

# Cambios en las coberturas de tierra y sus impactos en la temperatura del departamento Comandante Fernández (Chaco, Argentina)

Tesis de grado Licenciatura en Geografía

Universidad Nacional del Nordeste

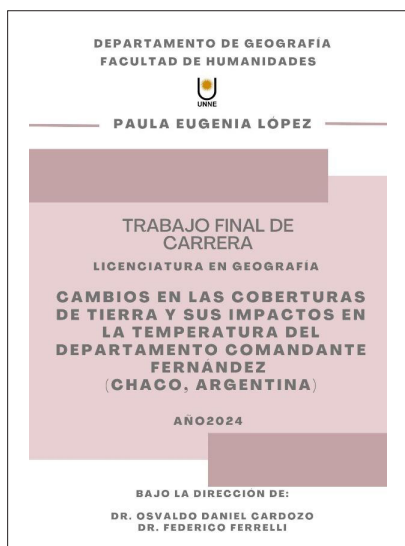
**Autora:** Paula Eugenia López

**Director:** Osvaldo Daniel Cardozo

**Codirector:** Federico Ferrelli

**Defensa:** 24/04/2024

DOI: <http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2025-2919>



## Resumen

El objetivo de la investigación fue analizar las transformaciones en las coberturas de tierra, las condiciones climáticas y

su impacto en las temperaturas de la superficie terrestre en el departamento de Comandante Fernández durante las últimas tres décadas. Se utilizó teledetección y análisis estadístico de datos meteorológicos para entender la relación entre estos fenómenos. Se encontró una variabilidad significativa en las coberturas terrestres, donde algunas respondieron a las dinámicas estacionales y agrícolas; otras, a la alternancia de eventos secos y húmedos; así como las más relevantes a la expansión urbana y deforestación.

Este cambio en las coberturas contribuyó al incremento de la temperatura promedio radiativa, exacerbado por el aumento de la temperatura atmosférica y la presencia de días calurosos y consecutivos con temperaturas altas. Se identificaron islas de calor como la principal dinámica de clima urbano, destacando la necesidad de implementar un ordenamiento territorial que incluya, entre sus prácticas, la reforestación y otras medidas para regular las temperaturas y mejorar la calidad de vida de la población.

## Introducción

En distintas partes del mundo, estudios como el de Alam et al. (2020) analizaron cambios en la cobertura terrestre, destacando el avance de construcciones y plantaciones a expensas de pastizales y cuerpos de agua. Hallazgos si-

milares identificaron la expansión de áreas agrícolas y urbanas, con disminución de paisajes naturales (Brilliant et al., 2020; Mejía et al., 2021; Kibria et al., 2022). Al Kafy et al. (2020) profundizaron en las variaciones térmicas, encontrando que zonas urbanizadas y desprovistas de vegetación alcanzan temperaturas hasta 5 °C más altas que áreas con vegetación y cuerpos de agua, mientras que Tan et al. (2020) observaron mayores oscilaciones térmicas en áreas urbanizadas y agrícolas.

En un enfoque urbano, Oke et al. (2017) analizaron el impacto del flujo de calor antropogénico, producto de actividades humanas como el uso de combustibles y refrigeración, y cómo la vegetación mitiga estas variaciones térmicas al generar sombra, reducir el calor absorbido por superficies impermeables y regular la temperatura (Barradas, 2013; Oke et al., 2017; Romero, 2019).

Estudios locales, como el de Schmidlin (1989) en Toledo (EEUU), destacaron el fenómeno de la Isla de Calor Urbana (ICU), con temperaturas urbanas 2 °C más altas que en zonas rurales, intensificándose en verano. De manera similar, Sarricolea et al. (2008) en Rancagua (Chile) identificaron factores como la vegetación y la cercanía a cuerpos de agua que moderan este efecto. Otros trabajos resaltaron fenómenos complementarios como las islas de frío, vinculadas a características climáticas y urba-

