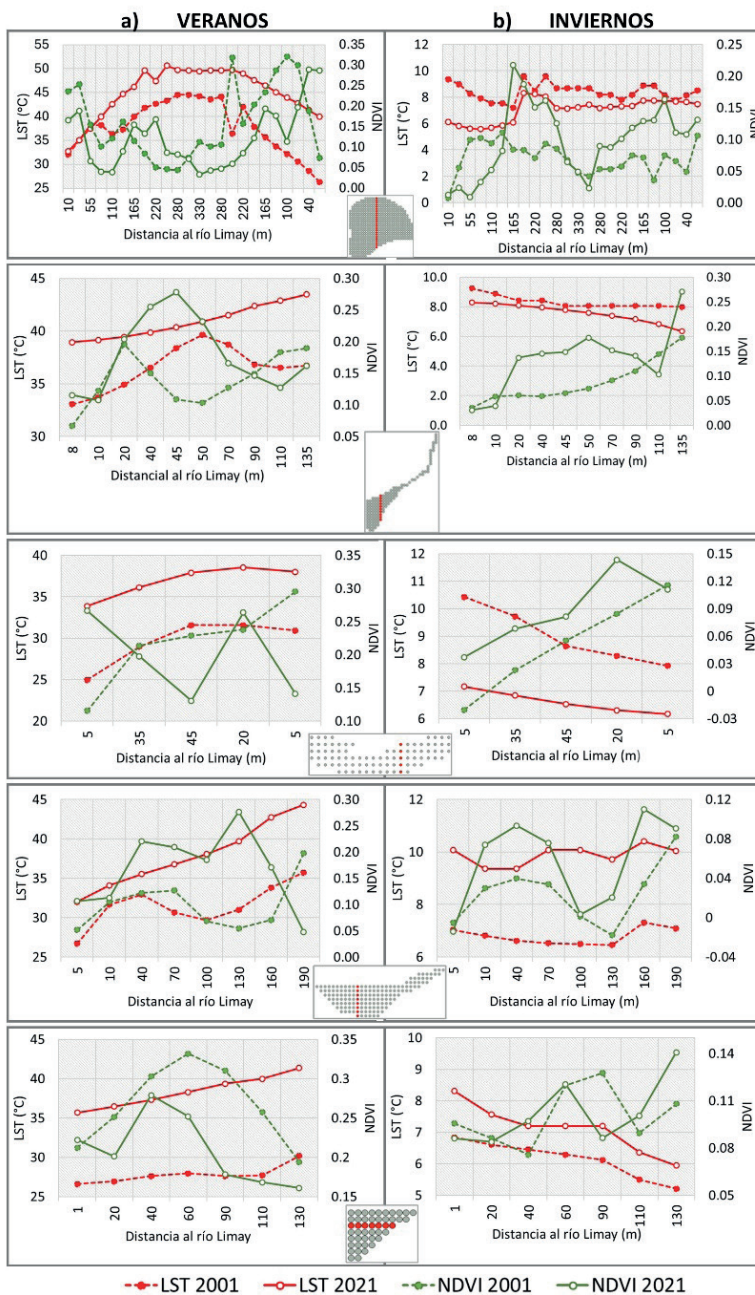


Figura 9. Variabilidad de LST y NDVI en transectas de EVP durante veranos (a) e inviernos (b) de los años 2001 y 2021.

Fuente: elaboración propia.

que en PC, LH y NH. A diferencia de las estaciones estivales, la variabilidad de LST fue menor a lo largo de las transectas en todos los espacios verdes. A su vez, particularmente en NH, V y SC se observaron valores decrecientes de la LST con la distancia al río Limay.

En este sentido, las relaciones entre LST y NDVI fueron variables según espacio verde y estación del año. Además, se halló influencia de la morfología, tamaño y distancia al curso de agua en la distribución térmica.

Al analizar la tasa de cambio de LST en los espacios verdes durante la estación estival (Figura 10a), se observaron tres tendencias. En primer lugar, se halló una tasa de incremento de LST en sectores sujetos a reducción de NDVI. No obstante, también se encontró incremento de LST en sectores asociados a colonización vegetal, principalmente en los espacios costeros LH, V y PC. Por su distribución espacial, en proximidades de orillas del río Limay y en sectores deprimidos, se estima que tales sectores en el año 2001 estaban cubiertos de agua, con lo cual a pesar que se observa un incremento en el NDVI, los valores de LST también se vieron incrementados en importante magnitud. Por último, una tercera tendencia, hallada exclusivamente en PC, mostró una tasa de cambio negativa de LST, es decir, la disminución de los valores de temperatura superficial en un área caracterizada por incremento de valores de NDVI (Figura 10b).

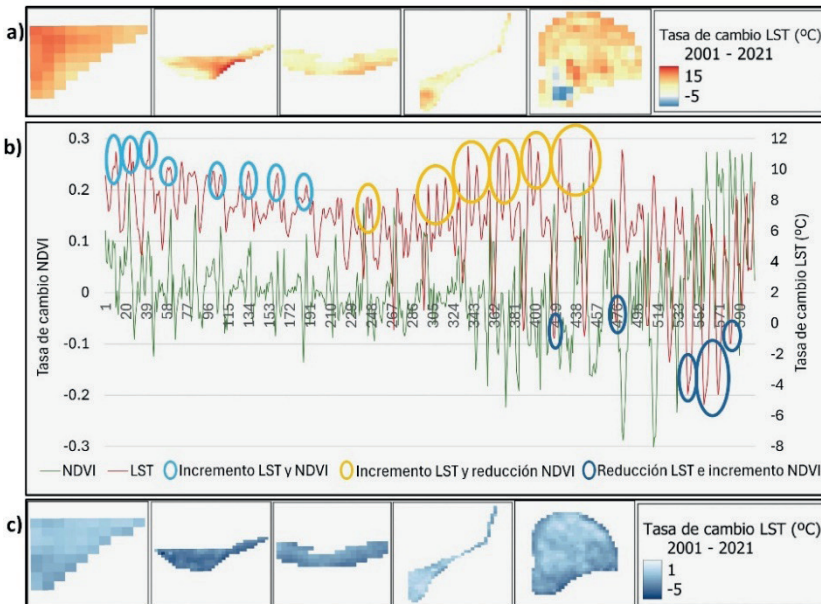


Figura 10. Tasa de cambio de LST en el espacio durante estación estival (a) Tendencias de cambio de LST y NDVI entre 2001 y 2021 durante estación estival en el sitio PC (b); Tasa de cambio de LST en el espacio durante estación invernal (c).

Fuente: elaboración propia.

Durante la estación invernal, la tasa de cambio de LST exhibió una disminución de los valores del índice en todos los espacios verdes (Figura 10c). En PC y SC, los sectores de mayor magnitud de cambio coinciden con áreas intervenidas, asociadas a infraestructuras edilicias, así como espacios de estacionamientos pavimentados. Por su parte, en LH y V, los sectores con mayor disminución de LST concuerdan con áreas que en el año 2001 poseían agua en superficie.

4. Discusión

El análisis multitemporal exhibió LST superiores durante la estación estival de 2021 en comparación al verano 2001. Eso coincide con las tendencias de incremento de temperaturas halladas por Lopez y Gentili (2022b) y Lopez *et al.* (2022) para la región durante las últimas dos décadas. A su vez, en lo que respecta a los veranos, en el AMN se observó un incremento de la superficie sujeta a valores más elevados de LST entre los años 2001 y 2021. Durante las estaciones invernales se observó un fenómeno opuesto. Estos hallazgos coinciden con un crecimiento de la superficie urbana en detrimento de las áreas de oasis y ribereñas (Lanfranchi *et al.*, 2018).

En lo que respecta a la distribución térmica en el AMN, lo hallado concuerda con lo expuesto por Datri *et al.* (2018) y Lopez y Gentili (2024), que evidenciaron para la ciudad de Neuquén que las áreas ribereñas son marcadamente más frescas durante el verano que su entorno urbano, mientras que en invierno la tendencia se invierte. A su vez, esto ajusta al efecto oasis en regiones áridas, de carácter dual en tanto da lugar a enfriamiento de oasis durante veranos, así como calentamiento de oasis durante los inviernos (Bie *et al.*, 2019).