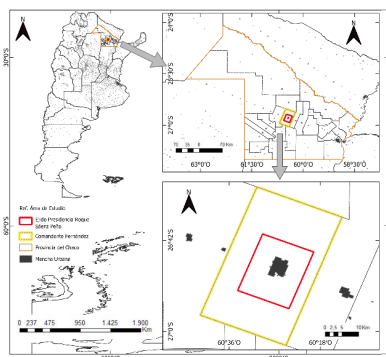
nísticas (Casadei et al., 2021). En Argentina, Ferrelli et al. (2015) estudiaron la distribución térmica en Bahía Blanca, señalando que las áreas verdes mantienen temperaturas más bajas, mientras que zonas periféricas expuestas al sol registraron las mayores temperaturas.

El área de estudio es el departamento Comandante Fernández, ubicado en una de las zonas productivas más antiguas del Chaco, Argentina, con Presidencia Roque Sáenz Peña como su principal centro urbano (Fig. 1). Históricamente, su poblamiento fue impulsado por las condiciones óptimas de suelo y clima, permitiendo la expansión del cultivo de algodón y transformando el territorio (Sacchi, 2013). Actualmente, cuenta con cultivos como girasol, soja, trigo, maíz y algodón (Sacchi, 2013; MHFP, s.f.), registrando 88.222,10 ha de explotaciones agropecuarias según el Censo Nacional Agropecuario 2018. Entre los años 1990 y 2022, el interés en este territorio radica en cómo la urbanización y la impermeabilización del suelo, junto con la reducción de espacios verdes, afectan la temperatura superficial. Aunque la deforestación ha sido menor que en otras áreas (Sacchi y Gasparri, 2016; Fehlenberg et al., 2017), la expansión urbana conlleva impactos significativos: reducción de la biodiversidad, aumento de temperaturas, disminución de días con confort climático y riesgos para la salud pública, como golpes de

calor (Buzai y Baxendale, 2007; Ferrelli & Piccolo, 2017).

## Metodología

**Figura N° 1.** Localización área de estudio



Fuente: en base a IGN - Elaboración propia.

El estudio analiza las transformaciones en coberturas de tierra, condiciones climáticas y su impacto en la temperatura superficial en el departamento de Comandante Fernández durante las últimas tres décadas. Se busca comprender cómo las actividades humanas afectan las temperaturas.

Objetivos específicos:

- Describir eventos climáticos y temperaturas con datos meteorológicos.
- Analizar cambios en coberturas urbanas y vegetales (1991-2022) con SIG.
- Evaluar la temperatura superficial con imágenes satelitales.
- Relacionar variabilidad climática, coberturas y respuestas radiativas.
- Identificar patrones urbanos y su efecto en el confort térmico.

Para recopilar información meteorológica, se emplearon índices de sequía y se realizó un análisis estadístico de variables como temperatura, humedad relativa, precipitación y viento. Específicamente, se aplicaron los índices SPEI (Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración) y SPI (Índice Estandarizado de Precipitación) en escalas temporales de 3 y 12 meses. En cuanto a las precipitaciones, se calcularon quintiles, medias y anomalías, mientras que, en el caso de la temperatura, además de las anomalías, se implementó el RCLimDex (Zhang & Yang, 2004) para la detección y monitoreo de cambio climático y se utilizaron los índices de confort térmico Humidex (Diaconescu *et al.*, 2023) y Wind Chill (Doğan *et al.*, 2020).

El procesamiento de las imágenes satelitales se centró en la estimación indirecta de variables biofísicas mediante el uso de índices específicos, entre los cuales se incluyeron: el Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificada (MNDWI) de Xu (2006), el Índice Mejorado de Áreas Construidas y Desnudez (EBBI) de As-Syakur *et al.* (2012), el Índice de Suelo Modificado de Diferencia Normalizada (MNDSI) de Piyoosh & Ghosh (2017) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) de Huete (1988). Posteriormente, se llevó a cabo una clasificación supervisada utilizando el algoritmo de árbol de

decisión, obteniéndose siete categorías de cobertura terrestre. La precisión del modelo se validó mediante una matriz de confusión y el cálculo del índice kappa. Adicionalmente, se estimó la temperatura superficial empleando las bandas del infrarrojo térmico y se analizaron los cambios en las coberturas terrestres utilizando el Land Change Modeler (LCM) de Terrset.

## Resultados

- Tendencias Climáticas: Análisis Atmosférico y Meteorología

En Presidencia Roque Sáenz Peña se identificaron patrones de variabilidad pluviométrica a lo largo de 63 años. Se determinaron 6 períodos húmedos y 7 secos, con los eventos secos siendo más frecuentes y prolongados, algunos extendiéndose hasta 51 meses. La precipitación promedio varió según la estación, siendo más alta en verano (412 mm) y más baja en invierno (79 mm). Los índices SPI y SPEI revelaron 12-14 eventos secos y 10-11 húmedos, dependiendo de la escala temporal utilizada. El SPEI, que incorpora la evapotranspiración, mostró mayor cantidad de meses con estrés hídrico. Aunque el fenómeno ENOS influye en algunos eventos, no explica completamente las condiciones climáticas locales.

Los eventos secos son más significativos por su frecuencia y duración, subrayando la necesidad de

analizar con mayor detalle su intensidad y efectos en la región para una gestión ambiental más precisa.

En cuanto a la temperatura del aire, entre 1959 y 2022, se registraron 14 años con anomalías térmicas negativas ( $<-0.5^{\circ}\text{C}$ ) y 15 años con anomalías positivas ( $>0.5^{\circ}\text{C}$ ). No hubo años con anomalías menores a  $-1^{\circ}\text{C}$ , pero sí 5 años con anomalías superiores a  $1^{\circ}\text{C}$ , concentrados entre 2012 y 2015. Aunque no se detectaron cambios significativos en las temperaturas medias mínimas y máximas anuales, se evidenció un aumento de  $0.8^{\circ}\text{C}$  en la amplitud térmica diurna. El índice TX90p mostró un incremento del 4.5% en días calurosos, pero TN90p y otros indicadores como SU30 y TR20 no presentaron variaciones relevantes. Sin embargo, el índice WSDI reflejó un aumento significativo de 5 días calurosos consecutivos ( $p=0.034p$ ).

En relación con el frío extremo, las mínimas diarias absolutas (TNn) mostraron un descenso significativo de  $2^{\circ}\text{C}$ , mientras que el número de días de heladas (FDO) aumentó 3.2%. Los índices de días fríos (TX10p) y noches frías (TN10p) no exhibieron cambios significativos.

Estos resultados destacan un aumento en los eventos de calor extremo y un descenso en las temperaturas mínimas, reflejando la complejidad de las tendencias térmicas en la región. Por último, con respecto al confort térmico, el índice Humidex en una serie de 60 años muestra que, durante el ve-

rano, el confort térmico promedio oscila entre 34°C y 36°C, lo que corresponde a un nivel de incomodidad moderada. En un verano cálido como 2012, se registró un 30% de días con gran desconfort, afectando significativamente el bienestar, mientras que 14% de días fueron confortables. En contraste, en un verano fresco como 1962, solo hubo 2% de días con gran incomodidad y 32% de días considerados cómodos.

En invierno, el índice Wind Chill indica que las temperaturas diarias promedio varían entre 14°C y 19°C, consideradas frescas, pero aceptables para actividades. En 2012, un año cálido, se registró 40% de días confortables entre 20°C y 30°C, aunque un 2% superó los 30°C. Por otro lado, en 1962, un año fresco, predominó una sensación térmica de moderadamente fresca a fría, con 21% de días por debajo de 10°C y sin temperaturas cercanas a los 30°C. Estos resultados reflejan la variabilidad térmica estacional y su impacto en la comodidad humana.