En el caso de los espacios verdes públicos costeros del frente fluvial del río Limay abordados, a pesar de que todos se asientan sobre áreas de oasis y ribereñas, se observaron diferencias entre ellos en relación con los valores de LST y NDVI. Diversos autores señalan que las diferencias de diseño y uso de los espacios verdes pueden afectar sus desempeños térmicos (Dronova *et al.*, 2018). Además, aunque la mayoría de los estudios se han centrado en el análisis de las propiedades térmicas de los parques urbanos durante las estaciones estivales, la estacionalidad puede afectar su comportamiento, lo cual está relacionado con la fenología de la vegetación (Dronova *et al.*, 2018). Se identificaron variaciones en los valores de NDVI y de LST, vinculadas tanto al tipo de año hidrológico, así como a las estaciones estivales e invernales. A su vez, ligado a controles asociados a factores sociales, se detectaron cambios en patrones del paisaje entre los años 2001 y 2021 vinculados a procesos de regeneración urbana del frente fluvial del río Limay.

Específicamente asociado a espacios verdes costeros durante estaciones estivales, Jiang *et al.* (2018) destacaron que la atenuación de la LST está estrechamente relacionada con la distancia al curso de agua. Tal cuestión se observó en los espacios verdes costeros abordados, donde los valores de LST se incrementaron con la distancia al río Limay. Sin embargo, en SC se hallaron valores de LST elevados en las áreas de borde, a pesar de la corta distancia al

curso de agua. Respecto a ello, Dronova *et al.* (2018) enfatizaron la influencia significativa del entorno circundante en el comportamiento térmico de los espacios verdes. En el caso de SC, es un EVP angosto y, que, en contraste con las restantes unidades de análisis, el entorno circundante se caracteriza por una densa infraestructura edilicia urbana. A su vez, durante la estación estival del año hidrológico húmedo, albedos relativamente bajos asociados a la presencia de agua, se correspondían con valores bajos de LST. Por otro lado, en el año 2021, se observaron cambios en algunos espacios que en 2001 estaban cubiertos de agua y que luego fueron colonizados por vegetación, lo que resultó en un aumento de sus valores de LST.

En torno a las características morfológicas, Jiang *et al.* (2021, 2022) concluyeron que, durante los veranos, los espacios verdes costeros con áreas grandes, alta cobertura vegetal y fuerte grado de conectividad tienen un efecto de enfriamiento más pronunciado. En relación con el tamaño, los autores señalaron que la influencia del área es no lineal y existen valores umbrales. En consonancia con estos resultados, en este estudio se encontró que el espacio verde de mayor extensión, PC, también presentaba LST promedio más elevada, mientras que espacios más reducidos como NH o V exhiben LST promedio más bajo. Este patrón se relaciona también con lo planteado tanto por Dronova *et al.* (2018) así como por Jiang *et al.* (2021, 2022), quienes señalaron que la variable con impacto más significativo en el LST es la vegetación, con una correlación espacial negativa, tal como se pudo observar en los espacios verdes a lo largo del frente fluvial del río Limay. En el caso de PC, espacio verde más extenso, al tener áreas significativas con una baja densidad de vegetación, la LST promedio resultó más elevada que en el resto de los espacios verdes.

Además, Brown *et al.* (2015) y Hwang *et al.* (2015) señalaron que césped y pastizales impactan negativamente en la formación de islas frescas de espacios verdes, en contraste con el dosel arbóreo. En consecuencia, los autores sostienen que en algunos casos es más importante el efecto de la sombra que la cobertura vegetal total. Por su parte, Jiang *et al.* (2018) concluyeron que los frentes fluviales con vegetación exhiben temperaturas más bajas que aquellos sin vegetación. En esa línea, en el presente trabajo, se observaron contrastes en la distribución de la LST entre espacios verdes, por ejemplo, entre LH y V, dominados por pastizales, en comparación con NH, donde predominó el dosel arbóreo. También se observó una tendencia similar dentro de los espacios verdes, donde la distribución interna de la LST se relacionó con la variabilidad en la distribución de NDVI, como se pudo apreciar en la mayoría de los EVP, con excepción de V durante la estación estival.

Finalmente, los espacios verdes de complejidad elevada, como SC y PC de tipología moderna, exhibieron los mayores valores de LST medios. En este sentido, Vásquez (2016) señaló que el rol del río como regulador térmico está estrechamente vinculado a la magnitud de intervención de las riberas. No obstante, el autor también subrayó que los patrones espaciales y termales responden a fenómenos altamente complejos. En concordancia con esa perspectiva, los hallazgos de este estudio permiten inferir que los espacios

verdes costeros experimentan variaciones en la distribución de la LST debido a diversas características espaciales, como extensión, forma, proximidad al curso de agua, organización interna, configuración de usos de suelo y características del entorno circundante.