- Clasificaciones de imágenes satelitales

El análisis de las coberturas en verano revela cambios significativos entre 1991 y 2022. En 1991, las principales coberturas fueron vegetación natural y seminatural (VNS) y áreas terrestres mixtas (ATM), ambas superando el 30%, mientras que las superficies urbanas ape-

nas alcanzaban el 1% del departamento (aproximadamente 1.000 ha). En 2000, la VNS y las ATM representaron más del 40% del área, aunque las coberturas asociadas a humedad disminuyeron y la fiabilidad de la clasificación fue limitada (56%). En 2011, las ATM ocuparon el primer lugar (33%), mientras que la VNS disminuyó y las superficies artificiales y descubiertas aumentaron en 2.481 ha. Para 2022, las ATM crecieron un 10% más que la VNS, seguidas por áreas descubiertas (16%). La cobertura urbana, principalmente en Presidencia Roque Sáenz Peña y rutas, aumentó al 3%, equivalente a 4.566 ha, reflejando una expansión urbana significativa.

El análisis de coberturas invernales muestra variaciones significativas entre 1991 y 2022. En 1991, la VNS fue predominante, cubriendo el 47% del departamento, seguida de ATM (29%) y las áreas descubiertas o desnudas (ADD) con un 21%. Además, las superficies artificiales representaron el 1.45%, mientras que las áreas vinculadas al agua tuvieron una extensión reducida. Para 2000, las ATM aumentaron al 37% y las ADD al 23%, mientras que la VNS disminuyó. Las áreas cultivadas superaron el 6%, pero las superficies artificiales redujeron su extensión (27%), posiblemente por errores de omisión. En 2011, la VNS recuperó el primer lugar con un 46%, seguida de ATM con 37%. Sin embargo, las ADD disminuyeron un

10%, mientras que las superficies artificiales y asociadas aumentaron. En 2022, las ATM alcanzaron el 44%, desplazando a la VNS al 33%. Las ADD ocuparon el tercer lugar con un 18% y los cuerpos de agua naturales y artificiales (CANA) mostraron un leve incremento. La vegetación natural y seminatural acuática o regularmente inundada (VNSARI) superó el 1%, reflejando variaciones vinculadas a cambios climáticos y posibles errores de clasificación.

En cuanto a la temperatura de superficie (LST), en la estación de verano se observó que, entre 1991 y 2022, las temperaturas de superficie mostraron variaciones significativas. En 1991, oscilaron entre 22°C y 36°C con la vegetación natural (VNS) como la cobertura más fresca (24°C). En 2000, las temperaturas bajaron a un rango de 20°C a 29°C, mientras que en 2011 y 2022 aumentaron hasta 34°C y 43°C, respectivamente. Las temperaturas disminuyeron 3°C entre 1991 y 2000, pero aumentaron 5°C entre 2000 y 2011, continuando esta tendencia hasta 2022. Este incremento se asocia al aumento de áreas terrestres mixtas (ATM), que presentan las temperaturas más altas.

Del año 1991 al 2022, las temperaturas superficiales invernales oscilaron entre 9°C y 35°C. Las coberturas relacionadas con agua y humedad (CANA, VNSARI) presentaron las temperaturas más bajas (12°C, 15°C), mientras que las áreas descubiertas (ADD) y mix-

tas (ATM) mostraron las más altas (16°C, 27°C). Las variaciones en la temperatura superficial se correlacionaron con los cambios en la temperatura del aire, sin una influencia significativa de las precipitaciones. Los cuerpos de agua y coberturas húmedas mantuvieron los valores más bajos, mientras que las áreas descubiertas y mixtas destacaron con temperaturas más altas.

Asimismo, en el análisis de cambio de cobertura en verano con LCM entre los años 1991 y 2022, la VNS disminuyó un 34%, principalmente reemplazada por áreas mixtas (48%), cultivadas (28%) y descubiertas (22%), debido al avance agropecuario. En contraste, las superficies artificiales y áreas asociadas (SAAA) crecieron un 63%, expandiéndose sobre áreas agrícolas. Además, coberturas dependientes de humedad como VNSARI y cuerpos de agua sufrieron reducciones drásticas del 3083% y 546%, influenciadas por eventos climáticos extremos. Estos cambios reflejan una transformación del paisaje impulsada por la expansión agrícola y urbana.

Mientras que en el LCM las ATM mostraron un incremento del 35% en la estación invernal entre 1991 y 2022, la VNS registró la mayor disminución, con un 40% menos de cobertura. En tanto, las SAAA crecieron un 15%, destacando su expansión sobre áreas previamente agrícolas, como ATM (65%) y ADD (11%). Por su parte, los CANA disminuyeron un 182% y la VNSARI

aumentó un 72%, posiblemente debido a una mayor exposición ante la reducción de VNS arbórea. Estos cambios reflejan el impacto de la actividad económica, el avance de la frontera agrícola y las condiciones climáticas contrastantes entre 1991 y 2022.

## Conclusiones

A lo largo del periodo analizado, las coberturas con mayores temperaturas en verano fueron SAAA, ATM y ADD, que aumentaron en extensión, mientras que VNS y CANA, con temperaturas más bajas, disminuyeron significativamente. En invierno, ATM y ADD mantuvieron temperaturas altas, y ATCM y SAAA crecieron moderadamente. Las coberturas VNS, VNSARI y CANA, con LST más bajos, perdieron superficie, especialmente a expensas de ATM y ADD, lo que contribuye a la expansión de áreas más cálidas. Esto refleja el impacto negativo de la pérdida de vegetación natural y cuerpos de agua en el aumento de temperaturas en la región. Por otro lado, se encontró una relación entre las condiciones climáticas y la temperatura radiativa (LST). En verano, la temperatura superficial promedio aumentó de 26°C en 1991 a 33°C en 2022, coincidiendo con un incremento de 1.6°C en la temperatura máxima diaria y un aumento del 4.5% en los días calurosos. En invierno, el LST promedio subió de 14°C en 1991 a 16°C en 2022, influenciado por el aumento esta-

cional, aunque con una atenuación debido a la disminución de 2°C en la temperatura mínima diaria y el aumento de días con temperaturas inferiores a 0°C. Además, se observó un incremento de 0.8°C en la amplitud térmica, lo que refleja un mayor contraste entre las temperaturas máximas y mínimas.

El análisis del cambio de cobertura terrestre en Presidencia Roque Sáenz Peña, utilizando el Land Change Modeler, confirmó la expansión urbana en la ciudad, vinculada al crecimiento poblacional. Esta expansión reemplazó, principalmente, áreas de vegetación natural y seminatural y, en mayor medida, áreas terrestres mixtas. Este proceso reflejó la transición del uso de suelo de vegetación a tierras agropecuarias y luego a edificaciones. Durante los veranos, las superficies artificiales y áreas asociadas (SAAA) mostraron temperaturas altas, lo que contribuyó a la sensación de incomodidad térmica, con valores de Humidex indicando desconfort frecuente. En invierno, el aumento de temperaturas fue menor y los valores de confort térmico, evaluados con Wind Chill, se mantuvieron generalmente cómodos, aunque en años cálidos la sensación térmica es elevada. Sin embargo, se identificó una isla de frío urbano en el año 2011.

Finalmente, el análisis de las coberturas mostró variabilidad según las estaciones y las dinámicas agrícolas, destacando la disminución de vegetación natural y el aumento

de superficies artificiales debido a la expansión urbana en Presidencia Roque Sáenz Peña. Este cambio contribuyó al aumento de las temperaturas superficiales y la formación de islas de calor, lo que genera desconfort térmico y puede afectar la salud y productividad de la población. El estudio enfatiza la necesidad de mejorar el ordenamiento territorial, con más vegetación y cuerpos de agua, para regular las temperaturas en verano.