5. Conclusiones

En el contexto global de Cambio Climático, los enfoques asociados a Soluciones basadas en la Naturaleza han ganado relevancia. En este marco, las IVyA representan oportunidades para la acción climática, así como para la adaptación y resiliencia urbana, debido a su capacidad para brindar SEs. Sin embargo, los SEs están directamente relacionados con la composición y configuración de los elementos del paisaje. Por lo tanto, aunque una unidad de paisaje pueda estar asociada con varios SEs potenciales, los SEs finales dependen en gran medida de las decisiones de ordenamiento, planificación y gestión del paisaje.

Por esta razón, no basta simplemente con aumentar la densidad de espacios verdes en las ciudades, también es fundamental establecer relaciones sinérgicas entre las características morfológicas, funcionales y sociales de las IVyA para potenciar sus SEs. En esta línea, el objetivo de este trabajo fue analizar la variabilidad espacio-temporal de la LST entre diferentes tipologías de EVP costeros del frente fluvial del río Limay en el AMN y su relación con parámetros morfológicos y funcionales que los definen. El enfoque analítico geoespacial adoptado permitió mapear y trazar relaciones entre los índices LST y NDVI y otros aspectos morfológicos, funcionales y sociales de cinco EVP costeros que se encuentran en el frente fluvial del río Limay en el AMN.

Los resultados obtenidos evidencian que los sitios de estudio, ubicados sobre el biotopo Ribereño del AMN, fueron marcadamente más frescos (cálidos) durante los veranos (inviernos) que su entorno urbano. No obstante, se evidenció que la distribución térmica en los EVP costeros está influenciada por los niveles de vegetación y la estructura vegetal, su organización interna y entorno circundante, morfología y distancia al curso de agua. A su vez, los cambios en la composición y configuración de los EVP costeros entre 2001 y 2021, asociados principalmente a procesos de regeneración urbana y renovación del frente fluvial, se reflejaron en cambios en la distribución espacial de la LST.

Los hallazgos de este trabajo representan una contribución significativa al cuerpo emergente de conocimiento académico en torno a la vinculación entre servicios ecosistémicos y la composición y configuración del paisaje. Específicamente, en un contexto global de creciente revalorización de frentes fluviales, se evidencia la relevancia de diseñar estos espacios considerando no sólo sus funciones sociales y culturales, sino también su potencial para ofrecer un paquete amplio de servicios ecosistémicos. Este enfoque integral es fundamental para una gestión sostenible del paisaje, ya que permite optimizar la contribución de estos entornos a la calidad de vida humana, al tiempo que se preserva y promueve la salud de los ecosistemas naturales que los componen.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Ecología de Bordes (LEB) de la Universidad de Flores por proveer datos espaciales para la realización de esta investigación.

Bibliografía

- Albaladejo-García, J. A.; Alcon, F. & Martínez-Paz, J. M. (2021). El regadío y su influencia en la regulación local de temperaturas en superficie en la citricultura mediterránea. *Revista Geográfica Norte Grande*, 79, 123-137.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022021000200123>
- Bao, T.; Li, X.; Zhang, J.; Zhang, Y., & Tian, S. (2016). Assessing the Distribution of Urban Green Spaces and its Anisotropic Cooling Distance on Urban Heat Island Pattern in Baotou, China. *Int. J. Geo-Inf.*, 5(2), 12. <https://doi.org/10.3390/ijgi5020012>
- Bie, Q.; Xie, Y.; Wang, X.; Wei, B.; He, L.; Duan, H. & Wang, J. (2019). Understanding the attributes of the dual oasis effect in an arid region using remote sensing and observational data. *Ecosystem health and sustainability*, 6(1), 1-13.
<https://doi.org/10.1080/20964129.2019.1696153>
- Boyero, L.; Datri, L.; Lopez, M.; Rodriguez Morata, C.; Robertazzi, M.; Lopez, H., ..., Matteucci, S. (2021). Urban planning in arid Northern Patagonia cities to maximize local ecosystem services provision. En Peri, P. L.; Martínez Pastur, G. & Inostroza, L. (eds.), *Multi-criteria approach for an integrated assessment of ecosystem services provision in Patagonia*. Springer Book Series.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-69166-0_17
- Bozzi, J. A.; Marchelli, P. & Gallo, L. A. (2014). Sauce criollo: una especie nativa amenazada en Patagonia. *Presencia*, 62, 29-33. <https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/40749/selection.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Brown, R. D.; Vanos, J.; Kenny, N. & Lenzholzer, S. (2015). Designing urban parks that ameliorate the effects of climate change. *Landscape Urban Plann.*, 138, 118-131.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.006>
- Clark, R. & Stankey, G. (1979). *The recreation opportunity spectrum: A framework for planning, management and research*. General Technical Report, U.S. Department of Agriculture Forest Service. Portland, EE UU. Recuperado de https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr098.pdf
- Daily, G. C.; Polasky, S.; Goldstein, J.; Kareiva, P. M.; Mooney, H. A.; Pejchar, L., ..., Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, 21-28. <https://doi.org/10.1890/080025>
- Dal Cin, F.; Hooimeijer, F. & Matos Silva, M. (2021). Planning the urban waterfront transformation, from infrastructures to public space design in a sea-level rise scenario: The European Union prize for contemporary architecture case. *Water*, 13(2), 218. <https://doi.org/10.3390/w13020218>
- Datri, L.; Faggi, A. & Gallo, L. (2016). Entre el orden y el caos: invasiones con dinámicas no lineales de sauces y álamos en el norte de la Patagonia. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 6(1), 12-22.
<https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/47610/GALLO-16-26%20%281%29.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Datri, L.; Lecuona, J.; Boyero, L.; Valle Robles, J.; López, H.; Aquistapace, F., ..., Menavide, L. (2018). Los espacios públicos y el clima urbano. La isla térmica urbana y

- su contexto ecológico en el Alto Valle. *Libro de ponencias seleccionadas del I Congreso Patagónico de Arquitectura*. https://www.researchgate.net/publication/331682952_Los_espacios_publicos_y_el_clima_urbano_La_isla_termica_urbana_y_su_contexto_ecologico_en_el_Alto_Valle
- Datri, L. A.; Robertazzi, M.; Artaza, M.; Chaves, V.; Sánchez, L.; Ureña, L., ..., Lopez, H.; (2023). Biotópicos. Datos verdes en tu ciudad. Laboratorio de Ecología de Bordes. Universidad de Flores. En: <http://leb.uflo.edu.ar/#>
- Dronova, I.; Friedman, M.; McRae, I.; Kong, F. & Yin, H. (2018). Spatio-temporal non-uniformity of urban park greenness and region characteristics in a semi-arid region. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.05.009>
- Durán Vian, F.; Serrano Martínez, M. & Pons Izquierdo, J. J. (2018). Citizen participation as a social shift tool in projects of urban fluvial space recovery: A case study in Spain. *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.008>
- Hwang, Y. H.; Lum, Q. J. G., & Chan, Y. K. D. (2015). Micro-scale thermal performance of tropical urban parks in Singapore. *Build. Environ.*, 94, 467-476. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.003>
- IPCC (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Jiang, Y.; Jing, H.; Tiemao, S. & Hongxiang, W. (2021). Interaction of Urban Rivers and Green Space Morphology to Mitigate the Urban Heat Island Effect: Case-Based Comparative Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11404. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111404>
- Jiang, Y.; Li, X. & Huang, J. (2022). Zoning Optimization Method of a Riverfront Greenspace Service Function Oriented to the Cooling Effect: A Case Study in Shanghai. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19(23), 16191. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316191>
- Jiang, Y.; Song, D.; Shi, T. & Han, X. (2018). Adaptive Analysis of Green Space Network Planning for the Cooling Effect of Residential Blocks in Summer: A Case Study in Shanghai. *Sustainability*, 10, 3189. <https://doi.org/10.3390/su10093189>
- Kim, H. W.; Kim, J. H.; Li, W.; Yang, P. & Cao, Y. (2017). Exploring the impact of green space health on runoff reduction using NDVI. *Urban Forestry & Urban Greening*, 28, 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.010>
- Lanfranchi, G.; Cordara, C.; Duarte, J.I.; Gimenez Hutton, T.; Rodriguez, S. & Ferlicca, F. (2018). *¿Cómo crecen las ciudades argentinas? Estudio de la expansión urbana de los 33 grandes aglomerados*. Buenos Aires: CIPPEC. <https://www.cippec.org/wp-content/uploads/2018/11/C%C3%B3mo-crecen-las-ciudades-argentinas-CIPPEC.pdf>
- Li, W.; Cao, Q.; Lang, K. & Wu, J. (2017). Linking potential heat source and sink to urban heat island: Heterogeneous effects of landscape pattern on land surface temperature. *Science of the Total Environment*, 586, 457-465. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.191>