## Referencias bibliográficas

- Al Kafy, A., Rahman, M. S., Faisal, A. A., Hasan, M. M., & Islam, M. (2020). Modeling future land use and land cover changes and their impacts on land surface temperatures in Rajshahi, Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100314.
- Alam, A., Bhat, M. S., & Maheen, M. (2020). Using Landsat satellite data for assessing the land use and land cover change in Kashmir valley. *GeoJournal*.
- As-Syakur, A. R., Adnyana, I. W. S., Arthana, I. W., & Nuarsa, I. W. (2012). Enhanced built-up and bareness index (EBBI) for mapping built-up and bare land in an urban area. *Remote sensing*, 4(10), 2957-2970.
- Barradas, V. L. (2013). La isla de calor urbana y la vegetación arbórea. *Oikos*.
- Brilliant, M., Irianto, S. Y., Karnila, S., & Aziz, R. A. (2020, April). Land Cover Changes Detection Using Region Growing Segmentation. In *Journal of Physics: Conference Series*.
- Buzai, G. D., & Baxendale, C. A. (2007). Áreas de potencial conflicto entre usos del suelo. Identificación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (Primera parte: descripción metodológica). *Fronteras*.
- Casadei, P., Semmartin, M., & Garbulsky, M. F. (2021). Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina. *Ecología Austral*.
- Diaconescu, E., Sankare, H., Chow, K., Murdock, T. Q., & Cannon, A. J. (2023). A short note on the use of daily climate data to calculate Humidex heat-stress indices. *International Journal of Climatology*, 43(2), 837-849.
- Doğan, M., Vural, E., & Tuğrul, A. V. C. I. (2020). Determination of Comfort Areas According to the Wind Chill Index of the Central Anatolia Region. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*.
- Fehlenberg, V., Baumann, M., Gasparri, N. I., Piquer-Rodriguez, M., Gavier-Pizarro, G., & Kuemmerle, T. (2017). The role of soybean production as an underlying driver of deforestation in the South American Chaco. *Global environmental change*, 45, 24-34.
- Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2017) Estudio del confort climático a escala micro-local. El caso de Bahía Blanca (Argentina). *Bitacora27*.
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., Cisneros, H., & Piccolo, M. C. (2015). Utilización de imágenes satelitales para el estudio de la distribución térmica en distintas coberturas del suelo de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). *Repositorio Institucional CONICET Digital*.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*.
- Kibria, K. A., Chowdhury, A. A., Miah, A. S. M., Shahriar, M. R., Pervin, S., Shin, J., Rashid, M. M. & Sarkar, A. R. (2022). Bangladeshi Land Cover Change Detection with Satellite Image Using GIS Techniques. In *Machine Intelligence and Data Science Applications*. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Mejía, V., Orellana, D., & Cabrera-Barona, P. (2021). Cambio de uso de suelo en la Amazonía norte del Ecuador: un análisis a través de imágenes satelitales nocturnas VIIRS e imágenes LANDSAT. *Universidad-Verdad*
- Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Provincia del Chaco (s.f.) Plan de Ges-



ti3n Integrada de Riesgos Agropecuarios de la Provincia del Chaco. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/girsar\\_\\_chaco\\_\\_ppgira\\_ago19\\_compressed.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/girsar__chaco__ppgira_ago19_compressed.pdf)

Oke, T. R., Mills, G, Christen. A. & Voogt, J. A. (2017) *Urban Climates*. Cambridge University Press.

Piyoosh, A. K., & Ghosh, S. K. (2017). Development of a modified bare soil and urban index for Landsat 8 satellite data. *Geocarto International*, 33(4), 423-442.

Romero, H. (2019). Urban climates and the challenge of sustainable development of Chilean cities. *Urban Climates in Latin America*.

Sacchi, L. V., & Gasparri, N. I. (2016). Impacts of the deforestation driven by agribusiness on urban population and economic activity in the Dry Chaco of Argentina. *Journal of Land Use Science*, 11(5), 523-537.

Sacchi, P. (2013). *Territorios rurales del centro de la provincia del Chaco*. departamento Comandante Fernandez. Período: 1988-2008. [Tesis de maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Argentina]. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/7817>

Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P., & Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, 8(2008), 71-84.

Schmidlin, T.W. (1989). The urban heat island at Toledo, Ohio. *Ohio Journal of Science* 89.

Tan, J., Yu, D., Li, Q., Tan, X., & Zhou, W. (2020). Spatial relationship between land-use/land-cover change and land surface temperature in the Dongting Lake area, China. *Scientific Reports*.

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*.

Zhang, X, Yang, F (2004) *RClimDex (1.0) user manual*. Climate Research Branch Environment Canada, 22.