- Lopez, M.; Fernández, M. E. & Gentili, J. (2022). Extremos térmicos entre 1961 y 2020 en una ciudad norpatagónica de latitudes medias (Neuquén, Argentina). *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 58, 60-82.
<http://dx.doi.org/10.23854/07199562.2022581.Lopez60>
- Lopez, M. & Gentili, J. (2020). Análisis normativo-institucional de los espacios verdes públicos ribereños en el Área Metropolitana de Neuquén (Argentina). *Entorno Geográfico*, 20, 42-67. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/143615>
- Lopez, M. & Gentili, J. (2021). Caracterización de la gestión y la calidad de espacios verdes públicos del frente fluvial del río Limay (Área Metropolitana de Neuquén, Argentina). *Revista Geográfica Digital*, 18(36), 102-117.
<https://doi.org/10.30972/geo.18365343>
- Lopez, M. & Gentili, J. (2022a). Relación entre tipologías y percepciones de espacios verdes públicos del frente fluvial del río Limay (Área Metropolitana de Neuquén, Argentina). *Revista Investigaciones Geográficas*, 63, 60-76.
<https://doi.org/10.5354/0719-5370.2022.67618>
- Lopez, M. & Gentili, J. (2022b). Análisis de la tendencia de la temperatura en la ciudad de Neuquén (Argentina). En Contretas, F. I. (comp.) *Libro de Actas de las XIV Jornadas Nacionales de Geografía Física, Argentina: Universidad Nacional del Nordeste*. https://www.researchgate.net/publication/360912716_Analisis_de_la_tendencia_de_la_temperatura_en_la_ciudad_de_Neuquen_Argentina
- Lopez, M. & Gentili, J. (2024). Influencia de un corredor fluvial en la variación de elementos climáticos: El caso de la ciudad de Neuquén (Argentina). *Revista Geográfica de América Central*, 72(1), 425-453. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.72-1.16>
- Lopez, M. & Roca, S. (2024). Servicios ecosistémicos del frente fluvial del río Limay (Neuquén, Argentina): análisis desde el enfoque de sistema socio ecológico adaptativo. *Ciudad y territorio. Estudios territoriales*, 56(219), 243-264 (en prensa)
- Mngadi, M.; Odindi, J.; Mutanga, O., & Sibanda, M. (2022), Quantitative remote sensing of forest ecosystem services in sub-Saharan Africa's urban landscapes: a review. *Environ Monit Assess*, 194, 242. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09904-x>
- Monclús Fraga, J. (2016). Waterfronts y Riverfronts. Recuperación de frentes de agua fluviales como proyectos urbanos estratégicos. *El proyecto de riberas del Ebro. Planur-e: territorio, urbanismo, paisaje, sostenibilidad y diseño urbano*, 7, 1-19.
<https://zaguan.unizar.es/record/58503>
- Morello, J. H. (1995). Grandes Ecosistemas de Suramérica. En Gallopín, G. (comp.), *El Futuro Ecológico de un Continente* (pp. 21-100). Fond. De Cult. Econ.
- 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.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000100006>
- Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica (2023). Base de Datos del Sistema Nacional de Información Hídrica. Ministerio de Obras Públicas, Nación Argentina.
<https://snih.hidricosargentina.gob.ar/Filtros.aspx>
- UICN (2020). Orientación para usar el Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza. Un marco fácil de usar para la verificación, diseño y ampliación de las soluciones basadas en la naturaleza. Gland, Suiza.
<https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.09.es>
- Unidad Provincial de Enlace y Ejecución de Proyectos con Financiamiento Externo (2013). *Plan de Ejecución Metropolitano*. Neuquén, Argentina.

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/dami.uec_.gov_.ar_plandeejecucionmetropolitananeuquen.pdf

- Vásquez, A. E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Rev. Geogr. Norte Gd.*, 63, 63-86. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000100005>
- Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335-344. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007>
- Yao, L.; Li, T.; Xu, M., & Xu, Y. (2020). How the landscape features of urban green space impact seasonal land surface temperatures at a city-block-scale: An urban heat island study in Beijing, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 52, 126704. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126704>